



unl

Universidad
Nacional
de Loja

Universidad Nacional de Loja

Facultad Agropecuaria y Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniera Forestal

Evaluación de un programa de secado para madera de Aliso (*Alnus nepalensis* D. Don) en el Centro de la Madera de la Universidad Nacional de Loja

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del título de Ingeniero Forestal

AUTOR:

Jonathan Alexis Merino López

DIRECTOR:

Ing. Luis Alfredo Yaguache Ordóñez Mg.Sc..

Loja – Ecuador

2023

Certificación

Loja, 25 de agosto de 2023

Ing. Luis Alfredo Yaguache Ordóñez Mg.Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Certifico:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de un programa de secado para madera de aliso (*Alnus nepalensis* d. Don) en el Centro de la Madera de la Universidad Nacional de Loja**, previo a la obtención del título de **Ingeniero Forestal**, de la autoría del estudiante **Jonathan Alexis Merino López**, con **cédula de identidad Nro.1150601076**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.

Ing. Luis Alfredo Yaguache Ordóñez Mg.Sc.
DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Autoría

Yo, **Jonathan Alexis Merino López**, declaro ser autor del presente Trabajo de Integración Curricular y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos, de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido del mismo. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Integración Curricular, en el Repositorio Digital Institucional– Biblioteca Virtual.

Firma:



Cédula: 1150601076

Fecha: 24 de agosto de 2023

Correo electrónico: jonathan.a.merino@unl.edu.ec

Teléfono: 0989701437

Carta de autorización por parte del autor, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Integración Curricular.

Yo, **Jonathan Alexis Merino López**, declaro ser autor del Trabajo de Integración Curricular denominado: **Evaluación de un programa de secado para madera de aliso (*Alnus nepalensis* D. Don) en el Centro de la Madera de la Universidad Nacional de Loja**, como requisito para optar por el título de **Ingeniero Forestal**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Integración Curricular que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los veinticuatro días del mes de agosto del dos mil veintitrés.

Firma:



Autor: Jonathan Alexis Merino López

Cédula: 1150601076

Dirección: Catamayo

Correo electrónico: jonathan.a.merino@unl.edu.ec

Teléfono: 0989701437

DATOS COMPLEMENTARIOS

Director del Trabajo de Integración Curricular: Ing. Luis Alfredo Yaguache Ordóñez
Mg.Sc.

Dedicatoria

A mis padres Marco Merino y Marlene López por su amor incondicional y enseñanzas, destinadas a formar una persona con integridad, humildad e integridad. Por su apoyo lleno de amor, a su confianza que espero haber respondido a sus expectativas. Me criaron con todo el amor y cariño que pudieron ofrecerme, me guiaron y me hicieron comprender la realidad de este mundo y nunca dejaron de creer en mí y me motivaron a nunca rendirme.

A mis hermanos por apoyarme y motivarme, por sus consejos y cariño alentándome a no rendirme.

A mis compañeros de clase, que a su manera me esclarecieron el futuro que me esperaba, personas buenas y motivadoras, así como egoístas y aprovechadas, todo significo un grano de aprendizaje durante estos cinco años juntos.

Jonathan Alexis Merino López

Agradecimientos

A mi familia por el apoyo incondicional que me han brindado en todas las metas que me he propuesto, siendo esta la más importante en mi vida hasta la fecha, les agradezco por ser una fuente de inspiración para mí siendo mi ejemplo de perseverancia, sacrificio y humildad, por demostrarme que a pesar de todas las dificultades que puedan complicar el caminar, siempre habrá una manera de seguir adelante.

A la Universidad Nacional de Loja, en especial a la carrera de Ingeniería Forestal, por ser el escenario de aprendizaje en el cual he crecido personal y profesionalmente, a los docentes que nos guiaron buscando formar personas capaces y efectivas contribuyendo de gran manera a la formación de cada persona durante la vida universitaria.

A mi Director del Trabajo de Integración Curricular por compartir conmigo parte de su experiencia y mostrar dedicación en la realización de sus responsabilidades he ir más allá de ellas. Por el apoyo y paciencia brindada durante el proceso que constituyó mi Trabajo de Integración Curricular.

Jonathan Alexis Merino López

Índice de contenidos

Portada	i
Certificación	ii
Autoría	iii
Carta de autorización	iv
Agradecimiento	v
Dedicatoria	vi
Índice de contenido	vii
Índice de tablas	xi
Índice de figuras	xii
Índice de anexos	Xii
1. Título	1
2. Resumen	2
2.1. Abstrac	3
3. Introducción	4
4. Marco teórico	6
4.1. Características generales de la madera.....	6
4.1.1. Humedad	6
4.1.2. Determinación del contenido de humedad.....	6
4.1.3. Densidad.....	6
4.1.4. Contracción	7
4.2. Secado de la madera.....	7
4.2.1. Tecnología del secado de la madera.....	8
4.2.1.1. Secado natural.	8
4.2.1.2. Secado artificial.....	8
4.2.1.2.1. Secado en cámara de convección.	8
4.2.1.2.2. Secador solar.....	9
4.2.2. Variables climáticas que intervienen en el secado de la madera	9

4.2.2.1. Temperatura atmosférica.....	9
4.2.2.2. Humedad relativa.....	9
4.2.2.3. Presión atmosférica.....	10
4.3. Cinética del secado.....	10
4.3.1. Gradiente de secado.....	11
4.4. Madera seca.....	11
4.4.1. Ventajas de la madera seca.....	11
4.4.2. Defectos de la madera después del secado.....	12
4.4.2.1. Nudo.....	12
4.4.2.1.1. Nudo sano.....	12
4.4.2.1.2. Nudo hueco.....	12
4.4.2.2. Abarquillado o acanaladura.....	12
4.4.2.3. Arqueadura.....	12
4.4.2.4. Torcedura.....	12
4.4.2.5. Grietas.....	13
4.4.2.6. Rajaduras.....	13
4.4.3. Propiedades mecánicas de madera.....	13
4.4.4. Trabajabilidad de la madera.....	13
4.4.4.1. Cepillado.....	13
4.4.4.2. Lijado.....	13
4.4.4.3. Moldurado.....	14
4.4.4.4. Torneado.....	14
4.5. Características generales de <i>Alnus nepalensis</i> D. Don.....	14
4.5.1. Descripción morfológica.....	14

4.5.2. Requerimiento de la especie.....	15
4.5.3. Uso de la especie.....	15
5. Metodología	16
5.1. Área de estudio.....	16
5.2. Toma de datos dasométricos y apeo del árbol	16
5.2.1. Medición de variables dasométricas	17
5.2.2. Apeo del árbol.....	17
5.2.3. Obtención de las probetas	17
5.2.3.1. Probetas para obtener el contenido de humedad de la especie.....	17
5.2.3.2. Probetas para determinar la curva de secado.	18
5.3. Evaluación de las condiciones que intervienen en el proceso de secado.....	18
5.3.1. Evaluación de las variables climáticas que intervienen en el secado.....	18
5.3.1.1. Temperatura, humedad y presión atmosférica.	18
5.3.2. Determinación de humedad y densidad de la especie.....	20
5.4. Determinación de los factores que intervienen en la curva de secado de <i>A. nepalensis</i> en el secador solar.....	21
5.4.1. Registro de peso para el programa de secado.....	21
5.4.2. Cinética del secado.....	21
5.4.2.1. Contenido de agua.....	21
5.4.2.2. Kilogramo de agua/ kilogramo de sólido.....	22
5.4.2.3. Valor medio de humedad	22
5.4.2.4. Velocidad del secado.....	22
5.5. Evaluación del programa de secado.....	23
5.5.1. Evaluación del secado a través de la trabajabilidad de la madera.....	23

6. Resultados	24
6.1. Evaluación de las variables que intervienen en el proceso de secado en el secador solar y bajo techo.....	24
6.1.1. Temperatura	24
6.1.2. Humedad	26
6.1.3. Presión atmosférica.....	27
6.1.4. Humedad y densidad de la especie.....	30
6.2. Determinación de los factores que intervienen en la curva de secado de <i>A. nepalensis</i> en el secador solar.....	31
6.2.1. Curva de secado	31
6.2.2. Análisis de varianza en los programas de secado	34
6.3. Evaluación del programa de secado.....	34
6.3.1. Evaluación visual de los defectos de la madera.....	34
6.3.2. Trabajabilidad de la madera.....	36
6.3.2.1. Cepillado	36
6.3.2.2. Lijado	36
6.3.2.3. Taladrado.....	37
6.3.2.4. Torneado	37
7. Discusión	38
7.1. Condiciones que interviene en el proceso de secado	38
7.2. Factores que intervienen en la curva de secado del <i>A. nepalensis</i> en el secador solar ..	39
7.3. Evaluación del programa de secado.....	40
8. Conclusiones	43
9. Recomendaciones	44
10. Bibliografía	45
11. Anexos	50

Índice de tablas:

Tabla 1. Formato de recolección de datos dasométricos en árboles de <i>A. nepalensis</i>	17
Tabla 2. Formato para el registró de peso y humedad	21
Tabla 3. Comparación de estadísticos de temperatura en secador solar y bajo techo durante 50 días.....	24
Tabla 4. Valores medios de Temperatura registrada en el interior y exterior del secador solar durante la etapa diurna.....	25
Tabla 5. Comparación de estadísticos de humedad en secador solar y bajo techo durante 50 días.....	26
Tabla 6. Valores medios de Humedad registrada en el interior y exterior del secador solar durante la etapa diurna.....	27
Tabla 7. Comparación de estadísticos de presión en secador solar y bajo techo durante 50 días	28
Tabla 8. Valores medios de la presión registrada en el interior y exterior del secador solar durante la etapa diurna	29
Tabla 9. Humedad de la madera de <i>A. nepalensis</i> obtenida en laboratorio	30
Tabla 10. Densidad de la especie <i>A. nepalensis</i> obtenida en laboratorio	31
Tabla 11. Cinética del secado en probetas de <i>A. nepalensis</i> secas en secador solar.....	31
Tabla 12. Cinética del secado en probetas de <i>A. nepalensis</i> secas bajo techo.....	32
Tabla 13. Defectos encontrados en las probetas de <i>A. nepalensis</i> después del secado.....	35
Tabla 14. Defectos en la madera producto del secado en horno solar y secado bajo techo (Medido en porcentaje).....	36

Índice de figuras:

Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio-Centro de la Madera.....	16
Figura 2. Colecta del material vegetal: A) Apeo y B) Trozado de los árboles de <i>A. nepalensis</i>	17
Figura 3. Probetas. para determinar el contenido de humedad inicial de <i>A. nepalensis</i>	18
Figura 4. Obtención de probetas en arboles de <i>A. nepalensis</i>	18
Figura 5. Circuito construido en el centro de la madera A) Sensor de Presión. B) Sensor de Temperatura y Humedad. C) Módulo Wi-Fi de transmisión de datos.....	19
Figura 6. Valores promedios diario de temperatura registrada en el secador solar y bajo techo durante el programa de secado en el periodo diurno.	25
Figura 7. Valores promedio diario de humedad registrada en el secador solar y bajo techo durante 50 días en la etapa diurna.....	27
Figura 8. Valores promedio diario de presión registrada en el secador solar y bajo techo durante 50 días en la etapa diurna.....	29
Figura 9. Análisis de regresión lineal, A) Humedad dentro del secador solar, B) Presión dentro del secador solar C) Humedad bajo techo D) Presión bajo techo.....	30
Figura 10. Curva de secado de la madera seca en secador solar.....	32
Figura 11. Curva de secado de la madera seca bajo techo.....	33
Figura 12. Análisis de varianza a los 30, 60 y 90 días después de iniciado el programa de secado en madera de <i>A. nepalensis</i>	34

Índice de anexos:

Anexo 1. Promedios de Temperatura, Humedad, Presión, externa e interna durante la etapa diurna.....	50
Anexo 2 Promedios de Temperatura, Humedad, Presión, externa e interna durante la etapa nocturna.....	51
Anexo 3 Formato base utilizada para la clasificación de la trabajabilidad de la madera.	52
Anexo 4 Ensayo de cepillado en Probetas secadas en horno solar.....	52
Anexo 5 Ensayo de cepillado en Probetas secadas bajo techo	53
Anexo 6 Ensayo de lijado en probetas con lijas N° 80,150,240, 360.....	53
Anexo 7 Ensayo de taladrado en probetas secadas en horno solar.....	55
Anexo 8 Ensayo de taladrado en Probetas secadas bajo techo.....	56
Anexo 9 Ensayo de Torneado en probetas sin lijar, lijadas con N°60 y 150.....	56
Anexo 10. Certificado de traducción del resumen del Trabajo de Integración Curricular.....	58

1. Título

Evaluación de un programa de secado para madera de Aliso (*Alnus nepalensis* D. Don) en el Centro de la Madera de la Universidad Nacional de Loja



2. Resumen

El secador solar, es una alternativa a métodos convencionales porque reduce la humedad de la madera, minimizando la inversión y el tiempo de secado. Por ello, este estudio tuvo como objetivo evaluar el funcionamiento de un secador solar para madera y su influencia en la calidad y tiempo de secado de probetas de *Alnus nepalensis* D. Don. Para ello, se utilizaron dos programas de secado en el Centro de la Madera de la Universidad Nacional de Loja, una en un secador solar y otra al ambiente durante 90 días con 12 probetas para cada caso. Las variables climáticas evaluadas en ambos programas de secado fueron: temperatura, humedad y presión atmosférica. Los datos fueron colectados cada minuto durante todo el tiempo de secado, de igual forma se registró el peso sistemáticamente, lo que permitió obtener la curva de la cinética del secado. Además, se determinó la humedad anhidra, defectos de secado, y la trabajabilidad de la madera seca. Los resultados mostraron que la temperatura de la cámara de secado es en promedio 8,33 °C más alta que al ambiente, la humedad es 23,30 % menos que al ambiente y la presión 17,66 hPa más alta que en el programa de secado al ambiente. La curva de secado evidenció 6,27 % menos de humedad final en la madera durante los 90 días el secador solar. La madera colocada en el secador solar no mostró defectos de arqueaduras ni grietas. Además, las pruebas de trabajabilidad permitieron clasificar a la madera de *Alnus nepalensis* como de “buena calidad” para realizar productos de mueblería y ebanistería. En conclusión, el uso del secador solar al proporcionar mejores condiciones climáticas reduce el tiempo de secado, disminuye la cantidad de defectos en la madera y mejora la trabajabilidad. Por lo tanto, el secador solar es un excelente método a costos moderados y alta calidad.

Palabras clave: *secador solar, variables climáticas, curva de secado, defectos de la madera, trabajabilidad*

2.1. Abstrac

The solar dryer is an alternative to conventional methods because it reduces wood moisture, minimizing the investment and drying time. Therefore, the objective of this study was to evaluate the performance of a solar dryer for wood and its influence on the quality and drying time of *Alnus nepalensis* D. Don specimens. For this purpose, two drying programs were used at the Wood Center of the Universidad Nacional de Loja, one in a solar dryer and the other in an ambient dryer for 90 days with 12 specimens for each case. The climatic variables evaluated in both drying programs were: temperature, humidity and atmospheric pressure. The data were collected every minute during the entire drying time, and the weight was also systematically recorded, which allowed obtaining the drying kinetics curve. In addition, anhydrous moisture, drying defects, and workability of the dried wood were determined. The results showed that the drying chamber temperature is on average 8,33 °C higher than at ambient, the humidity is 23,30 % lower than at ambient and the pressure 17,66 hPa higher than in the ambient drying program. The drying curve showed 6,27 % less final moisture in the wood during the 90 days in the solar dryer. The wood placed in the solar dryer showed no bowing or cracking defects. In addition, the workability tests allowed classifying the *Alnus nepalensis* wood as of "good quality" for making furniture and joinery products. In conclusion, the use of the solar dryer by providing better climatic conditions reduces drying time, reduces the number of defects in the wood and improves workability. Therefore, the solar dryer is an excellent method at moderate costs and high quality.

Key words: *solar dryer, climatic variables, drying curve, wood defects, workability*

3. Introducción

La madera es de gran importancia para el ser humano, ya que debido a las características es uno de los materiales más usados a lo largo de la historia (Guindeo, 1994). Es demandada para múltiples fines como, el uso estructural (vigas, viguetas, elementos de puentes), confección de muebles, ebanistería y de igual manera se puede usar en estructuras simples como paneles de corte, molduras, puertas, ventanas, entre otros (INEN, 2011). Para ello es necesario ajustar el contenido de humedad a las características requeridas por el producto final a obtener, y por tanto minimizar las dificultades que producen los cambios dimensionales de la madera (Cuevas, 1988). Para uso estructural en madera rolliza y madera aserrada el contenido de humedad no debe ser superior a 18 % y 20 % (Queipo et al., 2010), este valor es la media aritmética entre la humedad recomendada para uso exterior o humedad media anual y la humedad mínima anual del sitio, por lo que, este valor difiere de acuerdo a las condiciones del ambiente (Alvarez y Fernández, 1996). Las empresas madereras para confección de muebles utilizan una humedad de 6 % a 10 % para uso en interior y de 10 % a 14 % para uso exterior; para puertas, ventanas y pisos de madera la humedad varía de 8 % a 10 % (TMFB, 2021).

Para obtener la humedad adecuada es necesario que la madera pase por un proceso de secado, tiene como objetivo la eliminación de la humedad excesiva en el menor tiempo posible, priorizando la reducción del consumo de recursos y procesos al mínimo. El proceso de secado varía dependiendo del sitio, actualmente se emplean el secado al aire libre y secado artificial o secado con hornos, como método para eliminar el agua contenida en la madera (Franco et al., 2009). La industria del mueble en Ecuador constituye el segmento más importante de la industria maderera secundaria del país, esta actividad se lleva a cabo mayormente por empresas medianas y pequeñas empresas familiares, con limitaciones tecnológicas y de maquinaria (Jacome et al., 2011). Para el uso adecuado de la madera es necesaria información técnica por medio de pruebas de maquinado para determinar las cualidades y características de trabajo, determinándose la idoneidad para ebanistería, carpintería, entre otros (ASTM D 1666-87, 1999). *Alnus nepalensis* D. Don. es una de las 35 especies del género *Alnus* en todo el mundo (Arteaga, 2018), que se seca rápidamente y se conserva (Castillo, 2009), lo que la convierte en una opción para la industria maderera. En este contexto se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Contribuir al conocimiento sobre el funcionamiento de un secador solar para madera y su influencia en la calidad y tiempo de secado de probetas de *Alnus nepalensis* D. Don

Objetivos específicos:

- Evaluar las condiciones que intervienen en el proceso de secado: temperatura, humedad, presión.
- Determinar los factores que intervienen en la curva de secado del *Alnus nepalensis* D. Don en el secador solar.

4. Marco teórico

4.1. Características generales de la madera

La madera es una materia prima de excelente calidad por su gran versatilidad en la fabricación de algunos productos como muebles, construcción de estructuras y decoraciones, etc. entre estas se puede destacar la relación peso específico-resistencia mecánica, bajo peso en relación con su volumen. Fácil trabajabilidad y acoplar mediante uniones simples, cuando está seca, es un excelente aislante térmico, eléctrico y acústico (Vega et al., 2019).

4.1.1. Humedad

Dentro de la madera el agua está presente de dos formas: agua libre o capilar, esta se encuentra en el interior de las cavidades celular y el agua de impregnación la cual se encuentra adherida a las paredes celulares. El agua libre es la más fácil de extraer, después de su eliminación no se presentan modificaciones apreciables en las propiedades mecánicas y físicas de la madera, se puede llegar a un nivel de humedad aproximada del 30 %. Llegado este punto se denomina como Punto de Saturación de las Fibras (PSF). Una vez iniciado el proceso de eliminación de agua de impregnación se evidencian cambios en las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Y el agua de impregnación, la misma que se encuentra adherida a las paredes celulares, por lo que su eliminación es más difícil y requiere más tiempo durante el secado (Viscarra, 1998a).

4.1.2. Determinación del contenido de humedad

La humedad contenida en la madera se puede medir usando métodos gravimétricos, midiendo el peso de la madera antes de someterla al secado y después del proceso de secado (Bardales et al., 2009). Se puede decir que la humedad de la madera se define como la cantidad de agua en una pieza de madera, expresada en función del peso de esa pieza en condición seca o anhidra (Hoheisel et al., 1989).

4.1.3. Densidad

La densidad se define como proporción de masa por unidad de volumen a un determinado contenido de humedad (Hoheisel et al., 1989). Se puede comprender como la relación entre la masa y el volumen de la madera, sin embargo, está relacionada a la humedad de la misma pues cuando esta aumenta la densidad también. La densidad básica compone uno de los índices más útiles en la caracterización de la madera, pues existe una correlación entre las propiedades mecánicas y la producción de pulpas. Principalmente se usa para predecir el

uso que se le puede dar a la madera, indicando el valor y la utilidad de la misma (Vega et al., 2019).

De acuerdo con la norma INEN (2011) la densidad de la madera es la relación que existe entre el peso y el volumen de la madera expresado en g/cm^3 y es uno de los principales elementos por el cual se puede determinar el grado de dureza de la madera.

La densidad en la madera cambia dependiendo del contenido de humedad en ella, por ello la densidad se calcula en diferentes estados:

- a) **Densidad verde.** Se puede definir como la relación que existe entre el peso verde de la madera y el volumen verde.
- b) **Densidad seca al aire.** Es la relación que existe entre el peso seco al aire y el volumen seco al aire, es decir cuando la madera está con aproximadamente el 30 % de contenido de humedad.
- c) **Densidad anhidra.** Es la relación entre el peso seco al horno y el volumen seco al horno, es decir cuando la madera tiene aproximadamente un 12 % de contenido de humedad.
- d) **Densidad básica.** Es la relación entre el peso seco al horno y el volumen verde.

4.1.4. Contracción

Se puede definir como la reducción dimensional de la madera, una vez iniciado el secado, es decir con la evaporación del agua dentro de la madera empieza la contracción celular y por tanto la contracción de la madera. Este es el punto de inflexión en el que se inicia los cambios dimensionales de la madera (Muñoz y Moreno, 2013).

4.2. Secado de la madera

El secado de la madera varía dependiendo del sitio y debe de ser ajustado a las situaciones de uso. El proceso de secado por el que atraviesa la madera tiene como objetivo la eliminación de la humedad que contiene en el menor tiempo posible, manteniendo el consumo de recursos y procesos en el mínimo posible, de esta manera obtener materia prima apta para procesos secundarios (Franco et al., 2009). La madera contiene varias propiedades como la higroscopicidad, la cual permite que gane o pierda humedad según las condiciones del medio que la rodea; debido a ello la madera obtendrá estabilidad dimensional cuando el contenido de humedad (CH) alcance un equilibrio con el contenido de humedad del ambiente (Muñoz, 2008). Actualmente existen métodos para el secado de la madera, estas son el secado al aire libre que consiste en la evaporación de la húmeda de manera natural, secado artificial utilizando

hornos térmicos, en el cual se puede eliminar la humedad más rápido siendo posible controlar parámetros como temperatura, humedad y ventilación y secadores solares que usan la radiación solar para aumentar la temperatura y acelerar el proceso de secado.

4.2.1. Tecnología del secado de la madera

4.2.1.1. Secado natural.

El secado natural se logra a base de aire natural, por este motivo se lo suele denominar como secado al aire libre, este método de secado depende de las condiciones climáticas del sitio en el que se lleva a cabo el secado (Franco et al., 2009). Para llevar a cabo el secado natural se debe apilar la madera rolliza aserrada al aire libre, durante el proceso de inicio se debe tener en cuenta varias consideraciones como la localización la cual debe ser cercana al área de primer corte, la preparación del terreno para evitar la influencia de agentes externos, mantener un buen estado sanitario del lugar en el que se lleva a cabo el secado, mantener una buena distribución entre las pilas de madera, orientación de apilado de acuerdo a la trayectoria del sol para evitar defectos en la madera como grietas o rajaduras, un buen apilado de la madera y separación entre ella. Esto asegurará en cierta medida un secado rápido y de buena calidad (Cerrón, 2014).

Algo muy importante a considerar es el tipo de apilado por el cual se coloca la madera, pues dependiendo de esto el secado será más eficiente y uniforme. Existen varios tipos de apilado, entre ellos Novoa (2006) menciona los siguientes: apilado vertical, horizontal, caballete y en triángulo.

4.2.1.2. Secado artificial.

Este tipo de secado es realizado dentro de compartimentos especiales denominados como hornos de secado o estufas, mismo que pueden estar contruidos de metal o mampostería. Este método aporta algunas ventajas como una mayor aproximación al porcentaje de humedad adecuada para trabajar la madera, menos tiempo de secado invertido para el secado, minimiza el riesgo de apareamiento de defectos de forma, menor riesgo de desarrollo de hongos. Este método aporta grandes beneficios al tratamiento primario de la madera, sin embargo, este requiere de un conocimiento más estructurado, añadiendo que el costo de inversión para emplear el método es mayor (Cerrón, 2014). En el secado artificial de la madera se emplean principalmente dos tipos de secadores que se describen a continuación.

4.2.1.2.1. Secado en cámara de convección.

Este se desarrolla en hornos de secado con temperaturas máximas de 80 °C, en este método las condiciones dentro de la cámara pueden modificarse a criterios del operador

estableciendo normas conocidas como horarios o programas de secado. Pueden ser construidos de diversos materiales, ya sea de metal o ladrillo y cemento. El objetivo es secar la madera a los porcentajes de humedad apropiados para la trabajabilidad de cada madera. Se puede realizar el método en dos tipos de horno, hornos progresivos o también denominado como túneles de secado, en este horno el secado es continuo, al salir una pila de secado entra otra nueva. El segundo tipo de horno es de tipo compartimiento, en este las pilas de madera se quedan estáticas, dando paso a un secado uniforme. Estos hornos utilizan para el sistema de ventilación corrientes de aire natural o acelerada, longitudinal o transversal a las pilas de madera.

4.2.1.2.2. Secador solar.

Los secadores solares funcionan mediante la captación de la energía solar para calentar el aire dentro de la estructura y distribuirlo de manera que se acelera la evaporación de agua de la madera en comparación al secado al aire libre o secado al natural. Este tipo de secador de madera se puede dividir en dos tipos, un modelo que incorpora el colector de energía en la estructura y modelos en los que el colector se encuentra fuera de la estructura. El modelo que incorpora el colector dentro de la infraestructura que también se denomina secador tipo invernadero, este modelo es el más utilizado. Para aumentar la temperatura interna del secador y asegura menor tiempo de secado se usan materiales como aluminio, acero, cobre y madera pintados de negro. En cuanto a la calidad de la madera, esta demuestra menos incidencia de efectos en el secado al horno solar en comparación con el proceso llevado a cabo al aire libre (Stangerlin et al., 2009). La temperatura dentro del secador solar es al menos el doble de la temperatura registrada al aire libre (Salinas et al., 2003).

4.2.2. Variables climáticas que intervienen en el secado de la madera

4.2.2.1. Temperatura atmosférica.

Es la unidad de medida más usada para describir el estado de la atmósfera, esta permite medir el contenido de energía cinética interna de las partículas. Las escalas comúnmente usadas para medir esta variable son: Celsius y Fahrenheit, el instrumento utilizado para medir la temperatura se denomina termómetro (Sarochar, 2009).

4.2.2.2. Humedad relativa.

La humedad hace referencia a la cantidad de vapor de agua contenida en la atmósfera, se entiende por humedad relativa al cociente entre la cantidad de vapor de agua contenido en la atmósfera y la máxima que podría contener, esta medida en porcentaje, cuanto menor es la humedad relativa del aire es mayor la capacidad de este al absorber el vapor, favoreciendo de este modo la velocidad de evaporación (Álvarez, 1985).

Coyago y Criollo (2013) mencionan que, a determinada temperatura, el aire contiene una determinada cantidad de agua, por lo que la humedad relativa es la cantidad de vapor de agua que contiene el aire con respecto a la cantidad máxima de vapor de agua que puede contener a la misma temperatura.

4.2.2.3. Presión atmosférica.

De acuerdo a la física está definida como el cociente entre la acción de una fuerza sobre la unidad de superficie, en este caso la presión atmosférica será numéricamente igual al peso de una columna de aire teniendo como base la unidad de superficie y como altura la de la atmósfera (Sarochar, 2009).

4.3. Cinética del secado

Se refiere principalmente a la humedad liberada, el tiempo transcurrido y el gasto de energía. En el punto de partida la madera pierde agua libre seguida del agua higroscópica y finalmente el agua de constitución, esta es la más difícil de eliminar pues está adherida a la superficie de las partículas sólidas por atracción molecular (Sarango, 2018). Ananias et al. (2005) la define como la representación de la evolución de las condiciones ambientales y de la madera en el transcurso del secado, específicamente se refiere a la velocidad del secado respecto al tiempo o la humedad de la madera. La velocidad del secado se puede dividir en dos etapas.

Etapa 1: Se caracteriza por la transferencia de calor y evaporación superficial. Al inicio del secado se observa un contenido de humedad elevado, durante esta etapa la velocidad del secado es relativamente constante dependiendo de las condiciones del ambiente. A medida que la temperatura incrementa la velocidad de evaporación del agua de la superficie de la madera, se retira el aire húmedo el cual es reemplazado por aire menos saturado manteniendo una evaporación constante. Esta etapa finaliza cuando aparecen superficies secas en la madera, durante esta condición al contenido de humedad se lo denomina como contenido de humedad crítico, a partir de este punto la superficie de la madera tiende a mantener una temperatura similar a la del ambiente.

Etapa 2: Durante esta etapa la velocidad del secado decrece, por lo que, esta fase tiene una duración aún mayor que la anterior, aunque la cantidad de agua removida es mayor. El decrecimiento del secado disminuye de forma lineal, hasta que la superficie de la madera se seca completamente, debido a que la evaporación superficial, supera la velocidad de transporte de humedad desde el interior.

4.3.1. Gradiente de secado

Durante el procedimiento de secado artificial existen dos valores del contenido de humedad. Estos valores corresponden al contenido de humedad real de la madera (CH) y el contenido de humedad de equilibrio (ECH) hacia el cual tiende la madera de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad. La relación entre estos dos valores se denomina gradiente de secado (GS) (Rodríguez, 2017) y se expresa de la siguiente forma:

$$GS = \frac{CH_{real}}{ECH} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

GS: Gradiente de secado.

CH_{real}: Contenido de humedad real en la madera.

ECH: Contenido de humedad de equilibrio.

4.4. Madera seca

Esta madera se caracteriza por tener una humedad en equilibrio con la humedad relativa del aire y se le considera como tal, al contener una humedad inferior al 20%, este porcentaje se consigue al someter la madera a procesos de secado ya sea secado al aire libre o secado convencional en horno (Walter, 2017).

4.4.1. Ventajas de la madera seca

Después de un correcto proceso secado de la madera se obtienen algunas ventajas con respecto a esta materia prima (Muñoz, 2008).

- a) **Pérdida de peso:** debido a la eliminación del agua, ésta pierde peso, siendo más fácil de manipular y recortando gastos de transporte.
- b) **Resistencia mecánica:** la madera resulta en un 33% más resistente
- c) **Resistencia al biodeterioro:** debido al bajo nivel de humedad en la madera, disminuye las probabilidades de ataques de hongos, pudriciones y ataques de insectos.
- d) **Adhesivos:** la madera tendrá mejor comportamiento a la adhesión.
- e) **Acabados:** la madera aumenta la capacidad de aceptar y retener los diferentes acabados a los cuales se somete.
- f) **Trabajabilidad:** la madera seca es más fácil de trabajar y es menos propensa a producir grano velloso, grano arrancado y su pulido o lijado es de mejor calidad.

- g) **Aislamiento térmico:** con la eliminación del agua dentro de la madera, los espacios vacíos son reemplazados por aire, siendo este un mal conductor del calor, se puede utilizar la madera como aislante de temperatura.
- h) **Estabilidad dimensional:** si la madera se seca hasta un contenido de humedad igual o muy cercano al que obtendría en servicio, esta no sufrirá cambios visibles en sus dimensiones

4.4.2. Defectos de la madera después del secado

4.4.2.1. Nudo.

Se puede considerar como el defecto más común en la madera. Este defecto se produce durante el desarrollo del árbol, el cual va envolviendo el arranque de ramas, es decir los nudos son porciones de ramas que quedan rodeadas por la madera de los troncos (Chan et al., 2002).

4.4.2.1.1. Nudo sano.

Se le llama nudo sano a la proporción de rama interconectada con el de la madera que no se soltará o aflojará durante los procesos de secado y uso. Este no presenta rasgos de deterioro ni de pudrición (Chan et al., 2002).

4.4.2.1.2. Nudo hueco.

Se caracteriza por el desprendimiento parcial o total del mismo o en algunos casos presenta deterioro. Este tipo de nudo se produce cuando la rama del árbol muere y queda un muñón que es rodeado por los tejidos del tronco. En este caso no habría continuidad de tejidos por lo cual el nudo se desprende con facilidad cuando la madera es procesada y aserrada (Chan et al., 2002).

4.4.2.2. Abarquillado o acanaladura.

Se refiere a la deformación de la madera después del secado, provocando una curvatura en la pieza por arqueamiento del plano transversal de la misma (Chávez et al., 2010).

4.4.2.3. Arqueadura.

Es el alabeo o también llamado curvatura de las caras de la pieza en dirección longitudinal, se puede reconocer al observar la separación entre la cara de la pieza y la superficie plana de apoyo (INEN, 2011).

4.4.2.4. Torcedura.

Este defecto se puede definir como el alabeo simultáneo en la dirección longitudinal y transversal. Este se puede identificar al observar las esquinas de las piezas, cuando estas no se encuentran en el mismo plano (INEN, 2011).

4.4.2.5. Grietas.

Es la separación superficial en la madera que se produce durante el secado, este defecto dependerá de la intensidad y los cuidados aplicados a la madera durante el proceso de secado (Chávez et al., 2010).

4.4.2.6. Rajaduras.

Se define como la separación de los elementos constitutivos de la madera, siendo así, que afecta totalmente al grosor o ancho de una pieza, en otras palabras, este defecto no es superficial, a diferencia de las grietas este atraviesa completamente a la pieza provocando la pérdida total o parcial del material (Chávez et al., 2010).

4.4.3. Propiedades mecánicas de madera

Las propiedades mecánicas varían de especie a especie, generalmente se toma en cuenta la resistencia mecánica, trabajabilidad y contracción como las más importantes (Franco et al., 2009). La resistencia mecánica se clasifica en: resistencia a la flexión, resistencia a la compresión, resistencia a la tracción, resistencia al corte, estas definen respectivamente, el rango de rigidez, el grado de fuerza o presión que soporta antes de deformarla, la propiedad de alargar el elemento bajo la presión de cargas exteriores, resistencia ofrecida frente a la acción de cargas exteriores que tienden a producir un plano de corte.

4.4.4. Trabajabilidad de la madera

4.4.4.1. Cepillado.

Para trabajar la madera, el cepillado es en general el primer proceso por el cual se somete a la madera, el objetivo final es conseguir un grosor uniforme en las piezas que se van a utilizar en procesos posteriores, de esta manera se puede reducir muchos problemas en la fabricación de productos, incrementando así la calidad final de estos (Pinillos y Martínez, 1996).

4.4.4.2. Lijado.

El lijado es considerado parte de la fase final en la fabricación de productos que usan como materia prima la madera. La función de este proceso es obtener una superficie lisa (Navarro, 2007). El objetivo del lijado es preparar la superficie de la madera para el proceso posterior de realizar el acabado, al eliminar todas las imperfecciones que se puedan haber producido en fases anteriores, facilitando la operación del acabado (Vigonote y Martínez, 2006).

4.4.4.3. Moldurado.

Este proceso se define como una operación realizada a los cantos de las piezas de madera cuya finalidad es darles un mejor acabado y apariencia a los productos hechos a base de madera, mayormente se realiza en marcos de todo tipo como: puertas, ventanas, cantos o esquinas de muebles, ensambles y otras muchas formas de adornos. Las molduras son de formas variadas, por lo general son hechas con una máquina denominada trompo o molduradora, la variedad de las molduras depende de las herramientas de corte, pudiendo ser secciones rectas, curvas o combinadas (Martinez y Pinillos, 1996).

4.4.4.4. Torneado.

La finalidad de este proceso es dar una forma redondeada a una pieza, dando como resultado una sección circular de forma homogénea o bien de forma variable. Para llevar a cabo esta labor es necesaria la fabricación de una pieza muestra o por así decirlo plantilla, la cual se elabora manualmente utilizando determinadas herramientas y técnicas de acuerdo al tipo de pieza que se desea obtener (Moya et al., 2004).

4.5. Características generales de *Alnus nepalensis* D. Don

El *Alnus nepalensis* D. Don, es una de 35 especies del género *Alnus* en todo el mundo, tiene la capacidad de fijar nitrógeno al suelo, se lo conoce comúnmente como Utis en Nepal, Piak en la India y aliso de nepal en Ecuador (Arteaga, 2018).

4.5.1. Descripción morfológica

El aliso de nepal es un árbol caducifolio o semidecíduo, con un tronco recto que alcanza hasta 30 m de altura y 60 cm de diámetro. La corteza es de color verde oscuro o gris, a menudo con manchas amarillentas, con lenticelas. Las hojas son alternas, elípticas, 6 a 20 cm de largo y de 5 a 10 cm de ancho, el haz es brillante de color verde oscuro y el envés es pálido, y con frecuencia son dañadas por los insectos. Las flores están distribuidas en amentos, en las cuales se encuentran flores masculinas y femeninas por separado en las mismas o diferentes ramas. Los amentos masculinos son de color amarillo, 10 a 25 cm de largo, y cuelgan en racimos al final de las ramas; los amentos femeninos son cortos, erectos y leñosos y se producen en la ramificación lateral de las ramas. Los frutos, que superficialmente se parecen a conos de pinos, son de color marrón oscuro en estado maduro, en posición vertical sobre tallos cortos, elípticos, son de consistencia leñosa, los conos vacíos pueden persistir en el árbol. Las semillas son de color marrón claro, circular y plana, con dos grandes alas membranosas, más de 2 mm de ancho,

los frutos maduran de noviembre a marzo dependiendo de la localización geográfica (Castillo, 2009)

4.5.2. Requerimiento de la especie

La especie *Alnus nepalensis* D. Don se desarrolla mejor en suelos con pH ácido, neutro o alcalino, pudiendo llegar a soportar terrenos pobres en nutrientes. Su parte subterránea crecerá con vigor en soportes con textura franco, arcilloso o muy arcillosa, éstos se pueden mantener generalmente húmedos o empapados. En cuanto a las necesidades lumínicas, es medianamente exigente, puede situarse en un lugar con semisombra o con exposición directa al sol indistintamente (Perez, 2012). De acuerdo con Castillo (2009), esta especie se encuentra de forma natural en bosque húmedo, fresco o climas de monzón subtropical de montaña, con un promedio anual de precipitaciones de 500 a 2 500 mm, con 4 u 8 meses y una estación seca.

Se comporta bien en zonas localizadas desde el nivel del mar hasta los 1800 m s n m con temperaturas entre 20 a 25 °C y precipitación de 1000 a 4000 mm, persiste en suelos rojos, ácidos y de baja fertilidad, resiste la sequía no muy prolongada y la quema (Castillo, 2009). En Ecuador dicha especie se encuentra en sitios con temperatura mínima anual de 4 °C, precipitación de 250 a 400 mm/año y, en distintos pisos altitudinales de 2000 a 3300 m s n m (Arteaga, 2018).

4.5.3. Uso de la especie

Según Castillo (2009) la madera de aliso es moderadamente suave con densidades de 320 – 370 kg/m³ A 480 – 590 kg/m³, al igual que la de otros alisos, se seca rápidamente y se quema fácilmente, se conserva bastante bien, aunque en condiciones húmedas se deteriora; está sujeta a la decoloración por oxidación, savia y mancha de hongos. Es apropiado para cajas de fósforos, para pulpa de papel. Las hojas maduras son comidas por las ovejas, cabras y ganado.

Mediavilla (2016) menciona que la madera de *Alnus nepalensis* D. Don es utilizada como postes, herramientas, cercas, artesanías, cajoneras, muebles, además la pulpa es usada para la fabricación de papel.

5. Metodología

5.1. Área de estudio

El secado de la madera y el estudio de trabajabilidad se realizó en el Centro de la Madera de la Universidad Nacional de Loja, barrio Capulí, parroquia San Sebastián, cantón Loja (Figura 1), a 2 141 m.s n m., en las coordenadas geográficas: 699 881,607 Latitud Sur y 9 553 872,669 Longitud este (Sarango, 2018).

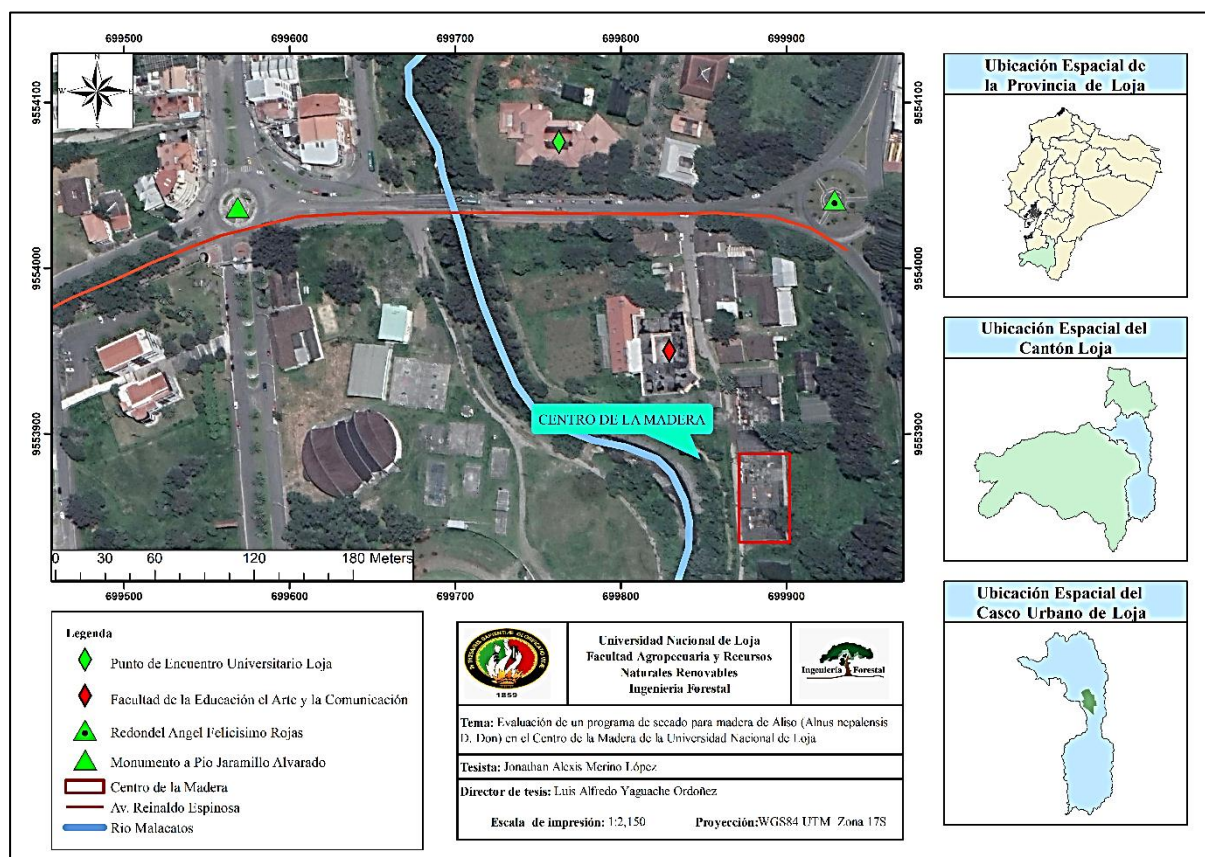


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio-Centro de la Madera.

Nota: Imagen obtenida de Google Earth. Fecha de la Imagen: 21/07/2021. Proyección Universal Transverse Mercator WGS84 Zona 17S

5.2. Toma de datos dasométricos y apeo del árbol

Se seleccionó 2 árboles para la obtención de probetas, estos fueron identificados en el sector Cola Cola del cantón Céllica, el sitio de crecimiento es un potrero con pendientes inclinadas (6 %) hasta pendientes escarpadas (29 %) formando un sistema silvopastoril.

5.2.1. Medición de variables dasométricas

Una vez identificado los árboles de *A. nepalensis*, se midieron las variables dasométricas, tales como: DAP (diámetro a la altura del pecho), altura total y comercial; cuyos datos fueron registrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Formato de recolección de datos dasométricos en árboles de *A. nepalensis*

N° árbol	DAP	Altura total	Altura comercial	Observaciones
1				
2				
3				

5.2.2. Apeo del árbol

Una vez registradas las variables dasométricas en la hoja de campo, se procedió a realizar el apeo de los árboles, considerando las normas de seguridad de los operadores, con el mínimo impacto al ecosistema (Figura 2). Con ayuda del flexómetro se dimensionó las trozas (1 metro) para luego realizar los cortes, para evitar la evaporación anticipada de la humedad, durante el transporte se aplicó parafina en los extremos de cada troza.



Figura 2. Colecta del material vegetal: A) Apeo y B) Trozado de los árboles de *A. nepalensis*

5.2.3. Obtención de las probetas

5.2.3.1. Probetas para obtener el contenido de humedad de la especie.

El contenido de humedad total de la especie se obtuvo en laboratorio utilizando una estufa, el protocolo para el secado fue de acuerdo a la norma ASTM D 4442-92,(1997). Esta

norma indica que para esta prueba de secado se debe hacer con probetas de 2 x 2 x 2 cm, del material a secar, a estas probetas se las obtuvo del centro y extremo de las trozas. (Figura 3).



Figura 3. Probetas. para determinar el contenido de humedad inicial de *A. nepalensis*

5.2.3.2. Probetas para determinar la curva de secado.

Para determinar la curva de secado fue necesario 24 probetas de 100 x 20 x 5 cm (Figura 4), mismos que se codificaron siguiendo el orden árbol-troza-pieza (A1T1P1).



Figura 4. Obtención de probetas en arboles de *A. nepalensis*

5.3. Evaluación de las condiciones que intervienen en el proceso de secado

5.3.1. Evaluación de las variables climáticas que intervienen en el secado

Para la evaluación del programa de secado fueron dispuestos un total de 24 probetas, 12 en el secador solar de tipo invernadero y 12 en el secador solar construido en el centro de la madera para el método de secado bajo techo siendo este el testigo.

5.3.1.1. Temperatura, humedad y presión atmosférica.

La evaluación de estas variables se realizó usando sensores especializados, para medir la humedad y temperatura se usó el sensor DTH 22 cuyas características son: rango de medición de temperatura de -40°C a 80°C , precisión de medición de temperatura de $<\pm 0,5^{\circ}\text{C}$, resolución

de temperatura de 0,1°C, rango de medición de humedad de 0 a 100 % RH, precisión de medición de humedad de 2 % RH, resolución humedad de 0.1 % RH (Figura 5B). Para la evaluación de la presión se utilizó el sensor BMP 280 el cual cuenta con las siguientes características: rango de presión de 300 a 1100 hPa (0,3 - 1,1bar), resolución de 0,16 Pa, precisión absoluta de 1 hPa (Figura 5A) estos sensores fueron programados en un código utilizando el lenguaje de programación de Arduino y la transmisión de datos se realizó mediante un módulo WIFI Esp8266 (Figura 5C), los cuales fueron montados en una placa electrónica, en el centro de la Madera. Cada programa de secado tuvo su propio equipo de monitoreo. Los datos fueron registrados en la página Web thingspeak con intervalos de 1 minuto entre datos, los cuales fueron descargados y gestionados en una hoja de cálculo.

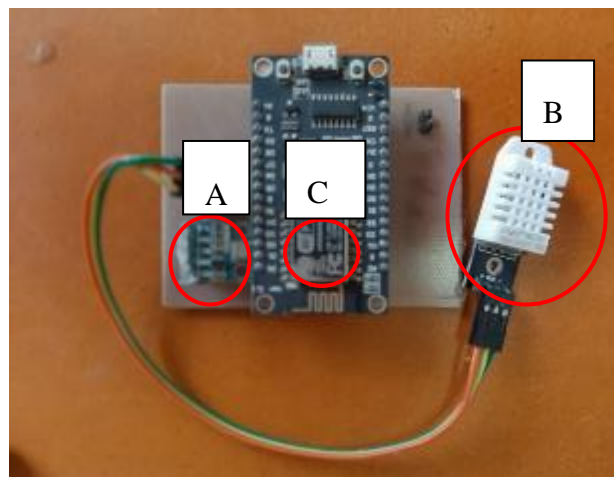


Figura 5. Circuito construido en el centro de la madera A) Sensor de Presión. B) Sensor de Temperatura y Humedad. C) Módulo Wi-Fi de transmisión de datos.

Los estadísticos obtenidos en Excel fueron: medidas de posición central (media aritmética, media ponderada, mediana), medidas de posición de localización (moda y cuartiles) y medidas de dispersión (varianza, coeficiente de variación y desviación estándar) y los datos se sometieron a una prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado), y al no tener normalidad se realizó la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis (ANOVA) con un p valor de 0,05 %. De igual manera se realizó un análisis de regresión lineal lo cual permitió estudiar la relación funcional entre las variables, el análisis se realizó en Infostat que usa el método de mínimos cuadrados para obtener estimaciones de los coeficientes de la ecuación que explica la relación entre las variables.

5.3.2. Determinación de humedad y densidad de la especie.

Para determinar el contenido de humedad (%), se usaron probetas de 2 x 2 x 2 cm, las cuales fueron llevadas a la estufa en el laboratorio y colocadas a una temperatura de 55 °C durante 5 días, el peso resultante al final de este periodo de tiempo fue tomado como peso anhidro de las probetas. Para calcular el contenido de humedad se utilizó la ecuación 2.

$$CH = \frac{P_h - P_s}{P_s} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

P_h = peso húmedo de la probeta (g)

P_s = peso seco de la probeta (g)

Para determinar la densidad de la madera se utilizó la norma estándar COPANT 461, para ello se utilizaron 6 probetas con las dimensiones de 10 x 3 x 3 cm (longitud, ancho, espesor), siendo que los cortes están dirigidos de tal forma que se distingan dos caras radiales y dos caras tangenciales. La densidad se determinó en tres estados de la madera: en verde, seca bajo techo y al horno.

Densidad en verde. Para evitar la pérdida de humedad, se procedió a almacenar las probetas en plástico, posteriormente fueron pesadas, obteniendo el peso en verde; entre tanto el volumen se determinó utilizando un calibrador para medir las 6 caras. El cálculo para la densidad se llevó a cabo utilizando la siguiente ecuación .

$$Dv = \frac{PV}{VV} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde:

DV= Densidad de la probeta en condición verde expresada en gramos / cm^3

PV= Peso de la probeta en estado verde expresado en gramos (g).

VV= Volumen de la probeta en estado verde expresado en cm^3

Densidad anhidra. Las probetas se secaron utilizando una estufa a una temperatura de 55 °C. Los valores se registraron periódicamente para obtener un peso constante en madera seca. El cálculo se llevó a cabo utilizando la siguiente ecuación:

$$DSA = \frac{PSH}{VSH} \text{ g/cm}^3 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde:

DA = Densidad de la probeta en estado anhidro expresada en gr/cm^3 .

PSH= Es el peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g).

VSH= Volumen de la probeta en estado seco al horno expresado en cm³ (g).

Densidad básica. Se tomó el peso en estado seco anhidro y se lo relacionó con el volumen en estado en verde, utilizando la siguiente ecuación:

$$DB = \frac{PSH}{VV} g/cm^3 \quad \text{Ecuación 5}$$

Donde:

DB= Densidad básica expresada gr/cm³.

PSH= Es el peso de la probeta en estado seco al horno expresado en gramos (g).

VV= Volumen de la probeta en estado verde expresado en cm³.

5.4. Determinación de los factores que intervienen en la curva de secado de *A. nepalensis* en el secador solar

5.4.1. Registro de peso para el programa de secado

Las probetas para el programa de secado fueron pesadas cada 7 días a través de una balanza digital del Centro de la Madera, el proceso duró 13 semanas y los datos fueron registrados en el formato de la Tabla 2.

Tabla 2. Formato para el registró de peso y humedad

Tiempo acumulado (días)	Código de probeta	Peso (kg)	Humedad (%)
0			
7			
14			
...			
...			
91			

5.4.2. Cinética del secado

La cinética del secado representa la variación de peso en función del tiempo, por lo tanto, fue necesario realizar cálculos de contenido de agua, porcentaje de humedad y con ello determinar la velocidad del secado.

5.4.2.1. Contenido de agua.

El contenido de agua promedio en la madera usada en los dos tratamientos se obtuvo a partir de la ecuación 2:

$$W_{h2o} = \text{Peso mh} - \text{Peso ms}$$

Ecuación 6

Donde:

W_{h2o} = contenido de agua.

Mh = masa de sólido húmeda.

Ms = masa de sólido seco.

5.4.2.2. Kilogramo de agua/ kilogramo de sólido

Este valor se encuentra dividiendo la masa líquida y masa seca, aplicando la siguiente ecuación:

$$X_i = \frac{M_{liq} (kg)}{M_s (kg)}$$

Ecuación 7

Donde:

X_i = porcentaje de humedad

M_{liq} = masa del sólido en verde

M_s = masa de sólido seco

5.4.2.3. Valor medio de humedad

Para determinar el valor medio de la humedad se considera el porcentaje de humedad de la madera, para ello se aplicó la siguiente ecuación:

$$X_m = \frac{X_i + X_{i+1}}{2}$$

Ecuación 8

Donde:

X_m = valor medio.

X_i = porcentaje de humedad.

5.4.2.4. Velocidad del secado.

La velocidad del secado se refiere a la pérdida de humedad en función del tiempo, este se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$W = \frac{S}{A} * \frac{\Delta x}{\Delta t}$$

Ecuación 9

Donde:

W = velocidad del secado,

S = peso del sólido seco.

A = área de la superficie expuesta.

$\Delta x =$ variación de la humedad.

$\Delta t =$ variación del tiempo.

5.5. Evaluación del programa de secado

Luego de determinar la velocidad del secado fue necesario evaluar el resultado en función de sus propiedades físicas y de trabajabilidad de la madera.

5.5.1. Evaluación del secado a través de la trabajabilidad de la madera

La evaluación de la trabajabilidad se realizó de forma visual y consistió en observar los defectos en la madera al terminar el programa de secado, para luego realizar una clasificación de los defectos de acuerdo a la norma técnica de clasificación y calificación de madera aserrada proveniente de bosques húmedos tropicales (INEN, 2011).

Posteriormente se llevaron a cabo pruebas de trabajabilidad siguiendo las normas ASTM D 1666-87 (1999), mismas que se detallan a continuación.

Ensayo de cepillado (probetas de 100 cm x 10 cm x 6 cm)

Ensayo de lijado (probetas de 100 cm x 10 cm x 6 cm)

Ensayo de Taladrado (probetas de 100 cm x 9 cm x 6 cm)

Ensayo de Torneado (probetas de 15 cm x 5 cm x 5 cm)

Primero se identificó el tipo de grano a través de una inspección visual, posteriormente se clasificó la magnitud de los defectos en las probetas de acuerdo a la siguiente escala:

- a) Grado 1: Excelente, (E) la probeta debe estar totalmente libre de defectos.
- b) Grado 2: Bueno, (B) acepta fibra levantada de 10 a 20 %.
- c) Grado 3: Regular, (R) acepta fibra levantada hasta en un 30 % y presencia de grano desgarrado.
- d) Grado 4: Malo, (M) acepta fibra levantada hasta en un 40 %, y en grano desgarrado se acepta hasta un 30 %.
- e) Grado 5: Muy Malo, (Mm) la fibra levantada se encuentra sobre un 40 % y grano desgarrado supera el 30 %.

6. Resultados

6.1. Evaluación de las variables que intervienen en el proceso de secado en el secador solar y bajo techo

6.1.1. Temperatura

La temperatura fue obtenida con ayuda de un sensor digital DHT 22, y el registro fue cada minuto durante 1200 horas, para cada ambiente de secado los sensores fueron de las mismas características técnicas y, el registro obtenido fue tabulado en una hoja de cálculo. En la Tabla 3 se presenta el resumen de la estadística descriptiva obtenida de la variable temperatura.

Tabla 3. Comparación de estadísticos de temperatura en secador solar y bajo techo durante 50 días

Estadísticos	Temperatura en secador solar	Temperatura en aire libre bajo techo
Media	24,32	15,99
Error típico	0,02	0,01
Mediana	21,18	15,00
Moda	16,30	14,20
Desviación estándar	9,26	3,72
Curtosis	0,73	1,11
Rango	61,30	30,40
Mínimo	9,80	7,90
Máximo	71,10	38,30
Nivel de confianza(95.0%)	0,04	0,02
Cuartil 25	17,78	13,80
Cuartil 75	27,80	17,60
Coefficiente de variación	38,90	23,33

La temperatura promedio registrada dentro del secador durante 50 días fue 24,32 °C, resultando 8,33 °C más alta que la media registrada en el ambiente, por otro lado, la temperatura máxima registrada en el secador solar fue de 71,10 °C. Mientras que temperatura la máxima registrada en el ambiente fue de 38,3 esto implica una diferencia de 32,8 °C, por el contrario, la temperatura mínima solo registra 1,9 °C de diferencia positiva para el secador solar.

La desviación estándar de la variable temperatura mide la variabilidad de los datos con respecto a la media. En el secador solar se registró un valor de 9,26 °C, esta variabilidad es mayor que el secado bajo techo con 3,72 °C, lo que indica que los datos de temperatura en el secador solar presentan una mayor variabilidad que los datos de temperatura al aire libre los cuales presentan mayor homogeneidad. Es decir, las temperaturas en el secador solar son más variables que las temperaturas al aire libre.

En la Figura 6 se presenta el promedio diario por cada programa de secado, donde se puede observar que la temperatura en el interior del secador durante las 12 horas diurnas es superior a la temperatura fuera del secador solar en el mismo periodo de tiempo.

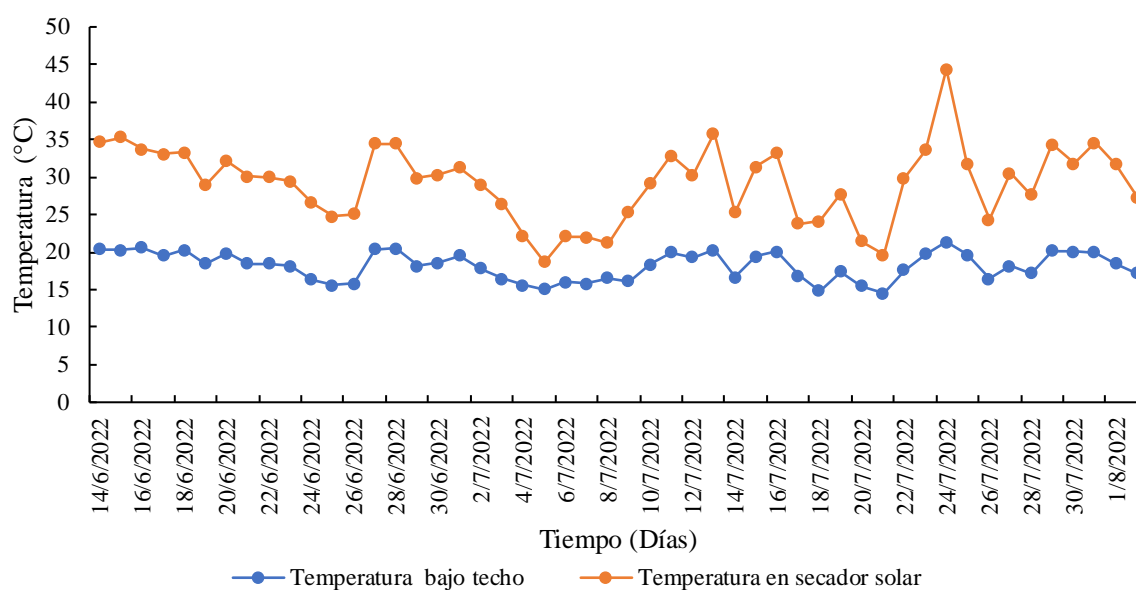


Figura 6. Valores promedio diario de temperatura registrada en el secador solar y bajo techo durante el programa de secado en el periodo diurno.

El análisis ANOVA (Análisis de varianza) en la fase diurna 12 horas (6 am a 18 pm) se observan una diferencia de temperatura media de 10,93 °C a favor del secador solar, por lo que muestra un mayor rango de variabilidad siendo diferenciado con la letra “B”, es decir, la temperatura alcanza rangos mas altos dentro de la cámara de secado, siendo más favorable para la eliminación del agua dentro de la madera. La prueba Kruskal-Wallis demuestra diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) de temperatura entre el tratamiento de secado en el secador solar y el tratamiento de secado bajo techo, así mismo se pueden observar que el rango mayor es para el secador solar (Tabla 4).

Tabla 4. Valores medios de Temperatura registrada en el interior y exterior del secador solar durante la etapa diurna.

Programa de secado	Medias	Rangos	<i>p</i>
Bajo techo	18.17 °C	64271,37 A	0,0001
Secador solar	29.10 °C	124578,91 B	

6.1.2. Humedad

Al igual que en la temperatura, se usó el sensor DHT 22 para registrar la humedad durante el mismo periodo de tiempo y con las mismas especificaciones técnicas para los dos ambientes de secado. Se evaluó los estadísticos de medida de posición central, localización y medidas de dispersión. La Tabla 5 presenta el resumen de la estadística descriptiva de la variable humedad.

Tabla 5. Comparación de estadísticos de humedad en secador solar y bajo techo durante 50 días

Estadísticos	Humedad en secador solar	Humedad en aire libre bajo techo
Media	56,81	80,19
Error típico	0,03	0,03
Mediana	58,82	83,40
Moda	63,60	90,80
Desviación estándar	14,13	14,27
Curtosis	0,03	0,69
Rango	99,94	71,70
Mínimo	4,40	28,20
Máximo	99,9	99,90
Nivel de confianza(95,0%)	0,07	0,06
Cuartil 25	49,11	73,70
Cuartil 75	67,80	91,30
Coefficiente de variación	24,88	17,79

En lo que refiere a humedad, en el secador solar se obtuvo un mínimo de 4,40 % de humedad, mientras que el máximo fue de 99,9 %, dando un promedio de 56,81 %, mientras que en el secado bajo techo el valor mínimo de humedad fue de 28 % y el valor máximo fue de 99,9 %, dando una media diaria de 80,19 %.

La desviación estándar mide la variabilidad de los datos con respecto a la media y para el secado con secador solar fue de 14,13 % , esta variabilidad es similar al secado bajo techo con 14,27 % , por lo tanto, se puede inferir que la humedad en los dos programas de secado presenta homogeneidad, sin embargo, el coeficiente de variación es mayor para el caso del secador solar ya que los datos recopilados muestran mayor variabilidad con respecto a los datos del secado bajo techo, probablemente esto se deba a la sensibilidad del secador solar con respecto a la radiación solar y la lectura a cada minuto.

Durante el periodo de secado se registró menor contenido de humedad dentro del secador solar durante la etapa diurna como se observa en la Figura 7, en la cual gracias al aumento de temperatura y al mecanismo de intercambio gaseoso de la cámara de secado con

el exterior, la humedad dentro del secador solar se reduce favoreciendo el proceso de secado al evitar la saturación de humedad del ambiente.

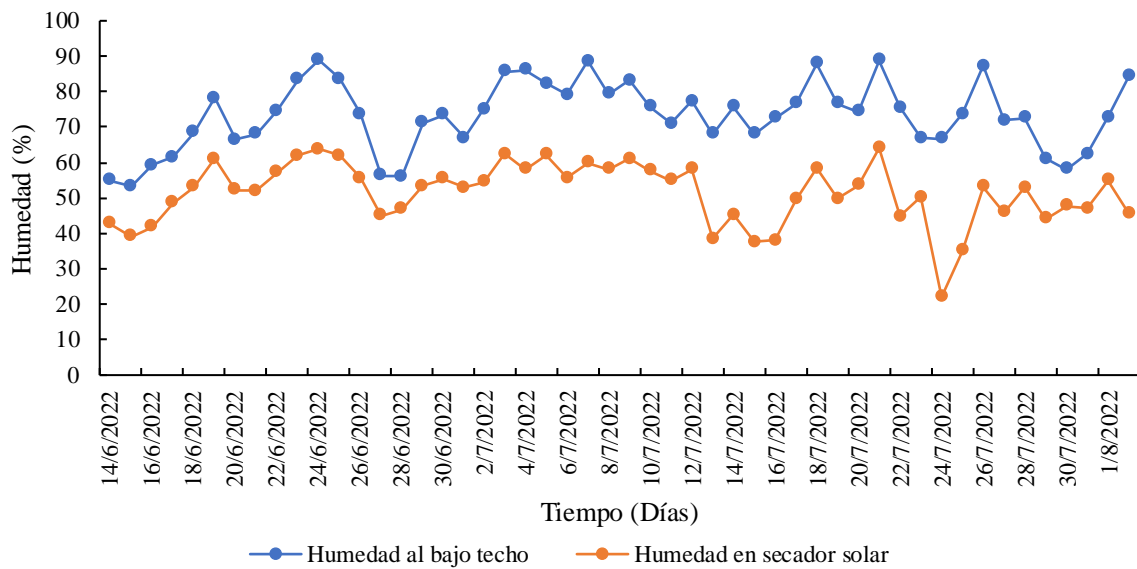


Figura 7. Valores promedio diario de humedad registrada en el secador solar y bajo techo durante 50 días en la etapa diurna

El ANOVA de la humedad en los dos métodos de secado durante un periodo de 1200 horas, muestra que en contraste con el exterior la humedad se reduce un 21,12% dentro de la cámara de secado, por lo cual el rango es mayor en el secador solar, debido a lo cual existe una diferencia significativa en entre la Humedad en el secador solar y la humedad en el exterior, la prueba se realizó con en valor de $p < 0,05$ (Tabla 6).

Tabla 6. Valores medios de Humedad registrada en el interior y exterior del secador solar durante la etapa diurna.

Programa de secado	Medias	Rangos	<i>p</i>
Bajo techo	52,10 %	62715,95 A	0,0001
Secador solar	73,22 %	121082,40 B	

6.1.3. Presión atmosférica

Se midió la presión empleando el sensor BMP 280, el registro de la variable fue por un lapso de 50 días, se utilizó el mismo modelo de sensor para ambos ambientes, con las mismas especificaciones técnicas. La presión en el ambiente registra variación entre 780,31 y 786,47,

dando un promedio de 783,44 hPa, en cambio, la presión dentro del secador varió entre 749,16 y 949,20 hPa con un promedio de 801,10 hPa en el interior del secador solar. (Tabla 7).

Tabla 7. Comparación de estadísticos de presión en secador solar y bajo techo durante 50 días

Estadísticos	Presión en secador solar	Presión en aire libre bajo techo
Media	801,10	783,44
Error típico	0,07	0,00
Mediana	788,50	783,50
Moda	780,60	783,77
Desviación estándar	31,48	1,05
Curtosis	1,70	-0,39
Rango	200,04	6,16
Mínimo	749,16	780,31
Máximo	949,20	786,47
Nivel de confianza(95,0%)	0,15	0,00
Cuartil 25	779,24	782,72
Cuartil 75	818,08	784,20
Coefficiente de variación	3,93	0,13

La desviación estándar en el conjunto de datos del secador solar presenta una desviación estándar de 31,48 hPa y 1,05 hPa en el caso del secado bajo techo, por lo que la presión dentro de la cámara de secado es más heterogénea en comparación a la presión atmosférica en el exterior, es decir la presión en el exterior presenta menos variación de acuerdo a los datos recopilados, en comparación a los datos registrados en el interior de la cámara de secado.

La diferencia entre la presión en el secador solar y bajo techo (Figura 8), siendo que, bajo techo la presión no presenta variación significativa, mientras en el secador solar la presión varía en función de la evaporación de la humedad de la madera, por lo que, si las condiciones ambientales no son óptimas para el secado, la variación será menor.

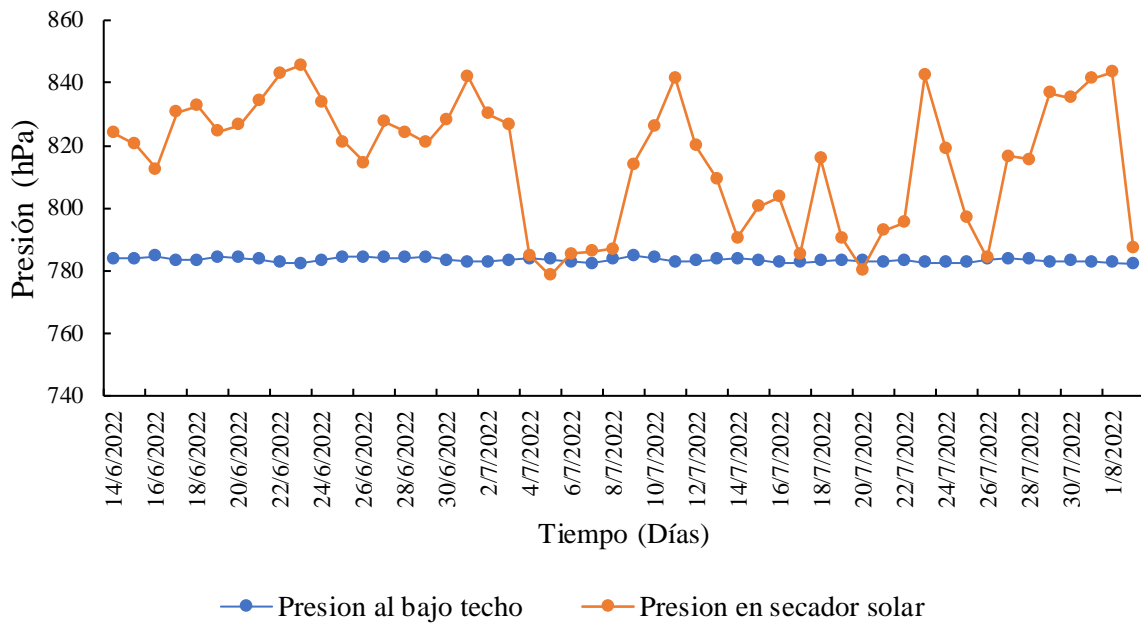


Figura 8. Valores promedio diario de presión registrada en el secador solar y bajo techo durante 50 días en la etapa diurna

El análisis estadístico muestra una diferencia media de 33,47 hPa dentro de la cámara de secado en comparación con el exterior, por lo que el rango de variabilidad es mayor dentro del secador solar, así mismo, se demuestra una diferencia estadística significativa ($p < 0,05$) entre la presión registrada en el secador solar y bajo techo de acuerdo con la prueba Kruskal Wallis aplicada a esta variable (Tabla 8).

Tabla 8. Valores medios de la presión registrada en el interior y exterior del secador solar durante la etapa diurna

Programa de secado	Medias	Rangos	<i>p</i>
Bajo techo	783,36	69010,65 A	0,0001
Secador solar	816,83	119418,19 B	

Con respecto a la regresión lineal, los datos permitieron un análisis de regresión simple para ambos métodos de secado. En la Figura 9, se puede observar la representación gráfica del análisis del conjunto de datos en dos ambientes de secado.

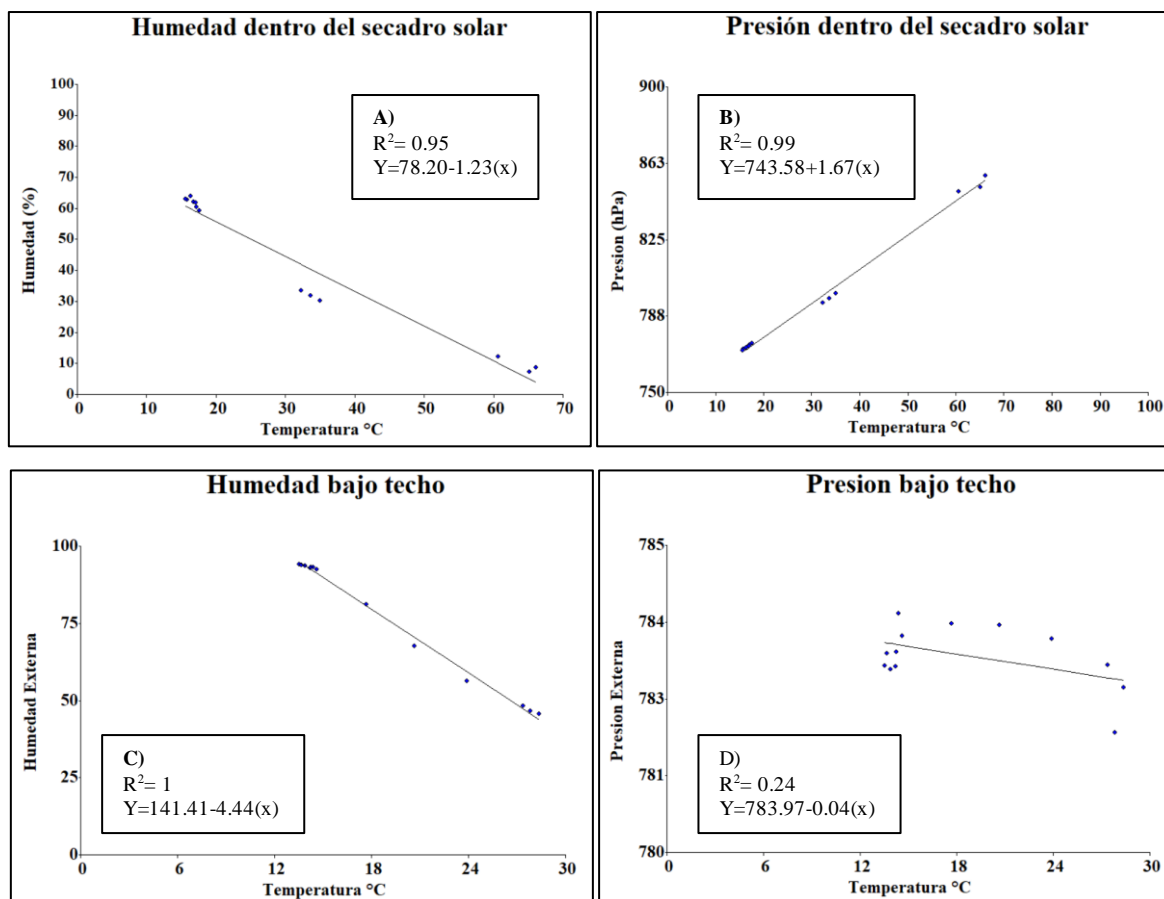


Figura 9. Análisis de regresión lineal, A) Humedad dentro del secador solar, B) Presión dentro del secador solar C) Humedad bajo techo D) Presión bajo techo.

Las ecuaciones facilitan predecir las condiciones del medio en el que se realiza el secado, permitiendo ajustar los valores de presión y humedad dentro del secador solar, en la Figura A, B y C el valor de R^2 es superior a 0,95 lo que demuestra un buen ajuste del modelo de regresión, siendo capaz de explicar adecuadamente la variación en las variables y su respuesta a los diferentes cambios en la temperatura utilizando las ecuaciones descritas, sin embargo en la Figura 9 D, el valor de R^2 es de 0,24 siendo la ecuación resultante ineficiente al momento de explicar la variación de esta variable.

6.1.4. Humedad y densidad de la especie

A partir del peso promedio de las probetas en verde y con el peso anhidro estabilizado en la estufa (0 %) se determinó la humedad inicial de 119,35% (Tabla 9).

Tabla 9. Humedad de la madera de *A. nepalensis* obtenida en laboratorio

Promedio del peso en verde de las probetas	Promedio del peso anhidro de las probetas	Humedad inicial de <i>A. nepalensis</i> (%)
99,43	43,96	119,35

El cálculo de la densidad en base seca de la madera de *A. nepalensis* fue de 0.46 gr/cm³ clasificándola como una madera blanda (Tabla 10).

Tabla 10. Densidad de la especie *A. nepalensis* obtenida en laboratorio

Densidad en estado verde	Densidad en estado anhidro	Densidad en estado base
0,71 gr/cm ³	0,49 gr/cm ³	0,46 gr/cm ³

6.2. Determinación de los factores que intervienen en la curva de secado de *A. nepalensis* en el secador solar

6.2.1. Curva de secado

En las figuras 10 y 11 se puede observar la evaporación constante de la humedad contenida en la madera, así mismo se identifica la diferencia entre los dos tratamientos, ya que, la madera sometida a secado en el secador solar durante las primeras semanas, elimina la humedad de manera constante en comparación al programa de secado bajo techo. Aunque el uso del secador solar influye en el tiempo de secado, así como el contenido final de humedad en la madera, éste aún depende de las condiciones del medio en el que se encuentra. Al evaluar la velocidad del secado en la Figura 10 y 11 se puede observar que, en general a los 35 días la velocidad de secado es alta, ya que el agua removida es la que se encuentra en las cavidades celulares en forma libre, a partir de ahí la velocidad disminuye porque el agua restante se encuentra adherida a las paredes celulares gobernadas por las fuerzas de cohesión y adhesión. Al compara la velocidad de los dos programas de secado durante los primeros 35 días, se observa que en el caso del secador sola (0,0043 kg/m²/h) la velocidad es mayor a la velocidad de secado bajo techo (0,0035 kg/m²/h) (Tablas 11 y 12), esto debido a que brinda mejores condiciones (temperaturas altas y humedad baja). Así también, se puede observar que la velocidad es variable, esto debido al poco control en las condiciones en ambos medios.

Tabla 11. Cinética del secado en probetas de *A. nepalensis* secas en secador solar

Días	Horas	Peso total (kg)	Humedad total (kg)	X (Kg de agua / Kg solido seco)	Valor medio \bar{x}	$W = \frac{S}{A} * \frac{\Delta x}{\Delta t}$
0	0	10,03	5,30	1,12		
7	168	8,75	4,02	0,85	0,9847	0,0493
14	336	7,88	3,15	0,67	0,7583	0,0190
21	504	7,33	2,60	0,55	0,6085	0,0102
28	672	6,77	2,04	0,43	0,4905	0,0061

Días	Horas	Peso total (kg)	Humedad total (kg)	X (Kg de agua / Kg solido seco)	Valor medio \bar{x}	$W = \frac{S}{A} * \frac{\Delta x}{\Delta t}$
35	840	6,75	2,02	0,43	0,4288	0,0043
42	1008	6,29	1,56	0,33	0,3786	0,0032
49	1176	6,04	1,31	0,28	0,3037	0,0022
56	1344	5,88	1,15	0,24	0,2597	0,0016
63	1512	5,79	1,06	0,22	0,2333	0,0013
70	1680	5,45	0,72	0,15	0,1883	0,0009
77	1848	5,33	0,60	0,13	0,1399	0,0006
84	2016	5,23	0,50	0,11	0,1170	0,0005
91	2184	4,73	0,00	0,00	0,0536	0,0052

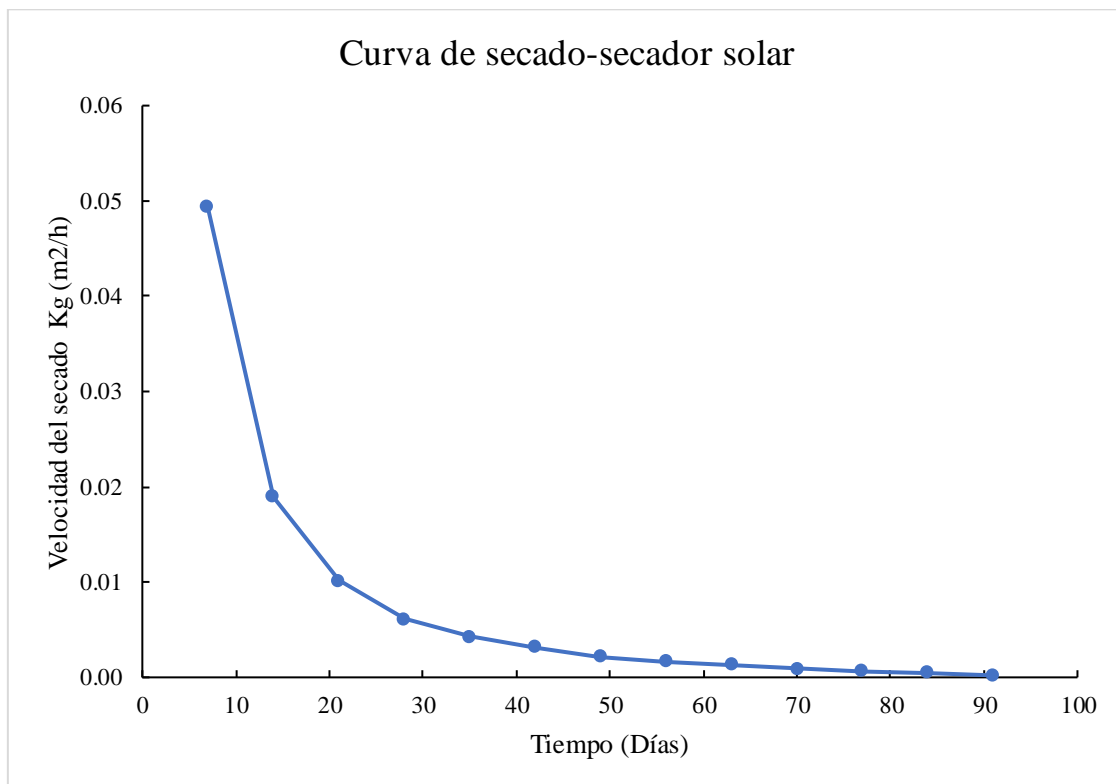


Figura 10. Curva de secado de la madera seca en secador solar

Tabla 12. Cinética del secado en probetas de *A. nepalensis* secas bajo techo

Días	Horas	Peso total (kg)	Humedad total (kg)	X (Kg de agua / Kg solido seco)	Valor medio \bar{x}	$W = \frac{S}{A} * \frac{\Delta x}{\Delta t}$
0	0	10,1	4,93	0,95		
7	168	8,9	3,70	0,71	0,8301	0,0457
14	336	8,5	3,33	0,64	0,6763	0,0186

Días	Horas	Peso total (kg)	Humedad total (kg)	X (Kg de agua / Kg solido seco)	Valor medio \bar{x}	$W = \frac{S}{A} * \frac{\Delta x}{\Delta t}$
21	504	7,9	2,72	0,52	0,5817	0,0107
28	672	6,9	1,72	0,33	0,4263	0,0059
35	840	6,8	1,63	0,31	0,3221	0,0035
42	1008	6,7	1,47	0,28	0,2981	0,0027
49	1176	6,2	0,97	0,19	0,2340	0,0018
56	1344	6,0	0,80	0,15	0,1699	0,0012
63	1512	5,7	0,48	0,09	0,1234	0,0008
70	1680	5,4	0,23	0,04	0,0689	0,0004
77	1848	5,4	0,20	0,04	0,0417	0,0002
84	2016	5,3	0,12	0,02	0,0304	0,0001
91	2184	5,2	0,00	0,00	0,0112	0,00005

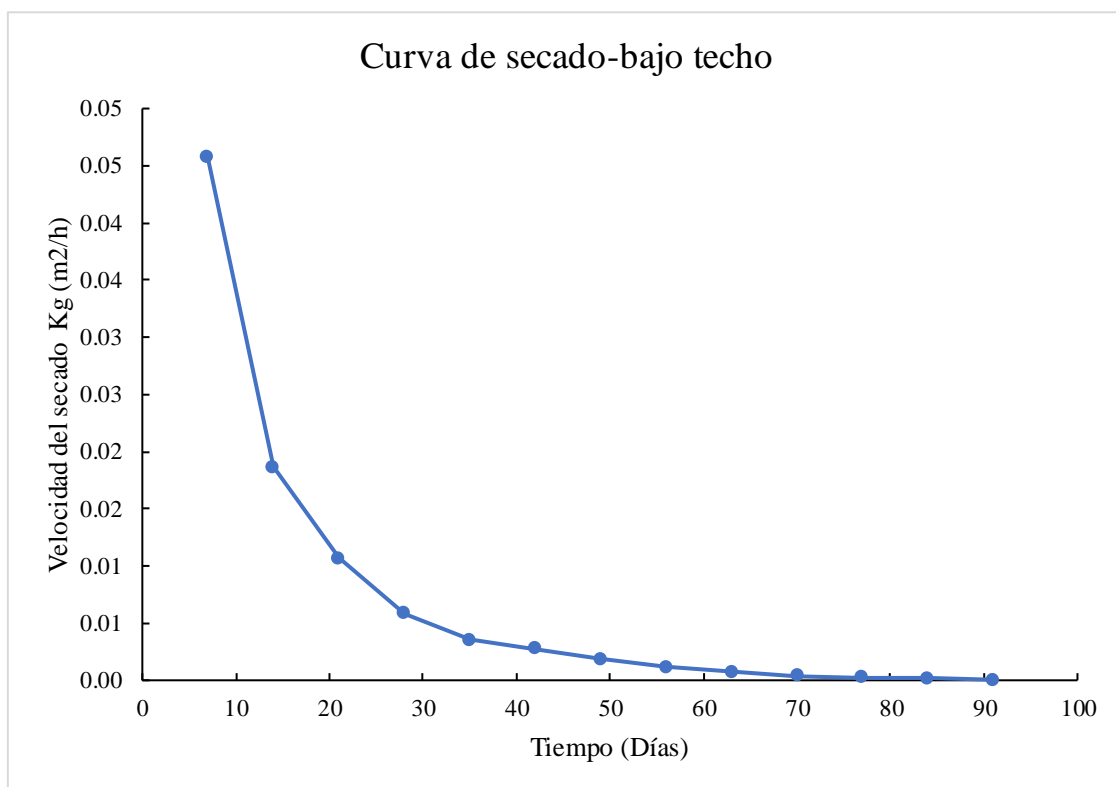


Figura 11. Curva de secado de la madera seca bajo techo

Durante los primeros 42 días se elimina gran parte de la humedad contenida en la madera, en días posteriores, la cantidad de agua evaporada disminuye hasta entrar en un punto de equilibrio con la humedad del ambiente en el que se encuentra. El porcentaje promedio de humedad en la madera final del secador solar fue de 7,85 %, mientras que la humedad final en la madera del programa de secado bajo techo fue del 14,12 %.

6.2.2. Análisis de varianza en los programas de secado

Con los datos obtenidos de los dos programas de secado, se realizó el análisis estadístico a los datos registrados usando el programa estadístico InfoStat, en primera instancia se realizó la prueba de normalidad (Shapiro-Wilks modificado), a los 30, 60 y 90 días de secado, posteriormente se realizó el análisis de varianza entre los dos métodos de secado de acuerdo a la serie temporal descrita anteriormente (Figura 12).

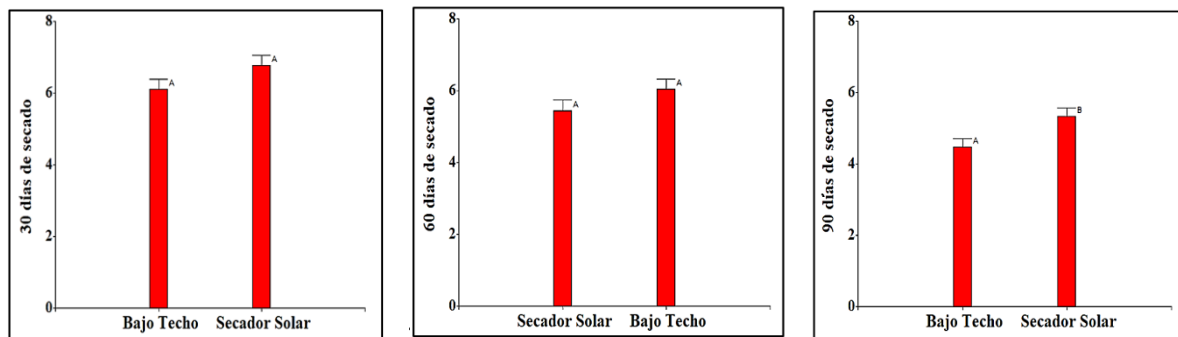


Figura 12. Análisis de varianza a los 30, 60 y 90 días después de iniciado el programa de secado en madera de *A. nepalensis*

De acuerdo a la Figura 12, no se observa una diferencia significativa hasta los 60 días después de iniciado el proceso de secado, esto debido a que la madera elimina el agua libre contenida en las cavidades celulares y es la más fácil de remover inclusive con una menor cantidad de energía calórica. Después de los 60 días se encuentra diferencia significativa entre ambos procesos de secado, en este punto las cavidades ya no contienen agua por lo que las probetas llegan al punto de saturación de las fibras continuando con el proceso de secado empezando a remover el agua higroscópica, que se encuentra adherida a las paredes celulares de la madera y esta necesita de mayor energía calórica para su remoción,

6.3. Evaluación del programa de secado

6.3.1. Evaluación visual de los defectos de la madera

La evaluación de los defectos se llevó a cabo midiendo la extensión de los mismos en la superficie de cada probeta. Como se puede observar en la Tabla 5, las probetas secadas en el horno solar presentan menos defectos producto del secado en comparación a las probetas secadas en el ambiente. Las evaluaciones visuales de las probetas muestran que al hacer uso del secador solar existe menor riesgo de causar deformidad o algún otro defecto que de acuerdo a la norma técnica, sea inutilizable para la fabricación de mueblería.

La observación visual permitió descartar los defectos que afectan o no a las probetas de madera de *A. nepalensis* se encontró defectos anatómicos de la especie, defectos causados por el secado y defectos provocados por el aserrado. (Tabla 13), durante la evaluación no se identificó defectos referentes a la sanidad ya que no se observó ataques de insectos ni apareamiento de hongos.

Tabla 13. Defectos encontrados en las probetas de *A. nepalensis* después del secado

DEFECTOS	MADERA PARA MUEBLE
1. Anatómicos	
A. Nudos	
a. Sano	Presenta
b. Hueco	Presenta
c. Arracimado	Presenta
2. Por secado	
Abarquillado	Presenta
Arqueadura	Presenta
Encorvadura	No presenta
Torcedura	Presenta
3. Por aserrado	
Escamadura	No presenta
Grietas	Presenta
Rajaduras	Presenta
Aristas faltantes	No presenta
Compresión	No presenta
4. Sanidad	
A. Por insectos	
Perforaciones Pequeñas	No presenta
Perforaciones Grandes	No presenta
B. Por hongos	
Mohos	No presenta
Manchas	No presenta
Pudriciones:	No presenta
-Clara	No presenta
-Castaña	No presenta

En la tabla 14, en la clasificación de arqueadura se observa que el 100 % de las piezas secadas en horno solar no exceden los límites permisibles para esa categoría, en comparación al método de secado al bajo techo el cual solo el 82,4 % se mantiene dentro de los rangos permitidos. En el caso de torcedura existe mayor cantidad de probetas afectadas dentro del secador solar (81,8 %) producto de un rápido proceso de secado, a diferencia de las probetas secadas en el exterior que, presentan menos piezas afectadas (41.2 %). Los dos tratamientos presentan defectos de acanaladura, sin embargo, el porcentaje de piezas usables se mantiene arriba del 70 % de las piezas.

En el caso de las grietas, se observa que el 100 % de las probetas secas en secador solar no presentan defectos que impacten a la pieza de forma grave, mientras que en el secado bajo techo el 35,3 % de las piezas exceden el rango permitido, por lo que se las clasifica como no

usable. Las rajaduras están presentes en los dos tratamientos de secado, el porcentaje de piezas usables es de 81,8% en el caso del secador solar y 94,1 % en secado bajo techo. En la tabla 14 se observa que la mayoría de piezas no son aptas para la construcción de muebles debido a la presencia de nudos, sin embargo, esto se debe a que los individuos usados en este estudio no fueron podados por lo que no fue posible controlar y evitar este tipo de defecto.

Tabla 14. Defectos en la madera producto del secado en horno solar y secado bajo techo (Medido en porcentaje)

Defectos de secado	Secador Solar		Bajo techo	
	Usable (%)	No Usable (%)	Usable (%)	No Usable (%)
Arqueadura	100,0	0,0	82,4	17,6
Torcedura Extremo Izq.	18,2	81,8	41,2	58,8
Torcedura Extremo Der.	27,3	72,7	41,2	58,8
Acanaladura Extremo Izq.	81,8	18,2	82,4	17,6
Acanaladura Extremo Der.	72,7	27,3	94,1	5,9
Grietas Extremo Izq.	100,0	0,0	64,7	35,3
Rajadura Extremo Izq.	81,8	18,2	94,1	5,9
Grietas Extremo Der.	100,0	0,0	88,2	11,8
Rajadura Extremo Der.	81,8	18,2	82,4	17,6
Nudos Cara Frontal	18,2	81,8	41,2	58,8
Nudos Cara Posterior	9,1	90,9	17,6	82,4
Nudos Canto Superior	45,5	54,5	64,7	35,3
Nudos Canto Inferior	45,5	54,5	58,8	41,2

6.3.2. Trabajabilidad de la madera

6.3.2.1. Cepillado

La velocidad de alimentación promedio de la cepilladora fue de 4,68 m/min, con un ángulo de corte de 30 °. El ensayo de cepillado registró una clasificación de buena calidad, tanto para las probetas secadas en el horno solar y bajo techo. El examen visual identificó grano levantado y grano arrancado en la superficie de ambas caras de la probeta, la extensión de estos defectos fue moderadamente baja por lo que se otorgó una calificación de segundo grado (buena calidad) (Anexo 4 y 5).

6.3.2.2. Lijado

Las probetas del secador solar que fueron pulidas con la lija número 80 obtuvo un 66,6 % libres de defectos, mientras que, las probetas secadas bajo techo tuvieron un 33,3 % de probetas libres de defectos. Las lijas de número 150, 240 y 360 no produjeron defectos en las probetas, después del lijado se obtuvo un acabado limpio (Anexo 6).

6.3.2.3. Taladrado

El ensayo de taladrado tanto para las probetas secadas en el secador solar y bajo techo la calidad de segundo grado, es decir buena, al utilizar la broca para acero, mientras que las brocas para madera y broca mixta presento calidad regular, especialmente en los orificios de salida en los que se presentaron la mayoría de defectos. Los orificios de entrada y salida presentan defectos por lo que se les dio una calificación de segundo grado, en el caso de los orificios de salida realizados con las brocas de madera y mixta presentaron defectos más graves por lo que obtuvieron la calificación de tercer grado (Anexo 7 y 8).

6.3.2.4. Torneado

El torneado la calidad de segundo grado para ambos métodos de secado, en los cuales se identificó aspereza en la madera en piezas sin lijar. De igual manera se obtuvo el mismo resultado después de pulir la pieza con la lija número 60. Pero al aplicar la lija de 150, según el examen visual se le dio una clasificación de primer grado de calidad a las piezas (Anexo 9).

7. Discusión

7.1. Condiciones que interviene en el proceso de secado

La temperatura y humedad dentro del secador ofrecen un mejor ambiente de secado en contraste con el exterior. Durante el mes de Julio, en el periodo de mayor intensidad de radiación solar (12h a 15h) la temperatura alcanzó un máximo de 38,30 °C bajo techo y 71,10 °C en el secador solar, lo que supone una temperatura de 46,1 % superior a la temperatura fuera de la cámara de secado, en cuanto a la humedad es 23,8 % menos dentro del secador solar. En promedio la temperatura dentro del secador solar es 8,33 °C más alta que al ambiente y la humedad se ve reducida en un 23,38%. Estas temperaturas son similares a las obtenidas por Salinas et al. (2003), la diferencia obtenida en temperatura en su estudio es de 8,3 °C, aunque en cuanto a la humedad la diferencia solo llega a ser del 7,1 %. Yepez (2021) realizó una investigación de secado de madera con la especie *Alnus nepalensis*, durante el secado registró temperaturas promedio dentro del secador de 24,32 °C y una humedad relativa de 80 %, dichas cifras son similares a las obtenidas en este estudio. La variación de la temperatura interna no es aleatoria, está directamente relacionada a la temperatura exterior, de igual manera Salas (2011) al realizar una comparación de tres modelos de secador, al aumentar la temperatura externa, la temperatura interna aumenta drásticamente.

La humedad mínima registrada en el interior del secador es inferior a la del exterior, resultados que concuerdan con Feltan et al. (2022) quienes en su investigación registraron una humedad menor en la cámara de secado en comparación con el medio exterior, sin embargo, la humedad máxima interna es igual que la externa, esto se debe a las continuas precipitaciones, que ocasionaron el aumento de humedad dentro de la cámara de secado, esto confirmado con Ruiz (2017), el cual registró un aumento en la humedad debido a las precipitaciones de temporada, el aumento de la humedad es un factor de riesgo pues crea las condiciones que propician la proliferación de hongos perjudicando la madera además de retrasar la pérdida de humedad de la madera extendiendo el tiempo de secado.

Los datos de presión dentro de la cámara de secado mostraron una variación significativa dentro del secador, esto debido a la variación de la temperatura y humedad, esto es corroborado por Eslava (1991), donde menciona que los niveles de presión aumentan en los periodos en el que se registran temperaturas frías, ya que el aire frío es más denso aumentando la presión dentro de la cámara de secado, de igual forma Heuvelde et al. (1986), manifiesta que el aire al estar constituido por una serie de elementos, presenta variaciones en la presión

atmosférica y, ya que, al aumentar la humedad dentro de la cámara de secado, el aire se satura de elementos y por ende aumenta la presión.

La densidad básica obtenida fue de $0,46 \text{ g/cm}^3$ por lo cual la madera como madera es catalogada como blanda, sin embargo este resultado difiere con Mediavilla (2016) quien al trabajar con la misma especie obtuvo una densidad del $0,31 \text{ g/cm}^3$ esta variación se debe a que es una especie latifoliada por lo que existe variación entre su composición anatómica incluso dentro de la misma especie. Williams y León (2010) mencionan que a diferencia de las coníferas las cuales están constituidas principalmente por traqueidas, las latifoliadas tienen una mayor variación en tipos de tejidos, en su distribución y proporción.

7.2. Factores que intervienen en la curva de secado del *A. nepalensis* en el secador solar

De acuerdo con Ananias et al. (2005) la cinética presenta 3 etapas, la primera de una velocidad de evaporación constante de la humedad, la segunda caracterizada por registros de velocidad decreciente y la tercera etapa gobernada por el movimiento difusional, sin embargo los resultados de este estudio muestran directamente una velocidad decreciente, ya que tanto en el secador solar y secado bajo techo no es posible mantener condiciones constantes de humedad por lo que la variabilidad afecta directamente a la velocidad del secado.

Las probetas sometidas a secado mediante horno solar y secado bajo techo eliminan el agua libre contenida en la madera en un lapso de tiempo aproximadamente de 42 días, momento en el cual la velocidad con la que se elimina la humedad en la madera disminuye por lo que la cantidad de períodos necesarios para lograr un nivel mínimo de humedad correspondiente a las condiciones de cada tratamiento aumenta, llegando a ser en ese caso de 91 días el tiempo necesario para que ambos tratamientos lleguen al punto de equilibrio, sin embargo a partir de los 56 días la cantidad de agua eliminada corresponde a menos de 0,02 kg que corresponde al agua adherida a las paredes celulares, Yopez, (2021) obtiene resultados diferentes, a través del método de secado en horno solar en un tiempo de 56 días y bajo techo 77 días, la homogeneidad del tiempo de secado en este estudio se debe a las condiciones en las que se encontraba ubicado el secador solar, debido a las intensas precipitaciones de la ciudad de Loja, el tiempo necesario para alcanzar el punto de equilibrio a través del secado en horno solar aumento, sin embargo, el contenido final de humedad en la madera es diferente para cada tratamiento, siendo así que se obtuvo 7,85 % en el horno solar y 14,12 % el secado bajo techo. Mientras se proporcione un entorno adecuado para el secador solar, es posible disminuir el tiempo de secado sin comprometer los resultados finales de humedad.

De las variables evaluadas la humedad es el factor más importante a considerar al implementar el método de secado del secador solar, esto debido a que puede aumentar el tiempo necesario para eliminar el contenido de humedad en la madera, de igual forma propiciando el entorno adecuado para la proliferación de hongos que ataquen a la madera. Diversos estudios como el de Salinas et al. (2003) y Herrera et al. (2017) han realizado la evaluación del secado de madera empleando el secador solar obtienen el contenido de humedad final deseado utilizando solo la mitad del tiempo necesario que se utiliza empleando el secado al aire libre.

7.3. Evaluación del programa de secado

Entre los defectos encontrados en la madera están los nudos, los cuales se pueden considera como los defectos más naturales y comunes en la madera, Chávez et al. (2010) mencionan que, esta parte es la que se queda incluida en el árbol. Esto sucede cuando no existe un manejo forestal adecuado al no realizar podas regulares. Los individuos estudiados al no pertenecer a una plantación forestal no se les dieron el tratamiento adecuado, por lo que presentan gran número de nudos.

EL abarquillado, arqueadura y torcedura son defectos que, afectan a los dos lotes de madera en los cuales se aplicó los dos tipos de secado, sin embargo las piezas secadas en el secador solar presentan mayor porcentaje de defectos, de acuerdo a Santiago et al. (2013) mencionan que estos defectos son causados por realizar el secado en un ambiente con aire seco en el que existe un desequilibrio higroscópico de la madera muy reducido, por lo que estaría acorde a la realidad de esta investigación ya que dentro de la cámara de secado la temperatura aumentada provoca la aceleración de la pérdida de agua, sumado al uso de los ventiladores para disminuir la saturación del aire, la humedad decae provocando tales defectos en la madera.

Defectos como grietas y rajaduras afectan a la mayoría de piezas evaluadas en ambos tipos de secado aplicado, esto se debe a las características de la especie, ya que al ser porosa esta pierde humedad rápidamente, de acuerdo a Viscarra (1998), existen dos formas a las que se le puede atribuir el apareamiento de estos defectos, la primera es la rápida pérdida de humedad en las primeras etapas del secado y la segunda es la aplicación de humedad cuando el punto de secado es inferior seguido de un rápido secado de la superficie, las dos formas originando esfuerzos de tensión en la pieza. De acuerdo al tipo de secado empleado, la ubicación y las condiciones del medio, los dos lotes de madera produjeron defectos de grietas debido a que estuvieron expuestos a una rápida velocidad de secado acompañada múltiples veces de aumento de humedad por encima del punto de saturación de las fibras.

El ensayo de cepillado se realizó de acuerdo a la norma ASTM 1666-87 y para ello se empleó una máquina cepilladora con una velocidad de alimentación promedio de 4,68 m/min, con cuchillas de acero dispuestas en un ángulo de corte de 30° y 1750 revoluciones por minuto, el resultado clasificó a la madera con calidad de segundo grado, es decir, Buena calidad. De acuerdo con Hoheisel y Holzwirt (1989), el ángulo de 30° es adecuado para maderas con densidad que va de 0,2 a 0,5 g/cm³, así mismo, Koch, 1964 (citado por Machuca et al. 2012) manifiesta que el ángulo de 30° es el más recomendable para cepillar maderas suaves. El lijado de las probetas se llevó a cabo empleando cuatro números de grano: N° 80, N°150, N° 240 y N° 360. Las probetas se dividieron en 3 tres grupos iguales y se evaluó la calidad de acabado. Las probetas del secador solar lijadas con grano número 80 obtuvo en promedio un 66,6 % de piezas libres de defectos y las probetas con humedad ambiental obtuvo un 33,3 % de piezas libres de defectos, mostrando una diferencia entre estos dos contenidos de humedad. Las lijas con grano N° 150, 240 y 360 no causaron defectos en las probetas, después del lijado se obtuvo un acabado limpio. De acuerdo a Moya et al. (2010), al realizar pruebas de trabajabilidad con la especie *Alnus acuminata* Kunth, perteneciente al mismo género la especie utilizada en este estudio, obtuvo resultados similares por la facilidad de lijado de la superficie de la madera, y en el caso de encontrar defectos como grano velloso o arrancado si fuera el caso, se puede solucionar con una sola pasada de la lijadora, de ser requerido se puede obtener un mejor acabado utilizando lijas de grano superior al N°100.

El ensayo de taladrado tanto para las probetas con 7,85 % y 14,12 % de humedad, dio como resultado una calidad de segundo grado al utilizar la broca para metal, mientras que las brocas para madera y broca mixta dio como resultado una calidad regular, especialmente en los orificios de salida en los que se presentaron la mayoría de defectos. Vargas y Giraldo (2002) realizaron un estudio de trabajabilidad en *Didimopanax morototoni* (Aubl.) Decne. & Planch.. la cual tiene una densidad de 0,042 g/cm³, similar al *Alnus nepalensis*. quienes mencionan que la trabajabilidad de la especie en cuanto al taladrado, presenta resultados de superficie satisfactorio. El torneado dio como resultado una calidad de segundo grado para ambos métodos de secado, en los cuales se identificó aspereza en las piezas torneadas sin lijar. De igual manera se obtuvo el mismo resultado después de lijar la pieza con lija N° 60, en comparación se obtuvo una clasificación de primer grado al pulir las piezas con la lija N° 150, la clasificación se mantiene como buena calidad o superior en el caso de aplicar el lijado, esto se debe al humedad final de la madera, ya que, de acuerdo a Koch, 1964 (citado por Machuca

et al., 2012) menciona que en relación al torneado se obtiene mejor calidad si el contenido de la humedad va de 6 a 20%.

8. Conclusiones

Las condiciones para el secado de la madera son mejores para el programa en secador solar, porque mantiene menor humedad relativa en la cámara de secado ocasionando una mayor transferencia de humedad desde la madera hacia el ambiente, buscando siempre mantener un equilibrio higroscópico con el ambiente.

La velocidad del secado es significativamente diferente entre ambos programas, teniendo al secador solar como el más rápido y más eficiente para bajar la humedad de la madera a sus niveles óptimos de trabajabilidad.

Las condiciones de secado (Temperaturas altas, humedad baja) al tener mayor rango de variabilidad, tiene mayor influencia en la calidad del secado de la madera, ya que, al presentar cambios bruscos, provoca defectos como grietas, rajaduras, torceduras y acanaladuras.

La trabajabilidad de la especie *A. nepalensis*. de acuerdo al contenido de humedad final presenta una calificación de “buena calidad”, los defectos del cepillado son mínimos y puede ser fácilmente arreglado al realizar tareas de lijado. Por lo tanto, es una especie que presenta buena trabajabilidad de la madera por su relación peso-volumen, durabilidad y la estética del veteado es excelente.

9. Recomendaciones

Al usar sensores para transmitir datos vía Wi-Fi, mantener supervisión periódica para asegurar el continuo flujo de datos desde el transmisor a la página Web, asegurando la recolección de todos los datos.

Al seleccionar el sitio para realizar el secado, independiente del método que se use, verificar que las condiciones (zonas de fácil drenaje, tiempo de exposición al clima, etc.) sean adecuadas para evitar retrasos en el secado, ataques de insectos, proliferación de hongos etc.

Para evitar defectos producidos por el rápido secado de madera dentro del horno solar, es conveniente modificar el diseño implementando un humidificador para evitar mantener un ambiente anhidro constante que es el causante de múltiples defectos.

Durante las pruebas de trabajabilidad, asegurar el estado íntegro del maquinado empleado, ya que puede influir significativamente en el resultado obtenido.

Diseñar y construir un secador solar más grande que permita una mayor capacidad de secado de madera

10. Bibliografía

- Álvarez, H. (1985). Secado de la madera al aire. *Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación*, 2–28. <http://datos.bne.es/edicion/bimo0000402721.html>
- Álvarez, H., y Fernández, J. (1996). Humedad de la madera en la construcción: valores recomendados y riesgo de cambio dimensional, en España. *Centro de investigación forestal. CIFOR-INIA. AITIM*, 182, 65–71. https://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2800_10142.pdf
- Ananias, R., Vallejos, S., y Salinas, C. (2005). Estudio de la cinética del secado convencional y bajo vacío del Pino radiata. *Maderas. Ciencia y tecnología*, 7(1). <https://doi.org/10.4067/s0718-221x2005000100005>
- Arteaga, D. (2018). *Crecimiento inicial de aliso (Alnus nepalensis D. Don) en dos prácticas agroforestales establecidas, en la zona de intag, noroccidente del Ecuador* [Universidad Técnica del Norte]. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/8485>
- ASTM D 1666-87. (1999). Conducting Machining Tests of Wood and Wood-Base Materials. En *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 04). Wood American Society for Testing and Materials.
- ASTM D 4442-92. (1997). Direct Moisture Content Measurement of Wood and Wood-Base Materials. En *Annual Book of ASTM Standards* (Vol. 04). Wood American Society for Testing and Materials.
- Bardales, F., Benavente, C., Bravo de Rueda, D., Pérez, R., Sánchez, M., y Ugarte, J. (2009). Técnicas De Secado De La Madera. En *Competencias básicas para la producción industrial de muebles de madera* (Primera Ed). <https://dasonomia.files.wordpress.com/2016/11/secado-maderas-apuntes.pdf>
- Castillo, N. (2009). *Análisis del comportamiento del aliso Alnus nepalensis D. Don, asociado con Brachiaria Brachiaria decumbens staff y pasto miel Setaria sphacelata (Schumach) Staff & C. E. Hubb y pasturas en monocultivo*. Universidad Técnica del Norte.
- Cerrón, R. (2014). *Manual de preservado y secado de la madera* (Primera Ed). Universidad Nacional del Centro de Perú. <https://pdfcoffee.com/manual-de-secado-y-preservados-de-la-madera-10-08-2-pdf-free.html>
- Chan, M., Araujo, O., y Azueta, M. (2002). Los Defectos naturales en la madera aserrada. *Ingeniería*, 6(1), 29–38. <https://www.redalyc.org/pdf/467/46760104.pdf>
- Chávez, L., Hernández, C., y Ruiz, C. (2010). Determinación de la calidad de la madera de

- construcción. *Acta Universitaria*, 20(2), 5–13. <https://doi.org/10.15174/au.2010.71>
- Coyago, R., y Criollo, D. (2013). *Diseño termico de un horno para secado de madera con una capacidad de 23 metros cubicos al mes* [Escuela Politecnica Nacional]. <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7096/1/CD-5277.pdf>
- Cuevas, H. (1988). Un criterio de selección y consideraciones de uso de la madera en construcción. *Bosque*, 9(2), 71–76. <https://doi.org/10.4206/bosque.1988.v9n2-01>
- Eslava, J. (1991). Variación temporal de la presión atmosférica en Bogotá. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 18(69), 175–181. https://www.accefyn.com/revista/Volumen_18/69/175-181.pdf
- Feltan, C. M., Nelli, S. S., Mantulak, M. J., y Bresciani, J. C. (2022). Medición de Variables de Experimentación en un Prototipo de Secador Solar para Madera. +*Ingenio*, 3(Jul-Dic 2021 V3 N2), 9–21. <https://doi.org/10.36995/j.masingenio.2021.03.02.001>
- Franco, J., Castaño, N., y Ortiz, L. (2009). *Secado natural, manejo y transformación de la madera*. (Primera ed). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. <https://sinchi.org.co/files/publicaciones/publicaciones/pdf/secado maderas.pdf>
- Guindeo, A. (1994). La madera como materia prima y su transformación industrial. *Tecnología*, 16, 43–50. http://infomadera.net/uploads/articulos/archivo_2196_9960.pdf
- Herrera, O., Ruiz, F., Santiago, W., y Sarmiento, D. (2017). Manual del grupo andino para aserrío y afilado de sierras cintas y sierras circulares. *APAGRO*, 10, 84–89. <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/980>
- Heuvel dop, J., Pardo, J., Quiós, S., y Espinoza, L. (1986). *Agroclimatología Tropical* (Universidad Estatal a Distancia (ed.)). <https://books.google.es/books?id=DD05AfVeRs0C&printsec=frontcover&hl=es#v=onepage&q=presion&f=false>
- Hoheisel, H., y Holzwirt, D. (1989). *Manual del grupo andino para aserrío y afilado de sierras cintas y sierras circulares* (Primera ed). Carvajal S.A.
- Hoheisel, H., Holzwirt, D., Gomez, O., León, H., Flores, R., y Sobrino, J. (1989). *Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas*. JUNAC.
- INEN. (2011). Sistema de clasificación y calificación de madera aserrada proveniente de bosques húmedos tropicales. *Instituto Ecuatoriano de Normalización*, 21. <https://www.normalizacion.gob.ec/buzon/normas/2580.pdf>
- Jácome, H., Naranjo, M., Burgos, S., y Cardenas, P. (2011). Boletín mensual de análisis sectorial de MIPYMES No.3. *Flacso-Mipro*, 15, 5.

<https://www.flacso.edu.ec/portal/pnTemp/PageMaster/lswuu6fcs3om3boynvtipvvejnkkxz.pdf>

- Machuca, R., Borja, A., Morales, E., y Flores, R. (2012). Trabajabilidad de la madera de *Pinus* oaxacana Mirov. proveniente de una plantación en el Estado de México. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 18(2), 193–205. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.01.001>
- Martinez, J., y Pinillos, E. (1996). Características de maquinado de 32 especies de madera. *Madera y Bosques*, 2(1), 45–61. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=61720105>
- Mediavilla, F. (2016). *Propiedades físicas, químicas y de trabajabilidad de la madera de Alnus nepalensis D. Don en Intag, zona Andina del Ecuador*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/5352>
- Moya, R., Leandro, L., Córdoba, R., Serrano, R., y Monge, F. (2004). Aspectos importantes sobre la trabajabilidad de la madera de melina (*Gmelina arborea*). *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 1(1), 95–96. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/606>
- Moya, R., Muñoz, F., Salas, C., Berrocal, A., Leandro, L., y Segura, E. (2010). Tecnología de madera de plantaciones forestales: Fichas técnicas. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 7(18-19), 42–55. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/kuru/article/view/383/2355>
- Muñoz, F. (2008). Secado de la madera aserrada. *Revista Forestal*, 5(13), 1–6. <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5123204.pdf>
- Muñoz, F., y Moreno, P. (2013). Contracciones y propiedades físicas de *Acacia mangium* Willd., *Tectona grandis* L. f. y *Terminalia amazonia* A. Chev, maderas de plantación en Costa Rica. *Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 19(2), 287–303. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2012.06.040>
- Navarro, T. (2007). *Efecto del lijado sobre madera de Pinus radiata D. Don en los niveles de consumo de barnices* [Universidad Austral de Chile]. <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/fifn322e/doc/fifn322e.pdf>
- Novoa, L. (2006). *Manual de buenas prácticas de manufactura para el secado natural y artificial, de madera aserrada; acorde a los estándares expresados en el proyecto de normas técnicas*.
- Pérez, M. (2012). *Ficha de Alnus nepalensis - Botánica Y Jardines*. <http://www.botanicayjardines.com/alnus-nepalensis/>
- Pinillos, E., y Martínez, J. (1996). Características de Cepillado y Lijado de 33 Especies de

- Madera. *Madera y Bosques*, 2(2), 11–27. <https://doi.org/10.21829/myb.1996.221383>
- Queipo, J., González, B., Llinares, M., Villagrà, C., y Gallego, V. (2010). Guía de la madera (I) Productos básicos y carpintería. En *Guía De Construir Con Madera*. AITIM. https://egoin.com/wp-content/uploads/2021/03/Guia-Construccion_en_madera.pdf
- Rodríguez, C. (2017). *Estudio del proceso de secado de madera mediante el uso de hornos a gas en la empresa Jam Maderas* [Universidad Tecnológica de Pereira]. <http://repositorio.utp.edu.co/dspace/bitstream/handle/11059/8198/674384R696.pdf?sequence=1>
- Ruíz, D. (2017). Determinación de la durabilidad natural de la madera de *Carapa amorphocarpa* W. Palacios y *Alnus nepalensis* D. Don. *Universidad Técnica del Norte*, 1–7. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/6641>
- Salas, C. (2011). *Eficiencia y Validación de secadoras solares de madera aserrada para pequeña y mediana industria* [Instituto Tecnológico de Costa Rica]. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/5788/eficiencia-validación-secadoras-solares-madera..pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Salinas, M., Luna, D., Osorio, J., y Corona, J. (2003). Construcción Y Validación De Un Secador Solar Para Madera Aserrada. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 9(2), 171–176.
- Santiago, P., Guevara, C., y Espinoza, M. (2013). *Manual de transformación de la madera* (Vol. 1). Dirección General Forestal y de Fauna Silvestre de Perú. <https://doi.org/10.11603/1681-2778.2012.3.1964>
- Sarango, T. (2018). *Evaluación del funcionamiento de un prototipo de secador solar y su influencia en el tiempo de secado en probetas de Pinus patula, en el centro de la madera de La Universidad Nacional De Loja*. <https://dspace.unl.edu.ec/jspui/handle/123456789/22932>
- Sarochar, H. (2009). Introducción a la meteorología general. *Universidad Nacional de la Plata. Facultad de ciencias Astronómicas y Geofísicas*, 1–25. http://extension.fcaglp.unlp.edu.ar/content/obs/descargas/Introduccion_a_la_Meteorologia_I.pdf
- Stangerlin, D., Santini, E., Susin, F., Susin, R., Gatto, D., y Haselein, C. (2009). Uso de estufa solar para secagem de madeira serrada. *Ciência Florestal*, 19 (4), 461–472. <https://doi.org/https://doi.org/10.5902/19805098900>
- TMFB. (2021). *Tableros y Molduras Félix Bermejo, SL. Humedad De La Madera En La*

- Construcción. <https://tmolduras-fbermejo.es/content/46-humedad>
- Vargas, G., y Giraldo, B. (2002). *Propiedades fisicomecánicas y de trabajabilidad de la madera de cinco especies cultivadas en el ecosistema guaviareense* (Primera ed). Instituto Amazónico de Investigaciones Científicas. <https://www.researchgate.net/publication/44411451>
- Vega, G., Elias, L., Velazquez, J., Lesmon, N., y Agüero, M. (2019). *Propiedades físicas de la madera de Pinus taeda en el distrito de Pedro Juan Caballero, Paraguay*. 27, 37–46. <https://fcf.unse.edu.ar/archivos/quebracho/vol27n1a05.pdf>
- Vigonote, S., y Martínez, I. (2006). *Tecnología de la madera*. Ediciones Mundi Prensa. <https://tecno1di.files.wordpress.com/2016/03/madera.pdf>
- Viscarra, S. (1998a). *Guía para el secado de la madera en hornos*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/34160123/contenido_de_humedad_en_la_madera-libre.pdf?1404938964=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DGUIA_PARA_EL_SECADO_DE_LA_MADERA_EN_HORN.pdf&Expires=1672737923&Signature=F0mLVHD9uD44Ahzdg3~LEFR~zyM7
- Viscarra, S. (1998b). *Guía Para Secado de la Madera en Hornos*. https://rmportal.net/library/content/Forestry_Silviculture_CBNRM/documentos-bolfor/documentos-tecnicos/guia-para-el-secado-de-la-madera-en-hornos-agosto-1998/at_download/file
- Walter, H. (2017). *Análisis térmico para el proceso de secado de madera laminada de hasta 5 mm de espesor en la empresa Arboriente S.A. en la ciudad de Puyo, para determinar su eficiencia* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/26782>
- Williams, J., y León, H. (2010). Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Revista Forestal Venezolana*, 54(1), 67–76. https://www.researchgate.net/publication/260002299_Anatomia_y_densidad_o_peso_especifico_de_la_madera_Anatomy_and_specific_gravity_of_wood
- Yepez, E. (2021). *Evaluación técnica y económica del secado de madera de Alnus nepalensis D. Don, proveniente de la zona de Intag*. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10849>

11. Anexos

Anexo 1. Promedios de Temperatura, Humedad, Presión, externa e interna durante la etapa diurna.

Fecha	Hora	Temperatura Externa	Temperatura Interna	Humedad Externa	Humedad Interna	Presión Externa	Presión Interna
14/6/2022	06:00-18:00	20,43	34,67	54,83	42,64	783,80	824,00
15/6/2022	06:00-18:00	20,27	35,30	53,31	39,22	783,75	820,51
16/6/2022	06:00-18:00	20,60	33,66	59,15	41,88	784,63	812,47
17/6/2022	06:00-18:00	19,58	33,06	61,46	48,61	783,30	830,56
18/6/2022	06:00-18:00	20,26	33,25	68,42	53,07	783,43	832,63
19/6/2022	06:00-18:00	18,46	28,91	78,30	61,02	784,36	824,58
20/6/2022	06:00-18:00	19,85	32,11	66,56	52,21	784,13	826,49
21/6/2022	06:00-18:00	18,43	30,06	68,06	52,06	783,68	834,35
22/6/2022	06:00-18:00	18,46	29,94	74,66	57,23	782,47	843,21
23/6/2022	06:00-18:00	18,14	29,43	83,45	61,88	782,35	845,77
24/6/2022	06:00-18:00	16,36	26,54	88,94	63,65	783,27	834,01
25/6/2022	06:00-18:00	15,61	24,77	83,55	62,05	784,31	821,14
26/6/2022	06:00-18:00	15,78	25,06	73,71	55,63	784,38	814,55
27/6/2022	06:00-18:00	20,37	34,42	56,20	44,97	784,09	827,58
28/6/2022	06:00-18:00	20,51	34,40	56,14	46,76	784,21	824,26
29/6/2022	06:00-18:00	18,18	29,83	71,24	53,32	784,37	820,87
30/6/2022	06:00-18:00	18,61	30,26	73,57	55,38	783,41	828,36
1/7/2022	06:00-18:00	19,56	31,21	66,88	52,84	782,78	842,01
2/7/2022	06:00-18:00	17,81	29,02	75,10	54,51	782,95	830,11
3/7/2022	06:00-18:00	16,47	26,43	85,59	62,44	783,31	826,68
4/7/2022	06:00-18:00	15,57	22,23	86,17	58,08	783,82	784,79
5/7/2022	06:00-18:00	15,07	18,65	82,20	62,14	783,65	778,39
6/7/2022	06:00-18:00	15,99	22,12	79,10	55,65	782,71	785,29
7/7/2022	06:00-18:00	15,81	22,00	88,51	59,91	782,43	786,23
8/7/2022	06:00-18:00	16,56	21,23	79,22	58,08	783,66	786,93
9/7/2022	06:00-18:00	16,12	25,35	83,26	61,03	784,81	814,14
10/7/2022	06:00-18:00	18,38	29,17	75,73	57,54	784,00	826,04
11/7/2022	06:00-18:00	19,98	32,85	71,03	54,91	782,86	841,76
12/7/2022	06:00-18:00	19,29	30,34	77,33	58,22	783,06	819,99
13/7/2022	06:00-18:00	20,24	35,80	68,11	38,51	783,56	809,34
14/7/2022	06:00-18:00	16,69	25,29	75,79	45,23	783,92	790,45
15/7/2022	06:00-18:00	19,38	31,36	67,96	37,63	783,28	800,56
16/7/2022	06:00-18:00	20,07	33,22	72,53	38,06	782,46	803,49
17/7/2022	06:00-18:00	16,86	23,81	76,71	49,45	782,67	785,22

Fecha	Hora	Temperatura Externa	Temperatura Interna	Humedad Externa	Humedad Interna	Presión Externa	Presión Interna
18/7/2022	06:00-18:00	14,87	24,08	87,99	58,31	783,00	815,92
19/7/2022	06:00-18:00	17,38	27,79	76,54	49,67	783,44	790,45
20/7/2022	06:00-18:00	15,45	21,45	74,31	53,68	783,06	780,36
21/7/2022	06:00-18:00	14,53	19,65	88,86	64,08	782,85	792,75
22/7/2022	06:00-18:00	17,58	29,92	75,50	44,81	783,22	795,29
23/7/2022	06:00-18:00	19,78	33,65	66,91	50,09	782,69	842,29
24/7/2022	06:00-18:00	21,38	44,39	66,75	22,02	782,56	819,02
25/7/2022	06:00-18:00	19,66	31,70	73,70	34,97	782,67	796,89
26/7/2022	06:00-18:00	16,47	24,33	87,23	53,05	783,50	784,12
27/7/2022	06:00-18:00	18,18	30,52	71,96	45,93	783,76	816,53
28/7/2022	06:00-18:00	17,16	27,66	72,65	52,94	783,67	815,46
29/7/2022	06:00-18:00	20,13	34,31	61,05	44,05	782,88	836,83
30/7/2022	06:00-18:00	20,07	31,82	58,10	47,65	783,08	835,24
31/7/2022	06:00-18:00	20,00	34,54	62,44	47,00	782,81	841,45
1/8/2022	06:00-18:00	18,51	31,69	72,69	55,00	782,62	843,32
2/8/2022	06:00-18:00	17,19	27,35	84,52	45,38	782,15	787,06

Anexo 2. Promedios de Temperatura, Humedad, Presión, externa e interna durante la etapa nocturna.

Fecha	Hora	Temperatura Externa	Temperatura Interna	Humedad Externa	Humedad Interna	Presión Externa	Presión Interna
14/6/2022	18:00-06:00	12,16	19,92	79,86	58,85	784,02	791,55
15/6/2022	18:00-06:00	13,45	21,32	79,06	54,59	784,08	791,67
16/6/2022	18:00-06:00	14,14	22,59	80,45	54,97	784,18	794,54
17/6/2022	18:00-06:00	13,27	21,05	83,94	60,04	783,87	794,15
18/6/2022	18:00-06:00	15,08	21,76	89,69	63,28	784,22	792,59
19/6/2022	18:00-06:00	14,55	21,30	89,38	60,91	784,33	790,97
20/6/2022	18:00-06:00	14,15	21,00	85,01	61,19	783,99	793,10
21/6/2022	18:00-06:00	14,56	21,87	83,48	61,51	783,47	798,64
22/6/2022	18:00-06:00	15,09	21,89	85,50	60,68	782,64	800,96
23/6/2022	18:00-06:00	14,68	21,37	91,23	63,09	782,65	802,23
24/6/2022	18:00-06:00	14,29	20,76	93,63	63,35	783,40	795,38
25/6/2022	18:00-06:00	13,63	19,91	91,26	61,59	784,22	789,17
26/6/2022	18:00-06:00	13,82	20,11	82,11	61,40	784,64	785,85
27/6/2022	18:00-06:00	13,68	20,47	79,72	61,07	784,40	792,86
28/6/2022	18:00-06:00	12,48	20,28	81,95	58,48	784,36	791,18
29/6/2022	18:00-06:00	14,04	21,15	83,30	61,17	784,16	792,30
30/6/2022	18:00-06:00	14,47	20,92	87,95	64,18	783,77	795,64
1/7/2022	18:00-06:00	14,55	22,18	82,93	59,11	782,76	803,76
2/7/2022	18:00-06:00	14,97	21,16	85,69	66,13	782,54	797,82
3/7/2022	18:00-06:00	14,50	20,81	91,96	63,95	783,27	794,45
4/7/2022	18:00-06:00	14,17	17,15	89,20	66,89	783,91	778,27

Fecha	Hora	Temperatura Externa	Temperatura Interna	Humedad Externa	Humedad Interna	Presión Externa	Presión Interna
5/7/2022	18:00-06:00	14,23	16,49	84,37	66,03	783,45	774,61
6/7/2022	18:00-06:00	14,70	17,36	82,03	63,45	782,46	776,88
7/7/2022	18:00-06:00	14,40	18,10	90,31	65,10	782,42	779,54
8/7/2022	18:00-06:00	15,43	20,92	80,46	59,01	783,39	786,97
9/7/2022	18:00-06:00	14,86	21,12	89,12	63,85	784,51	786,27
10/7/2022	18:00-06:00	14,89	21,63	89,59	62,15	784,09	794,14
11/7/2022	18:00-06:00	14,61	21,96	88,57	60,07	783,12	801,26
12/7/2022	18:00-06:00	14,48	19,90	92,65	64,65	783,41	784,67
13/7/2022	18:00-06:00	14,77	21,63	86,25	55,29	784,05	784,67
14/7/2022	18:00-06:00	14,41	20,76	82,55	50,61	783,94	781,78
15/7/2022	18:00-06:00	13,74	20,35	86,98	52,13	783,58	780,04
16/7/2022	18:00-06:00	14,25	21,08	87,85	50,87	782,91	780,06
17/7/2022	18:00-06:00	14,76	20,13	85,88	56,43	782,77	778,79
18/7/2022	18:00-06:00	14,26	20,23	86,34	62,42	783,02	792,79
19/7/2022	18:00-06:00	14,34	17,00	83,82	67,82	782,94	774,23
20/7/2022	18:00-06:00	14,23	15,44	77,24	66,93	783,03	772,03
21/7/2022	18:00-06:00	12,85	17,86	94,29	66,57	783,28	791,51
22/7/2022	18:00-06:00	12,73	18,84	90,62	61,54	783,14	790,90
23/7/2022	18:00-06:00	13,62	19,78	88,81	59,20	783,09	793,95
24/7/2022	18:00-06:00	14,82	20,98	92,23	49,90	783,22	779,16
25/7/2022	18:00-06:00	15,25	21,20	90,47	50,18	783,03	781,53
26/7/2022	18:00-06:00	14,27	19,62	89,35	58,72	783,55	775,37
27/7/2022	18:00-06:00	14,55	21,64	84,26	58,30	783,88	790,47
28/7/2022	18:00-06:00	13,24	17,59	86,01	60,54	783,30	777,97
29/7/2022	18:00-06:00	14,20	21,32	77,35	55,23	782,65	793,65
30/7/2022	18:00-06:00	15,42	22,01	73,05	61,72	782,85	800,07
31/7/2022	18:00-06:00	14,83	20,91	79,05	61,66	782,62	801,29
1/8/2022	18:00-06:00	13,56	19,33	89,72	57,93	782,59	791,74
2/8/2022	18:00-06:00	14,75	20,94	91,33	53,37	782,10	774,03

Anexo 3. Formato base utilizada para la clasificación de la trabajabilidad de la madera.

Tipo de prueba:				Fecha:		
Especie:				Contenido de humedad:		
velocidad (r.p.m.):				Máquina:		
Tasa de alimentación:				Ángulo de corte:		
N° probeta	de defectos	Libre de	Grano arrancado	Grano levantado	Grano velloso	

Anexo 4. Ensayo de cepillado en Probetas secadas en horno solar

Velocidad (r.p.m.): 1750	Ángulo de corte:
Número de cuchillos en la cabeza: 3	Máquina: cepilladora

Velocidad de alimentación:													
CH (%)	Plano de corte	N° Probeta	DEFECTOS										CALIDAD
			Grano Arrancado			Grano Levantado			Grano Velloso				
			Grado			Grado			Grado				
			L1	L2	Promedio	L1	L2	Promedio	L1	L2	Promedio		
7,85	tangencial	1	x	x	x	2	2	2	x	x	x	Bueno	
7,85	tangencial	2	2	2	2	x	x	x	x	x	x	Bueno	
7,85	tangencial	3	x	x	x	1	1	1	x	x	x	Excelente	
7,85	tangencial	4	2	2	2	x	x	x	x	x	x	Bueno	
7,85	tangencial	5	2	2	2	x	x	x	x	x	x	Bueno	
7,85	tangencial	6	x	x	x	1	2	1,5	x	x	x	Bueno	
7,85	tangencial	7	x	x	x	1	2	1,5	x	x	x	Bueno	
7,85	tangencial	8	2	2	2	x	x	x	x	x	x	Bueno	
7,85	tangencial	9	1	2	1,5	x	x	x	x	x	x	Bueno	

Anexo 5. Ensayo de cepillado en Probetas secadas bajo techo

Velocidad (r.p.m.): 1750													
Ángulo de corte:													
Número de cuchillos en la cabeza: 3													
Máquina: cepilladora													
Velocidad de alimentación:													
CH (%)	Plano de corte	N° Probeta	DEFECTOS										CALIDAD
			Grano Arrancado			Grano Levantado			Grano Velloso				
			Grado			Grado			Grado				
			L1	L2	Promedio	L1	L2	Promedio	L1	L2	Promedio		
14,12	tangencial	1	2	3	2,5	x	x	x	x	x	x	Bueno	
14,12	tangencial	2	1	3	2	x	x	x	x	x	x	Bueno	
14,12	tangencial	3	1	3	2	x	x	x	x	x	x	Bueno	
14,12	tangencial	4	1	3	2	x	x	x	x	x	x	Bueno	
14,12	tangencial	5	2	2	2	x	x	x	x	x	x	Bueno	
14,12	tangencial	6	1	2	1,5	x	x	x	x	x	x	Bueno	
14,12	tangencial	7	3	3	3	x	x	x	x	x	x	Bueno	
14,12	tangencial	8	2	2	2	x	x	x	x	x	x	Bueno	
14,12	tangencial	9	1	2	1,5	x	x	x	x	x	x	Bueno	

Anexo 6. ensayo de lijado en probetas con lijas N° 80,150,240, 360

Lija 80	Probeta	Rayado		Velloso		Velocidad de ensuciamiento	Facilidad Remoción Suciedad	Velocidad Desgaste Abrasivo
		GRADO		GRADO				
		L1	L2	L1	L2			
Secador solar	1	1	1	1	1	C	A	B
	2	1	1	1	1	C	A	B
	3	1	1	1	1	C	A	B
	4	1	1	1	1	C	A	B
	5	1	1	1	1	C	A	B
	6	1	1	1	1	C	A	B
	7	2	2	1	1	C	A	B
	8	2	2	1	1	C	A	B
	9	2	2	1	1	C	A	B

Lija 80	Probeta	Rayado		Vellosoidad		Velocidad de ensuciamiento	Facilidad Remoción Suciedad	Velocidad Desgaste Abrasivo
		GRADO		GRADO				
		L1	L2	L1	L2			
Bajo techo	1	2	2	1	1	C	A	B
	2	2	2	1	1	C	A	B
	3	2	2	1	1	C	A	B
	4	2	2	1	1	C	A	B
	5	2	2	1	1	C	A	B
	6	2	2	1	1	C	A	B
	7	1	1	1	1	C	A	B
	8	1	1	1	1	C	A	B
	9	1	1	1	1	C	A	B

Lija 150	Probeta	Rayado		Vellosoidad		Velocidad de ensuciamiento	Facilidad Remoción Suciedad	Velocidad Desgaste Abrasivo
		GRADO		GRADO				
		L1	L2	L1	L2			
Secador solar	1	1	1	1	1	B	C	A
	2	1	1	1	1	B	C	A
	3	1	1	1	1	B	C	A
	4	1	1	1	1	B	C	A
	5	1	1	1	1	B	C	A
	6	1	1	1	1	B	C	A
	7	1	1	1	1	B	C	A
	8	1	1	1	1	B	C	A
	9	1	1	1	1	B	C	A

Bajo techo	1	1	1	1	1	B	C	A
	2	1	1	1	1	B	C	A
	3	1	1	1	1	B	C	A
	4	1	1	1	1	B	C	A
	5	1	1	1	1	B	C	A
	6	1	1	1	1	B	C	A
	7	1	1	1	1	B	C	A
	8	1	1	1	1	B	C	A
	9	1	1	1	1	B	C	A

Lija 240	Probeta	Rayado		Vellosoidad		Velocidad de ensuciamiento	Facilidad Remoción Suciedad	Velocidad Desgaste Abrasivo
		GRADO		GRADO				
		L1	L2	L1	L2			
Secador solar	1	1	1	1	1	B	C	A
	2	1	1	1	1	B	C	A
	3	1	1	1	1	B	C	A
	4	1	1	1	1	B	C	A
	5	1	1	1	1	B	C	A
	6	1	1	1	1	B	C	A
	7	1	1	1	1	B	C	A
	8	1	1	1	1	B	C	A

Lija 240	Probeta	Rayado		Vellosidad		Velocidad de ensuciamiento	Facilidad Remoción Suciedad	Velocidad Desgaste Abrasivo
		GRADO		GRADO				
		L1	L2	L1	L2			
	9	1	1	1	1	B	C	A
Bajo techo	1	1	1	1	1	B	C	A
	2	1	1	1	1	B	C	A
	3	1	1	1	1	B	C	A
	4	1	1	1	1	B	C	A
	5	1	1	1	1	B	C	A
	6	1	1	1	1	B	C	A
	7	1	1	1	1	B	C	A
	8	1	1	1	1	B	C	A
	9	1	1	1	1	B	C	A

Lija 360	Probeta	Rayado		Vellosidad		Velocidad de ensuciamiento	Facilidad Remoción Suciedad	Velocidad Desgaste Abrasivo
		GRADO		GRADO				
		L1	L2	L1	L2			
Secador solar	1	1	1	1	1	A	C	B
	2	1	1	1	1	A	C	B
	3	1	1	1	1	A	C	B
	4	1	1	1	1	A	C	B
	5	1	1	1	1	A	C	B
	6	1	1	1	1	A	C	B
	7	1	1	1	1	A	C	B
	8	1	1	1	1	A	C	B
	9	1	1	1	1	A	C	B
Bajo techo	1	1	1	1	1	A	C	B
	2	1	1	1	1	A	C	B
	3	1	1	1	1	A	C	B
	4	1	1	1	1	A	C	B
	5	1	1	1	1	A	C	B
	6	1	1	1	1	A	C	B
	7	1	1	1	1	A	C	B
	8	1	1	1	1	A	C	B
	9	1	1	1	1	A	C	B

Anexo 7. Ensayo de taladrado en probetas secadas en horno solar

Secador solar	CH (%)	Plano de corte	N° Probeta	DEFECTOS							CALIDAD
				Grano vellosa			Grano Arrancado				
				Grado			Grado				
				Entrada	Salida	Promedio	Entrada	Salida	Promedio		
Broca de Metal	7,85	tangencial	1	2	2	2	x	x	x	Buena	
	7,85	tangencial	2	2	2	2	x	x	x	Buena	
	7,85	tangencial	3	2	2	2	x	x	x	Buena	
	7,85	tangencial	4	2	2	2	x	x	x	Buena	

Broca de madera	7,85	tangencial	1	2	4	3	x	x	x	Regular
	7,85	tangencial	2	2	4	3	x	x	x	Regular
	7,85	tangencial	3	2	4	3	x	x	x	Regular
	7,85	tangencial	4	2	4	3	x	x	x	Regular
Broca mixta	7,85	tangencial	1	2	4	3	x	x	x	Regular
	7,85	tangencial	2	2	4	3	x	x	x	Regular
	7,85	tangencial	3	2	4	3	x	x	x	Regular
	7,85	tangencial	4	2	4	3	x	x	x	Regular

Anexo 8. Ensayo de taladrado en Probetas secadas bajo techo

Bajo techo	CH (%)	Plano de corte	N° Probeta	DEFECTOS							CALIDAD
				Grano velloso			Grano Arrancado				
				Grado			Grado				
				Entrada	Salida	Promedio	Entrada	Salida	Promedio		
Broca de Metal	14,12	tangencial	1	2	2	2	x	x	x	Buena	
	14,12	tangencial	2	2	2	2	x	x	x	Buena	
	14,12	tangencial	3	2	2	2	x	x	x	Buena	
	14,12	tangencial	4	2	2	2	x	x	x	Buena	
Broca de madera	14,12	tangencial	1	2	4	3	x	x	x	Regular	
	14,12	tangencial	2	2	4	3	x	x	x	Regular	
	14,12	tangencial	3	2	4	3	x	x	x	Regular	
	14,12	tangencial	4	2	4	3	x	x	x	Regular	
Broca mixta	14,12	tangencial	1	2	4	3	x	x	x	Regular	
	14,12	tangencial	2	2	4	3	x	x	x	Regular	
	14,12	tangencial	3	2	4	3	x	x	x	Regular	
	14,12	tangencial	4	2	4	3	x	x	x	Regular	

Anexo 9. Ensayo de Torneado en probetas sin lijar, lijadas con N°60 y 150

	CH (%)	N° Probeta	DEFECTOS				CALIDAD
			Grano Velloso		Grano Arrancado		
			Grado		Grado		
			Entrada	Salida	Entrada	Salida	
Sin Lijar	7,85	1	x			2	Bueno
	7,85	2	x			2	Bueno
	7,85	3	x			2	Bueno
Secador solar	14,12	1	x			2	Bueno
	14,12	2	x			2	Bueno
	14,12	3	x			2	Bueno

Lija 60	CH (%)	N° Probeta	DEFECTOS		CALIDAD
			Grano Velloso	Grano Arrancado	
			Grado	Grado	
Secador solar	7,85	1 x			2 Bueno
	7,85	2 x			2 Bueno
	7,85	3 x			2 Bueno

Bajo techo	14,12	1 x			2 Bueno
	14,12	2 x			2 Bueno
	14,12	3 x			2 Bueno

Lija 150	CH (%)	N° Probeta	DEFECTOS		CALIDAD
			Grano Velloso	Grano Arrancado	
			Grado	Grado	
Secador solar	7,85	1 x			1 Excelente
	7,85	2 x			1 Excelente
	7,85	3 x			1 Excelente
Bajo techo	14,12	1 x			1 Excelente
	14,12	2 x			1 Excelente
	14,12	3 x			1 Excelente

Anexo 10. Certificado de traducción del resumen del Trabajo de Integración Curricular

Lic. Jordy Christian Granda F., Mgs.
0967352473

Chris-gra1993@hotmail.com

Loja – Ecuador

Loja, 10 de Agosto de 2023

El suscrito, Lic. Jordy Christian Granda Feijoo, Mgs., DOCENTE EDUCACIÓN SUPERIOR DEL ÁREA DE INGLÉS - CIS DEL INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO SUDAMERICANO LOJA, a petición de la parte interesada y en forma legal,

CERTIFICA:

*Que, la traducción del documento adjunto solicitado por el Sr. Jonathan Alexis Merino López, con cedula de ciudadanía No. 1150601076, cuyo tema de investigación se titula: Evaluación de un programa de secado para madera de Aliso (*Alnus nepalensis* D. Don) en el Centro de la Madera de la Universidad Nacional de Loja, ha sido realizado y aprobado por mi persona, docente de Educación Superior en la enseñanza del inglés como lengua extranjera. El apartado del Abstract es una traducción textual del Resumen aprobado en español.*

Particular que comunico en honor a la verdad para los fines académicos pertinentes, facultando al portador del presente documento, hacer el uso legal pertinente.

English is a piece of cake!



Lic. Jordy Christian Granda Feijoo, Mgs.
ENGLISH PROFESSOR

