

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



**EFFECTO DEL PENTABORATO EN EL PRESERVADO DE *Dendrocalamus asper*
(BAMBÚ) MEDIANTE EL MÉTODO DE INMERSIÓN, ZONA - TINGO MARÍA**

Tesis

Para optar el título de:

INGENIERO FORESTAL

Presentado por:

MAYUMI TELLO RIVERA

Tingo María – Perú

2024



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María- Perú

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 117-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 102de diciembre de 2024, a horas 11:15 a.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“EFECTO DEL PENTABORATO EN EL PRESERVADO DE
Dendrocalamus asper (BAMBÚ) MEDIANTE EL MÉTODO DE
INMERSIÓN, ZONA – TINGO MARÍA”**

Presentado por la Bachiller: **MAYUMI TELLO RIVERA**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO FORESTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 18 de diciembre de 2024

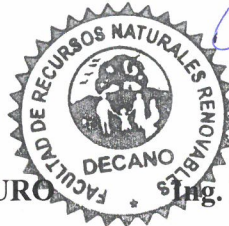

Ing. MSc. **RICARDO OCHOA CUYA**
PRESIDENTE


Ing. **JORGE LUIS VERGARA PALOMINO**
MIEMBRO


Ing. MSc. **GUNTER DAZA PANDURO**
MIEMBRO


Ing. MSc. **ROBERT G. PECHO DE LA CRUZ**
ASESOR


Ing. MSc. **CLEIDE SANTOS FLORES**
ASESOR





“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 019 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería Forestal

Tipo de documento:

| | | | |
|-------|---|------------------------------------|--|
| Tesis | X | Trabajo de Suficiencia Profesional | |
|-------|---|------------------------------------|--|

| TÍTULO | AUTOR | PORCENTAJE DE SIMILITUD |
|--|---------------------|-----------------------------|
| EFFECTO DEL PENTABORATO EN EL PRESERVADO DE <i>Dendrocalamus asper</i> (BAMBÚ) MEDIANTE EL MÉTODO DE INMERSIÓN, ZONA - TINGO MARÍA | MAYUMI TELLO RIVERA | 13 % Trece |

Tingo María, 21 de enero de 2024



Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL



EFFECTO DEL PENTABORATO EN EL PRESERVADO DE *Dendrocalamus asper* (BAMBÚ) MEDIANTE EL MÉTODO DE INMERSIÓN, ZONA - TINGO MARÍA

| | |
|---------------------------|---|
| Autor | : Tello Rivera, Mayumi |
| Asesor (es) | : Ing. Mg. Sc. Pecho De la Cruz, Robert Gilbert Ing. Ms C. Santos Flores, Cleide |
| Programa de investigación | : Transformación e innovación de Recursos Forestales |
| Línea de investigación | : Transformación química de los productos forestales |
| Eje temático | : Preservantes para tableros de madera sólida y compuesta |
| Lugar de ejecución | : Provincia de Leoncio Prado – Tingo María |
| Duración | : 06 meses |
| Financiamiento | : S/. 5 332,00 |

Tingo María – Perú

2024

DEDICATORIA

A *Dios*, por darme la fortaleza de seguir adelante siempre y la sabiduría para ser mejor ser humano.

A mis padres, *Elsa Rivera Sabino y Juan Tello Condezo* por el apoyo incondicional y ser motivo de superación para lograr mis metas en el aspecto profesional motivándome día a día, decirles que este logro también es de ustedes.

A mi hermana y hermano, *Hellen Isabel Tello Rivera y Darwin Leonardo Tello Rivera* los amo mucho.

A mi novio, *Jhony Flores Mendoza* que es el complemento y compañero de mis días. Gracias.

AGRADECIMIENTOS

- A mi alma mater, Universidad Nacional Agraria de la Selva y a toda la plana docente del departamento académico de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal de la Facultad de Recursos Naturales Renovables que fueron formadores académicos indispensables para mi formación profesional.
- A los Ingenieros Mg. Sc. Robert Gilbert Pecho De La Cruz y M. Sc. Cleide Santos Flores por el asesoramiento del presente trabajo de investigación, que me orientaron y guiaron durante todo el proceso de ejecución la tesis.
- Al Doctor Eduardo Ruiz Sanchez de México especialista en identificación taxonómica de bambúes, por facilitarme con la emisión del Certificado de identificación de la especie en estudio (*Dendrocalamus asper*).
- Al señor Mario Sosa Shapiama, técnico del Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal, por su soporte técnico la extracción y preparación de las unidades muestrales de los culmos de *D. asper*.
- Al personal de laboratorio de Anatomía de la Madera, Laboratorio de Fitoquímica por brindarme la viabilidad e instrucciones de uso de los equipos, para el desarrollo de la tesis en laboratorio.
- A mis amistades, Pedro Quispe Ugarte, Jasmin L. Morga Castellanos, Berenice E. Rios Ibarra, Danilo II Ortiz Suarez y Atilio Bailon Alania, por apoyar en la extracción de los culmos desde el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva hacia el Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal, registro de datos y apoyo en el desarrollo de la tesis.

ÍNDICE

| | Página |
|--|--------|
| I. INTRODUCCIÓN..... | 1 |
| 1.1. Objetivo general | 2 |
| 1.2. Objetivos específicos..... | 2 |
| II. REVISIÓN DE LITERATURA | 3 |
| 2.1. Marco teórico | 3 |
| 2.1.1. Pentaborato | 3 |
| 2.1.2. Preservación..... | 3 |
| 2.1.3. El bambú..... | 4 |
| 2.1.4. Descripción del <i>Dendrocalamus asper</i> | 5 |
| 2.1.5. Propiedades físicas..... | 7 |
| 2.1.6. Importancia y utilidad..... | 7 |
| 2.1.7. Métodos de preservación | 9 |
| 2.2. Estado del arte | 10 |
| 2.2.1. Internacionales | 10 |
| 2.2.2. Nacionales..... | 13 |
| III. MATERIALES Y MÉTODOS | 15 |
| 3.1. Lugar de ejecución | 15 |
| 3.2. Materiales y equipos..... | 15 |
| 3.2.1. Material biológico..... | 15 |
| 3.2.2. Materiales, equipos y herramientas | 15 |
| 3.3. Metodología..... | 16 |
| 3.3.1. Determinación de la retención del pentaborato a 3, 5 y 7% de concentración en las secciones de nudo y entrenudo de los niveles de base, medio y ápice del culmo de <i>Dendrocalamus asper</i> (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f., en la zona de Tingo María | 16 |

| | | |
|--------|---|----|
| 3.3.2. | Determinación del porcentaje de penetración del pentaborato a 3, 5 y 7% de concentración en las secciones de nudo y entrenudo de los niveles de base, medio y ápice del culmo de <i>Dendrocalamus asper</i> (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f., en la zona de Tingo María | 21 |
| 3.4. | Criterios de investigación..... | 23 |
| 3.4.1. | Tipo y nivel de investigación..... | 23 |
| 3.4.2. | Población y técnica de muestreo..... | 23 |
| 3.4.3. | Diseño experimental | 23 |
| 3.4.4. | Variables | 24 |
| 3.4.5. | Factores evaluados..... | 24 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 26 |
| 4.1. | Retención del pentaborato a 3, 5 y 7% de concentración en las secciones de nudo y entrenudo de los niveles de base, medio y ápice del culmo de <i>Dendrocalamus asper</i> (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f., en la zona de Tingo María..... | 26 |
| 4.2. | Porcentaje de penetración del pentaborato a 3, 5 y 7% de concentración en las secciones de nudo y entrenudo de los niveles de base, medio y ápice del culmo de <i>Dendrocalamus asper</i> (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f., en la zona de Tingo María | 37 |
| V. | CONCLUSIONES..... | 45 |
| VI. | PROPUESTAS A FUTURO | 46 |
| VII. | REFERENCIAS | 47 |
| | ANEXOS..... | 52 |

ÍNDICE DE TABLAS

| Tabla | Página |
|---|--------|
| 1. Contenido de humedad promedio de <i>D. asper</i> recién cosechados. | 18 |
| 2. Densidad básica promedio de <i>D. asper</i> . recién cosechados. | 19 |
| 3. Clasificación del porcentaje de penetración en la pared del culmo..... | 23 |
| 4. Factores de estudio e interacciones de a * b * c. | 25 |
| 5. Análisis de varianza de la retención (kg/m ³) en niveles, secciones y concentraciones de <i>D. asper</i> | 26 |
| 6. Análisis de varianza de los efectos simples de niveles y secciones. | 27 |
| 7. Prueba de comparación de medias de niveles en secciones. | 27 |
| 8. Prueba de comparación de medias de secciones en niveles. | 28 |
| 9. Análisis de varianza de los efectos simples de niveles y concentración. | 29 |
| 10. Prueba de comparación de medias de los niveles en las concentraciones..... | 30 |
| 11. Prueba de comparación de medias de concentraciones en los niveles. | 31 |
| 12. Análisis de varianza de los efectos simples de los secciones y concentraciones. ... | 33 |
| 13. Prueba de comparación de medias de las secciones en concentraciones. | 34 |
| 14. Prueba de comparación de medias de concentraciones en las secciones. | 35 |
| 15. Análisis de varianza de la penetración (%) en niveles, secciones y concentraciones en <i>D. asper</i> | 37 |
| 16. Análisis de varianza de los efectos simples de niveles y secciones con respecto a la penetración (%). | 38 |
| 17. Prueba de comparación de medias de niveles en secciones de la penetración (%). | 39 |
| 18. Prueba de comparación de secciones en niveles de penetración (%). | 40 |
| 19. Análisis de varianza de los efectos simples de las secciones y concentraciones de la penetración (%). | 41 |
| 20. Prueba de comparación de medias de las secciones en concentraciones. | 42 |

| | |
|--|----|
| 21. Prueba de comparación de medias de concentraciones en secciones de la penetración (%). | 43 |
| 22. Datos del inventario de las cinco matas de <i>D. asper</i> | 53 |
| 23. Promedio del contenido de humedad en los diferentes niveles del culmo..... | 60 |
| 24. Promedio de la densidad básica de los culmos <i>D. asper</i> | 61 |
| 25. Datos de los volúmenes de los aros de <i>D. asper</i> | 62 |
| 26. Datos de la retención del pentaborato..... | 63 |
| 27. Datos del porcentaje de penetración del pentaborato. | 64 |

ÍNDICE DE FIGURAS

| Figura | Página |
|--|--------|
| 1. Esquema de extracción de los niveles base, medio y ápice de <i>D. asper</i> | 16 |
| 2. Esquema de extracción de aros y probetas en el nivel base. | 17 |
| 3. Superficie de la sección transversal del culmo. | 21 |
| 4. Penetración del preservante. | 22 |
| 5. Comparación de medias de niveles en secciones en la retención. | 28 |
| 6. Comparación de medias de secciones en niveles en la retención. | 29 |
| 7. Comparación de medias de los niveles en las concentraciones. | 31 |
| 8. Comparación de medias de concentraciones en los niveles. | 32 |
| 9. Comparación de medias de las secciones en concentraciones. | 34 |
| 10. Comparación de medias de concentraciones en las secciones. | 37 |
| 11. Comparación de niveles en secciones de la penetración (%). | 39 |
| 12. Comparación de secciones en niveles de la penetración (%). | 40 |
| 13. Comparación de medias de las secciones en concentraciones de la penetración (%)..... | 42 |
| 14. Comparación de medias de concentraciones en secciones de la penetración (%)..... | 44 |
| 15. Extracción de los culmos de <i>D. asper</i> | 65 |
| 16. Toma de muestras de la hoja caulinar para la identificación de la especie. | 65 |
| 17. Toma de muestras de los nudos para la identificación de la especie. | 65 |
| 18. Secado de probetas (3 cm x 3 cm) en estufa para determinar el contenido de humedad. | 65 |
| 19. Probetas de 3 cm x 3 cm recién sacados de la estufa y puestos en el desecador. | 65 |
| 20. Preparación de la solución preservante a base de pentaborato. | 65 |
| 21. Acondicionamiento de los contenedores y establecimiento de los aros al proceso de preservación a concentraciones de 3%, 5% y 7%. | 65 |

| | |
|---|----|
| 22. Proceso de preservación de los aros a concentración de 3%..... | 65 |
| 23. Escurrimiento del exceso de líquido de los aros preservados. | 65 |
| 24. Preparación de la solución para determinar el porcentaje de penetración..... | 65 |
| 25. Pesaje de los insumos a utilizar para elaborar la solución del método colorimétrico..... | 65 |
| 26. Aplicación del método colorimétrico a base cúrcuma..... | 65 |
| 27. Medición del diámetro del espesor de la pared del culmo. | 65 |
| 28. Muestras sin preservante degradados por insectos perforadores en la sección del nudo. | 65 |

RESUMEN

El *Dendrocalamus asper* es una especie con potencial económico, social y ambiental, pero es susceptible a insectos y hongos debido a su alto porcentaje de parénquima lo cual es necesario preservarlo, el pentaborato es un preservante que mejora la resistencia y amplía el uso de este biomaterial. El objetivo fue evaluar el efecto del pentaborato a concentraciones (3%, 5% y 7%) en la retención y penetración del preservante en la base, medio, ápice y sección del nudo y entrenudo del culmo mediante inmersión, zona - Tingo María. El *D. asper* se extrajo del Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María - Huánuco. Se seleccionaron cinco matas para cosechar un culmo en estado maduro por mata, se seccionaron a nivel base, medio y ápice, y se extrajo muestras de 10 cm de longitud y probetas de 3 x 3 cm por cada nivel de cada sección. Los resultados determinaron que la retención del preservante depende del nivel, la sección y la concentración aplicada, en los nudos del ápice a concentración del 7% fue 11,63 kg/m³. La penetración fue más significativa en los nudos del ápice a concentración de 7% con 67,87% que, en los entrenudos y estuvo influenciado por factores como la densidad y el espesor de la pared, destacándose en el nudo del nivel ápice. Estos resultados evidenciaron que la retención y penetración del preservante dependen de las propiedades físicas, anatómicas del *D. asper* y la concentración del preservante, factores clave para optimizar la preservación.

Palabras claves: bórax, niveles del culmo, porcentaje de penetración, retención.

The Effect of Pentaborate on the Preservation of *Dendrocalamus asper* (Bamboo) Using the Immersion Method in the Zone of Tingo Maria

Abstract

Dendrocalamus asper is a specie with economic, social and environmental potential, but it is susceptible to insects and fungus due to its high percentage of parenchyma, which is necessary for preserving it; pentaborate is a preservative that improves the resistance and widens the use of this biomaterial. The objective was to evaluate the effect of the pentaborate, at concentrations of 3%, 5% and 7%, on the retention and penetration of the preservative at the base, middle, apex, the knots and the sections between the knots of the culm using immersion in the zone of Tingo María, [Perú]. The *D. asper* was extracted from the Bosque Reservado of the Universidad Nacional Agraria de la Selva in Tingo María, Huánuco. Five clumps were selected, from which one culm in a mature state was to be harvested per clump; they were divided at the base, middle and apex levels and 10 cm long samples and 3x3 cm test pieces were extracted for each level of every section. From the results, it was determined that the retention of the preservative depended on the level, the section and the concentration that was applied; for the knots in the apex, at a 7% concentration [resulted in] 11.63 kg/m³. The penetration was more significant at the knots in the apex at a concentration of 7% with 67.87% than in the space between the knots and was influenced by factors such as the density and the thickness of the wall, with the knots at the apex level standing out. These results evidenced that the retention and penetration of the preservative depend on the physical [and] anatomical properties of the *D. asper* and the concentration of the preservative; key factors for optimizing the preservation.

Keywords: borax, culm levels, penetration percentage, retention.

I. INTRODUCCIÓN

El bambú conocido también como una gramínea gigante es un producto forestal no maderable (PFNM) de alto valor cultural, considerado desde tiempos inmemorables como un biomaterial de mucha utilidad para la humanidad, incrementando el bienestar a nivel económico, social y ambiental, tanto en el continente asiático y americano; este biomaterial se puede utilizar de muchas formas: construcción de viviendas, puentes, muebles, artesanías, productos de cuidado personal, cosméticos, etc.

Entre el 2014 y 2019 el Perú registró 2 172,91 ha de bambú distribuidos en las regiones de Cajamarca, Amazonas, Piura, Junín, San Martín, Pasco, Huánuco y Ucayali según el registro de plantaciones del Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre ([SERFOR], 2024); de las cuales la región Huánuco presentó una extensión de 28,14 ha con los géneros de *Guadua* (22,01 ha), *Bambusa* (3,68 ha), *Arundinaria* (0,06 ha) y la especie *Dendrocalamus asper* (2,39 ha).

En Leoncio Prado se promueve el uso del bambú *Dendrocalamus asper* debido a su rápido crecimiento, resistencia mecánica y versatilidad. Sin embargo, su alta susceptibilidad al ataque de hongos e insectos, propia de los materiales lignocelulósicos, limita su durabilidad y restringe su cadena productiva. Esta vulnerabilidad, asociada a su elevado contenido de parénquima, reduce su uso extensivo como biomaterial. Por ello, surge la necesidad de determinar la dosificación efectiva de pentaborato para mejorar su resistencia y prolongar la vida útil del producto final, actuando como barrera contra agentes bióticos.

Bajo este contexto, se formuló la siguiente pregunta: ¿Cuál será el efecto del pentaborato a diferentes concentraciones en el preservado de *Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f. (bambú) en diferentes niveles, en las secciones de nudo y entrenudo mediante el método de inmersión en la zona de Tingo María?; a su vez también se rechazó la hipótesis nula ya que se encontró efecto significativo del pentaborato a diferentes concentraciones en el preservado de *Dendrocalamus asper* en diferentes niveles, en las secciones de nudo y entrenudo mediante el método de inmersión.

El estudio sobre el preservado de *Dendrocalamus asper* mediante pentaborato se realizó para superar la alta susceptibilidad al ataque de hongos e insectos, problema que limita su potencial como biomaterial en la zona de Leoncio Prado. La investigación determinó las concentraciones óptimas de pentaborato que mejoran la durabilidad del material, mediante el método de inmersión de los diferentes niveles y secciones del bambú, con el fin de extender

su vida útil, incrementar su resistencia biótica y potenciar su aprovechamiento en diversas aplicaciones industriales y constructivas.

Los resultados de la investigación impulsaran una cadena productiva más competitiva, creando alternativas de ingresos sostenibles para los productores locales, de esta manera permitirá optimizar las técnicas de preservación, estableciendo un precedente importante para el aprovechamiento industrial del bambú en la zona, para ello se plantearon los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Estudiar el efecto del pentaborato a diferentes concentraciones en el preservado de *Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f. (bambú) en diferentes niveles y secciones de nudo y entrenudo mediante el método de inmersión en la zona de Tingo María.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar la retención del pentaborato a 3, 5 y 7% de concentración en las secciones de nudo y entrenudo de los niveles de base, medio y ápice del culmo de *Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f., en la zona de Tingo María.
- Determinar el porcentaje de penetración del pentaborato a 3, 5 y 7% de concentración en las secciones de nudo y entrenudo de los niveles de base, medio y ápice del culmo de *Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f., en la zona de Tingo María.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. Pentaborato

Esta solución se obtiene a través de la mezcla de ácido bórico (H_3BO_3) y bórax ($Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$), por su fácil aplicabilidad, bajo costo y una penetración muy efectiva lo cual se complementa perfectamente con el bambú en construcciones de viviendas y no estén expuestas a cielo descubierto (Montoya, 2002).

2.1.1.1. Efecto en la preservación

Moya *et al.* (2021) mencionan que la preservación por el método inmersión-difusión consta en sumergir la madera, por un determinado tiempo en la mezcla de solución saturada del preservante compuesta por ácido bórico, borato de sodio (bórax) y agua. Luego de haberse tratado se cubre con cualquier material que sea impermeable que evite la volatilización de agua, esto permitirá que la difusión del pentaborato se traslade desde la parte externa hacia la parte interna del biomaterial o producto a preservar.

Handana *et al.* (2020) refieren que el boro como preservante suele tener un impacto negativo mínimo en el medio ambiente, siempre y cuando la dosis sea la adecuada. A su vez el componente del boro es incoloro, inodoro y no reactivo con metales, no se volatiliza, económicamente es accesiblemente en comparación con otros preservantes elaborados a partir de metales pesados.

Por lo tanto, el boro es parte del compuesto bórax que se puede usar como preservante del bambú, ya que es muy efectivo cuando se trata de proteger contra agentes degradadores (Tang *et al.*, 2009).

2.1.1.2. Retención y penetración

Moya *et al.* (2021) mencionan que la efectividad del preservante se evalúa mediante la penetración y la retención; la penetración se define como el porcentaje de la profundidad que alcanza el preservante en el biomaterial, mientras que la retención es la cantidad de sustancia activa, retenida en el volumen del biomaterial tratado.

2.1.2. Preservación

Montoya (2002) considera que es importante tener en claro las expresiones usadas como la "preservación" o "inmunización"; de conformidad con el significado el término

preservar significa conservar, proteger; mientras que inmunizar hace referencia a hacer inmune, eso quiere decir que cierta enfermedad no puede atacarlo; en consecuencia, la degradación del bambú a causa de insectos no está considerado como enfermedad, por ende, la expresión correcta sería preservación.

Para realizar el uso adecuado de este material lignocelulósico (bambú) es muy importante la preservación, protegiéndolo de los peligros biológicos y patológicos. Existe una gran similitud en comparación con la preservación de la madera en los países del trópico, pero presentan grandes diferencias (Liese y Tang, 2015).

Posada (2015) menciona que en los últimos años se utiliza con mayor continuidad las sales boratos, no solo por su alta efectividad para disminuir la pudrición y degradación de la madera, sino también que su toxicidad es mínima para los humanos, son inodoros e incoloros y no dificulta realizar un acabado en los productos a base de madera:

2.1.2.1. Otras soluciones para preservar:

Según Landauro (2010) existen otros insumos que se usan para preservar el bambú, descritos a continuación:

a) Naftenato de cobre: es considerado un insumo orgánico que se caracteriza por presentar una toxicidad y contaminación nula, muy efectivo para el control de ataques por insectos y hongos, es económicamente accesible que se aplica con facilidad y presenta buena duración. Se ha evidenciado también que este insumo impide el deterioro de la celulosa, incrementando su importancia para proteger y aumentar la vida útil del bambú.

b) Pentaclorofenol: principalmente se usa cuando las cañas del bambú van a mantenerse en contacto con la humedad de forma directa y el método de aplicación es por inmersión en baño frío.

c) Creosota: su uso depende de la utilidad de las cañas del bambú o madera, ya que su toxicidad y especificidad suelen variar; por lo general se emplea a las cañas que serán expuestas total o parcialmente bajo tierra.

2.1.3. El bambú

Sasaoka y dos Reis Pereira (2023) mencionan que el bambú es una especie leñosa, pero no se considera un árbol; asimismo, corresponde a las gramíneas leñosas de la subfamilia bambusoides, estos suelen variar según la diversidad de las especies y pueden ser nativas o

exóticas. Por lo general las plantaciones de bambúes forman paisajes macizos de culmos cilíndricos longitudinales.

2.1.4. Descripción del *Dendrocalamus asper*

2.1.4.1. Descripción taxonómica

La clasificación taxonómica según Clark *et al.* (2015) es la siguiente:

- Familia : Poaceae
- Subfamilia : Bambusoideae
- Tribu : Bambuseae
- Subtribu : Bambusinae
- Género : *Dendrocalamus*
- Nombre científico : *Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f.
- Nombre común : Bambú gigante

2.1.4.2. Características botánicas

Damiani (2013) y Fernandez (2020) consideran al *D. asper* como bambú leñoso, a diferencia de las herbáceas porque presentan rizomas paquimorfos. A su vez los culmos tienden a medir de 20-30 m de longitud, el diámetro varía de 6 a 20 cm, su coloración es verde brillante, son rectos en la parte basal y curvado a lo largo del ápice. Asimismo, la parte de los entrenudos son agujereados, su dimensión longitudinal varía de 20 a 50 cm, el espesor de la pared del culmo es muy gruesa llegando a medir de 2 a 3 cm.

En sus nudos presentan raicillas muy visibles de color crema que se encuentran en la zona de la base del culmo; asimismo, presentan hojas caulinares y estas son deciduas, su coloración es café intenso con presencia de abundante pubescencia negruzca en su cubierta, esta hoja caulinar es ancha y corta en la parte basal, mientras que en la parte del ápice es delgada y larga. Por lo tanto, podemos diferenciar las ramas en la parte superior que se encuentran orientadas en dirección vertical; mientras que la hoja del follaje tiene forma de láminas lanceoladas y son de color verde oscuro (Damiani, 2013).

2.1.4.3. Anatomía del bambú

Existe diferencia anatómica muy importante a diferencia de los árboles, se evidencia la carencia de tejido cambium, en tal sentido el bambú no manifiesta crecimiento secundario, por consecuencia no hay acrecentamiento diametral solamente tienen acrecentamiento primario o en la zona apical. Las células de los entrenudos están dispuestas axialmente,

mientras que el nudo proporciona un enlace o conexión transversalmente. Los tejidos de los culmos constan de tres tipos a nivel celular llamados célula parenquimatosa, haz vascular y fibra (Damiani, 2013).

El parénquima compone la base del tejido los cuales son verticalmente elongadas, mientras que los haces vasculares se componen por: el xilema y esta se conforma de dos grandes metaxilemas y uno o dos pequeñas moléculas del protoxilema, por su parte el floema presenta una pared muy delgada con tubos cribosos sin lignificar, que se encuentran enlazados en la fibra y estas se conforman por tejidos esclerenquimatosos que están ubicados en el entorno de los haces vasculares, formando una banda aislada lo cual se puede ver en algunas especies de bambú; asimismo, aportan el 40% a 50% de la totalidad del tejido del culmo, a su vez influye el 60 a 70% de su peso total (Liese, 1998).

En el corte transversal del entrenudo se puede determinar la cantidad de los haces vasculares, forma, tamaño y forma de organización, asimismo, se puede describir la anatomía de la especie de los cuales se verifica caracterizando las fibras y el parénquima. Sus haces vasculares son de menor tamaño, pero de mayor cantidad en la parte externa del culmo, en cambio hacia la parte interna estos están más grandes y en menor cantidad. Las dimensiones de los haces vasculares dentro de la pared del culmo merma o disminuye de la zonal basal en dirección a la zona del ápice, mientras que su densidad básica se eleva de la misma manera (Damiani, 2013).

A diferencia de los árboles o maderas los tejidos conductivos de agua del bambú no dejan de funcionar y tampoco son reemplazados, como el caso del cambium en la madera. Por lo consiguiente en culmos maduros los vasos y sus tubos cribosos se impermeabilizan de manera parcial a causa de la exposición a un componente como resina o adhesivo, disminuyendo totalmente la conducción, teniendo como consecuencia la muerte del culmo maduro. Existe un modelo determinado de la disposición porcentual de las células en el interior del culmo a nivel de su longitud y también transversalmente. Transversalmente los tejidos conductivos y el parénquima son más continuos en la tercera parte del espesor de la pared del culmo; sin embargo, el porcentaje de fibra se incrementa en el tercio externo (Damiani, 2013).

2.1.5. Propiedades físicas

2.1.5.1. Contenido de humedad

Según Montoya (2008) el contenido de humedad es una propiedad muy importante que influye no solo en el secado del material, cosecha y utilidad final, sino también en el comportamiento de las propiedades físicas del bambú; esta propiedad suele variar a través de sus niveles de longitud del culmo (base, medio y ápice), según la edad y el tiempo de cosecha, teniendo mayor contenido de humedad la base y menor humedad el ápice, asimismo, varía en las secciones del culmo (nudo y entrenudo).

2.1.5.2. Densidad básica

Montoya (2008) fundamenta que la densidad es la relación de la masa anhidra con el volumen húmedo; por ende, al aumentar el contenido de humedad también aumentará la masa anhidra y el volumen húmedo, por consecuencia se incrementa la densidad que se expresa en g/cm^3 o en kg/m^3 . Según Liese y Tang (2015) mencionan que la densidad del bambú varía entre 0,5 y 0,9 g/cm^3 .

2.1.6. Importancia y utilidad

2.1.6.1. Importancia económica

Influyen diversos factores en la importancia económica del bambú: se considera el poco tiempo que se requiere para cosecharlo, su asequible acceso y disposición, su alta tasa de producción por hectárea, su estupenda propiedad físico-mecánica le proporciona a este biomaterial un sinnúmero de usos y su preminencia con respecto a otros recursos por ser sostenible y renovable (Chiluiza y Hernández, 2009).

Fernández (2020) menciona que el bambú ha producido una economía globalizada sustentado en plantaciones y la mejora en el valor agregado a nivel industrial en diversos subproductos que derivan del bambú, transformándose en un extraordinario material básico para promover cadenas de valores locales con tecnologías intermedias, para que la población logre disponer de ellas sin requerir una inversión colosal.

En Ecuador la especie *Guadua angustifolia* llamada también como caña de guadua, es la que tiene mayor influencia económica, seguidamente el *Dendrocalamus asper*, bambú gigante que fue importada desde hace mucho tiempo atrás (Parreño, 2017).

2.1.6.2. Importancia social

A pesar de que la producción del bambú es una actividad de antaño para el pueblo ecuatoriano, los productores por lo general no conocen los diversos usos que se le podría dar. Existe una ventaja con respecto a los usos, depende de cada característica según su especie que puede ser usado todas las partes de la planta, de manera que la cantidad de bienes y servicios del bambú no tienen límites (Morán, 2001).

Echezuría (2018) comenta que la influencia del bambú en el aspecto sociocultural y económico de diversas poblaciones y familias fue trascendental debido a que emplean para usos infinitos a este biomaterial como materia prima, de los cuales resalta mucho la fabricación de sus hogares. El Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC, 2010) en Ecuador, pudo evidenciar que existen 329 416 unidades de casas construidas con bambú, por su parte Guayaquil fue la ciudad que poseía el mayor número de casas a base de bambú con 60 521 unidades, que representa un 18% del total.

2.1.6.3. Importancia ambiental

Debido a su particular sistema de enraizamiento, la disposición de sus rizomas y una gran capa gruesa de hojarasca que sirve de protección a los suelos donde se acentúa el bambú, ayudando en el control de la erosión de los suelos, previniendo el escurrimiento por efecto de deslizamiento de tierra (Song *et al.*, 2011); de la misma manera el follaje de *G. angustifolia* es rico en materia orgánica que contribuye a los componentes del suelo aportando biomasa de 30 a 35 t/ha/año, en una plantación de *G. angustifolia* el follaje representa el 10 a 14% del total del material vegetativo (Fernández, 2020).

El bambú, por ser una planta de rápido crecimiento con respecto a otras especies maderables, manifiesta una tasa muy alta de captura de carbono. De la misma manera, suele adaptarse con facilidad a los diversos tipos de suelos y a las variaciones de la condición climática de cada lugar, lo que permite controlar de forma efectiva la pérdida y degradación del suelo, asimismo, la biomasa superficial proporciona una gran cobertura forestal que funciona muy bien como cortina cortaviento, a su vez regulan el ciclo hidrológico y en particular funcionan como defensas de riberas de ríos. Además, tiene la capacidad de retener agua en los rizomas y los tallos. La captura de dióxido de carbono en una hectárea de bambú es de 40% más en comparación a otras especies forestales como coníferas o eucaliptos de 10 o 14 años de edad (Fernández, 2020).

2.1.7. Métodos de preservación

2.1.7.1. Tratamientos naturales

a) Avinagrado: consiste en dejar los culmos que fueron cortados sobre el mismo tocón, dejándolo allí de uno a tres días sin cortar las ramas ni las hojas; esto hace que el almidón situado en el culmo se reduzca a través del tiempo. De esta manera aumenta la capacidad para resistir el ataque de insectos que perforan el culmo, pero no garantiza la durabilidad frente al ataque de termitas ni de hongos xilófagos (Añasco y Rojas, 2015).

b) Inmersión en agua: consta de colocar los culmos recién cortados en agua estancada o corriente por un tiempo prolongado de una a varias semanas. Estos estarán inmersos dentro del agua y preferiblemente poner piedras encima de las cañas para evitar que estén expuestos al aire libre; por la acción del agua el almidón y el azúcar de los tejidos parenquimatosos son arrojados y al mismo tiempo las bacterias existentes degradan estas células, incrementando la resistencia contra insectos y perforadores. Sin embargo, la protección al ataque de termitas y hongos no se garantiza, en efecto la durabilidad disminuye y con respecto al agua estancada podría existir consecuencias adversas sobre el culmo (Encalada, 2016).

c) Encalado: Soler (2018) afirma que se usa en las construcciones para viviendas, las esteras y los culmos del bambú se pintan con cal (CaCO_3). Aparte de su color blanco que tiene una percepción estética visible, la expectativa es prolongar la vida útil como material estructural. Por otra parte, la absorción de agua disminuirá debido a este tratamiento, lo que implicaría el aumento de la resistencia contra el ataque de hongos.

d) Preservación por humo o calor: los culmos se exponen de manera directa al humo en lugares totalmente cerrados, lo cual conlleva a un cambio de coloración a una tonalidad más oscura, debido a que las sustancias tóxicas del humo se alojan internamente en el culmo en el transcurso del proceso del preservado, esta aportará en la resistencia del biomaterial. Por la acción de la alta temperatura sobre el almidón que compone la célula parenquimatosa, éstas pueden destruirse considerablemente. Los japoneses introducen los culmos de bambú en hornos o almacenes de calor desde 120 a 150 °C por un tiempo de 20 minutos, por lo que se consideraría muy eficaz contra la protección al ataque de insectos (Soler, 2018).

2.1.7.2. Tratamientos químicos

En comparación a los tratamientos no químicos Handana (2020) menciona que estos son más eficaces, pero tiene la desventaja de ser poco aplicables y económicamente costosos;

además, refiere que estos insumos deben ser no tóxicos tanto como para los humanos y los animales. Por lo tanto, afirma que el pentaborato (ácido bórico + bórax) a concentración de 1:1 está siendo altamente eficaz y aparte de que su uso es permisible a nivel internacional.

a) Transpiración de las hojas: al realizar el corte de los tallos se tienen que dejar intactos; en otras palabras, no se cortan las hojas ni ramas para después dejarlos reclinados sobre los culmos que no han sido cosechados lo más verticalmente posible; después de que la savia haya salido por la parte inferior se ubica la zona basal en un recipiente que tenga el preservante lo cual será impregnado por la acción de exudación de las hojas (Soler, 2018).

b) Método por inmersión: este método aparte de ser el más eficaz es el que más se usa en la actualidad, debido a su accesibilidad económica y facilidad de aplicación. Su acción del pentaborato por inmersión en una proporción de 1:1 disueltos en 100 L de agua es un insumo de baja toxicidad que no ocasiona ningún daño a la humanidad ni al medio ambiente (Encalada, 2016).

c) Método Boucherie: se considera como el más efectivo a diferencia de los otros métodos, este debe ser realizado con bambú fresco y se basa en aprovechar la gravedad o por presión neumática para que el preservante penetre reemplazando a la savia dentro del culmo. Finaliza el proceso de preservado cuando las sales salen por la parte inferior del culmo, lo que significa que el preservante se concentró en todo el culmo. La variedad de la especie, el contenido de humedad y el tipo de preservante influye para determinar el tiempo y la efectividad del tratamiento (Añazco y Rojas, 2015).

d) Tratamiento con Presión: Cortez *et al.* (2019), mencionan que este método es más usado en la industrialización de la madera. Se necesita del uso de autoclaves, y las presiones que se aplican es de 0,5 y 1,5 N/mm². El bambú siendo un material de costo muy bajo, este método no sería recomendable debido a que se demanda de instalaciones especiales y son muy caros; sin embargo, los resultados que se obtienen en cuanto a la penetrabilidad del preservante son muy efectivos.

2.2. Estado del arte

2.2.1. Internacionales

Morán (2001) al investigar la efectividad de los métodos tradicionales de preservado, menciona que se relacionan con las costumbres de los grupos étnicos y a su vez con las condiciones que lo rodean, estos pueden ser la temperatura, humedad, precipitación pluvial, entre otros. Si se hace una comparación de la resistencia natural del material que no ha sido

preservado (1 a 3 años) con respecto a los que fueron preservados, estos presentan diferencias altamente significativas que varían de 5 a 20 años y dependerá del método de preservación que puede ser inmersión en agua, exposición al humo y también por calentamiento. El uso de taninos de cortezas de árboles también tiene resultados positivos. El hidróxido de calcio (cal) también se usa, pero suele tener sus limitantes debido a que no permiten ver la naturalidad de las cañas perdiendo este carácter muy importante.

Montoya (2008) evaluó diferentes métodos de preservado en productos que derivan a base de *G. angustifolia* kunth. para obtener una apropiada comercialización en los mercados, para materiales que son usados en la construcción como guadua, es necesario usar insumos que sean ambientalmente amigable que no dañe la salud durante el proceso del preservado. El método Boucherie por inmersión en sales de pentaborato y por ahumado son los que más se conocen en este proceso; cabe recalcan también que en la Norma Técnica Colombiana 5301: Preservación y Secado se describen estos métodos, excepto el método del ahumado; se puede concluir que el método por inmersión es uno de los mejores puesto que es de fácil aplicación y el proceso es sencillo, por lo que su mantenimiento no es tedioso.

Peña *et al.* (2009) determinaron las propiedades mecánicas y físicas de la *G. angustifolia*, rigiéndose a las normas del Instituto Alemán de Normalización (DIN) y Sociedad Estadounidense para la Prueba y los Materiales (ASTM), usando el método de preservado por inmersión en bóraxácido bórico y urea formaldehído con una concentración de 2% a proporción de 1:1 de bórax y ácido bórico; el resultado fue sumamente bueno con respecto al ataque del insecto perforador *Dinoderus minutus*. El tratamiento que tuvo más absorción y retención del preservante fue con urea formaldehído al 2% disminuyendo desde el nivel del ápice a la parte de la base del culmo. El Módulo de Ruptura (MOR) en flexión para ambos tratamientos fue en mayor doblgando al testigo sin preservante. La Resistencia Máxima (RM) en compresión paralela a la fibra manifestó un valor muy cercano a ambos tratamientos y al comparar con los testigos sin preservar el valor fue el doble.

Por otra parte Prinindya y Ardiansyah (2014), analizaron la resistencia a la tracción del *D. asper* luego de que hayan sido preservados, preservaron con bórax líquido a concentración de 0,05 M en 1 litro de agua, ácido bórico 0,05 M en 1 L de agua, a diferentes concentraciones de bórax como 20%, 40% y 60%, para luego ser sumergidos en la solución. Después de eso realizaron una prueba de tracción en una muestra de bambú sin meteorización y una muestra de bambú con meteorización. Concluyeron que la sustancia química del

preservante aumenta la resistencia a la tracción. Asu vez, mientras el tiempo de inmersión se prolongue se reduce la resistencia a la tracción.

Burgos y Montoya (2015) determinaron el efecto de diferentes concentraciones, temperaturas y tiempos de inmersión sobre la capacidad de retener y penetrar los insumos químicos a base del boro en la especie de *G. angustifolia* Kunth., compararon las variables de concentraciones y temperaturas de la solución y su vez el tiempo de inmersión. Demostraron que la concentración de la solución tuvo un marcado efecto en la retención de boro y la temperatura sobre la penetración. El tiempo de inmersión y la temperatura no influye en la retención y penetración; mientras que las concentraciones si influye en la retención. La retención promedio de boro más baja, se evidenció con la concentración de 4% (1,843 kg/m³) y la retención más alta con la concentración a 8% (3,603 kg/m³). Finalmente concluyeron que la retención puede graduarse a través de la concentración de la solución del tratamiento y a su vez dependiendo del uso que se le dará al producto final preservado.

Cortez *et al.* (2019) realizaron un estudio de la efectividad de tres tipos de conservantes con: químicos tradicionales, sustancias naturales de bajo riesgo para los humanos y térmicos a diferentes temperaturas para prevenir el ataque de *D. minutus*. Los dos primeros tratamientos lo realizaron por inmersión y el de tipo térmico fue mediante un proceso de secado. Cada dos semanas evaluaron el ataque a tres ejemplares de cada tratamiento, incluidos los correspondientes a un ejemplar como testigo sin ningún conservante. En ese contexto concluyeron que la mayoría de los tratamientos por el método de inmersión fueron efectivos, reduciendo considerablemente el ataque de los insectos en comparación con el testigo. En cuanto al tratamiento térmico, temperaturas menores o iguales a 130 °C no resultaron efectivas; sin embargo, las temperaturas de 190 °C y 210 °C revelaron eficiencias aceptables.

Guzmán *et al.* (2012) determinaron la concentración ideal de una solución preservante a base de ácido bórico y bórax para la preservación de *G. angustifolia*, donde evaluaron diferentes concentraciones desde 3% hasta 11% para validar la técnica potenciométrica que permita definir la solución ideal para preservar y para ello midieron el pH por cada concentración, la conductividad y temperatura. Por lo tanto, infirieron que la mejor técnica es la conductimetría para predecir la concentración de la solución del preservante, donde obtuvieron cuatro modelos lineales a partir de la conductividad y la temperatura de la solución; aunque, la medición de la conductividad y temperatura tomada con un termómetro común fue el modelo más práctico.

De acuerdo a Gauss *et al.* (2021), utilizaron soluciones conservantes a base de tanino y boro para el tratamiento de *D. asper* mediante impregnación al vacío-presión; las muestras tratadas con soluciones a base de tanino y hexamina presentaron bajas pérdidas de peso después de las pruebas de descomposición con hongos *Picnoporus sanguineus* y *Ganoderma trabeum* y lo clasificaron como resistentes y altamente resistentes respectivamente, incluso después de la lixiviación. Sin embargo, observaron una alta pérdida de boro después de ciclos severos de lixiviación, las muestras tratadas con tanino, hexamina y boro tenían propiedades mecánicas superiores y mayor estabilidad térmica. El uso de soluciones a base de taninos en combinación con compuestos de boro mostró resultados prometedores en términos de mejora de las propiedades mecánicas y aumento de la resistencia a la descomposición por hongos, lo que brinda nuevas posibilidades para la conservación del bambú.

Simesterra *et al.* (2022) cuantificaron los niveles de impregnación del preservante a base de sales de boro empleando el método de inmersión, sumergidas en diferentes períodos de tiempo en una solución de pentaborato al 4%. Evaluaron los caracteres cualitativos y cortaron las probetas en la mitad en dirección transversal, aplicando la solución elaborada a base de cúrcuma y ácido clorhídrico. Determinaron que para obtener niveles de absorción superiores a los 200 kg/m^3 es primordial que las muestras se encuentren con un contenido de humedad menor al 15% previo a la preservación; asimismo, fundamentaron que un tiempo de inmersión de al menos 72 horas se obtendría un nivel tóxico de retención efectiva de 0,40 a $0,50 \text{ kg/m}^3$ de producto activo, a su vez indicaron que la caña de *G. angustifolia* Kunth., carece de una guía técnica para el preservado debido a la deficiencia en investigaciones en el contorno de la preservación, por ser un material con potencia a nivel industrial se necesita de esta normativa.

2.2.2. Nacionales

Landauro (2010) determinó las características del preservado usando la inmersión prolongada como método, aplicando como componente químico al boro como base del preservante. Obtuvo que a las 24 y 36 horas de inmersión la penetración y retención del boro es parcial tanto en cañas que fueron agujereadas y las que no fueron agujereadas, y los de 72 y 108 horas en muestras sin agujerear. En cambio, en cañas agujereadas y sometidas a inmersión por 72 y 108 horas la penetración fue en su totalidad. Mientras que la retención de preservantes a mayor tiempo de inmersión es mejor; no obstante, después de 172 horas de inmersión fue constante para los dos tipos de cañas.

Farje (2018) determinó la eficacia de dos soluciones preservantes a base de boro (Octoborato de sodio y Ácido bórico – Bórax) con el objetivo de evitar el ataque de termitas en especie de *Pinus oocarpa*, utilizó el método de inmersión y de vacío-presión en autoclave. Al exponer las muestras preservadas con termitas demostró que la albura y el duramen de la madera seca son susceptibles al ataque de termitas, también determinó la retención límite tóxica para ambos preservantes, siendo esta de 4 kg/m³. A su vez realizó pruebas de preservación por inmersión prolongada con ambos preservantes, aplicando diferentes tiempos de inmersión (2, 4, 8, 16, 32, 64 y 96 horas), donde determinó que el tiempo mínimo de inmersión para obtener una retención de 4kg/m³ en la albura es de 64 horas y para el duramen el tiempo mínimo fue de 96 horas.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se ejecutó en el Bosque Reservado de la Universidad Nacional Agraria de la Selva (BRUNAS), Laboratorio Taller de Aprovechamiento y Maquinaria Forestal (LATAMF), Laboratorio de Anatomía de la Madera y Laboratorio de Fitoquímica de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, zona Tingo María, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado del departamento de Huánuco.

Según Holdridge (1987) Rupa Rupa se clasifica como un bosque muy húmedo - Premontano Tropical (bmh – PT), que se encuentra a una altitud de 660 m.s.n.m. con una precipitación anual de 3 000 mm. Se puede observar presencia de lluvias atípicas a distancias muy cortas entre 200 a 500 metros; no obstante, debido al clima tropical el calor es constante en todo el año siendo la temperatura promedio 28 °C, mientras que la humedad relativa en promedio es de 80%.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Material biológico

- Aros del culmo de *D. asper*.

3.2.2. Materiales, equipos y herramientas

a) Materiales: un desecador para colocar las muestras de probetas luego de ser secados en la estufa; wincha para medir las dimensiones de los culmos y las secciones de corte; plumón indeleble para marcar y codificar los aros; cinta diamétrica para medir el diámetro a la altura del pecho al momento de realizar el inventario; libreta de apuntes para las anotaciones de campo y laboratorio; ácido bórico y bórax para realizar el preservado de los aros de *D. asper*; cúrcuma, alcohol al 90%, ácido salicílico y ácido clorhídrico para realizar la prueba de colorimetría en los aros preservados.

b) Equipos: vernier digital de precisión para las mediciones de la longitud transversal; cocina eléctrica, para calentar el agua que diluya las sales de pentaborato; balanza analítica, para determinar el peso de las muestras, contenido de humedad, densidad básica y pérdida de peso diario de los aros de bambú; estufa eléctrica a temperatura de $103 \pm 2^{\circ}\text{C}$ para secar los aros y probetas; cámara fotográfica para capturar las imágenes de todo el proceso de

ejecución de la tesis; GPS Garmin Map 64s para georreferenciar la ubicación de las matas de bambú; laptop para la realizar el procesamiento de los datos y redacción del informe final;

c) **Herramientas:** una motosierra marca Stihl Ms 250 para la cosecha de los culmos de bambú; sierra circular para realizar los cortes de los culmos de bambú en aros de 10 cm de longitud; softwares como el Microsoft Office 365 para la redacción y el InfoStat para el análisis y procesamiento de datos.

3.3. Metodología

3.3.1. Determinación de la retención del pentaborato a 3, 5 y 7% de concentración en las secciones de nudo y entrenudo de los niveles de base, medio y ápice del culmo de *Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f., en la zona de Tingo María

Para esta investigación adaptó la Norma Técnica Colombiana 5300 “Cosecha y Postcosecha de la *Guadua angustifolia*” ya que no existe una norma específica para el *D. asper*. Para ello se ubicaron las matas de *D. asper* en el BRUNAS, luego se procedió a realizar el inventario de las cinco matas seleccionadas teniendo en cuenta los estados de madurez de los culmos (juveniles, maduros y maduros secos), se midió el diámetro a la altura de pecho y se consideró las características fitosanitarias óptimas para ser cosechadas, los datos del inventario se detallan en la **Tabla 22**.

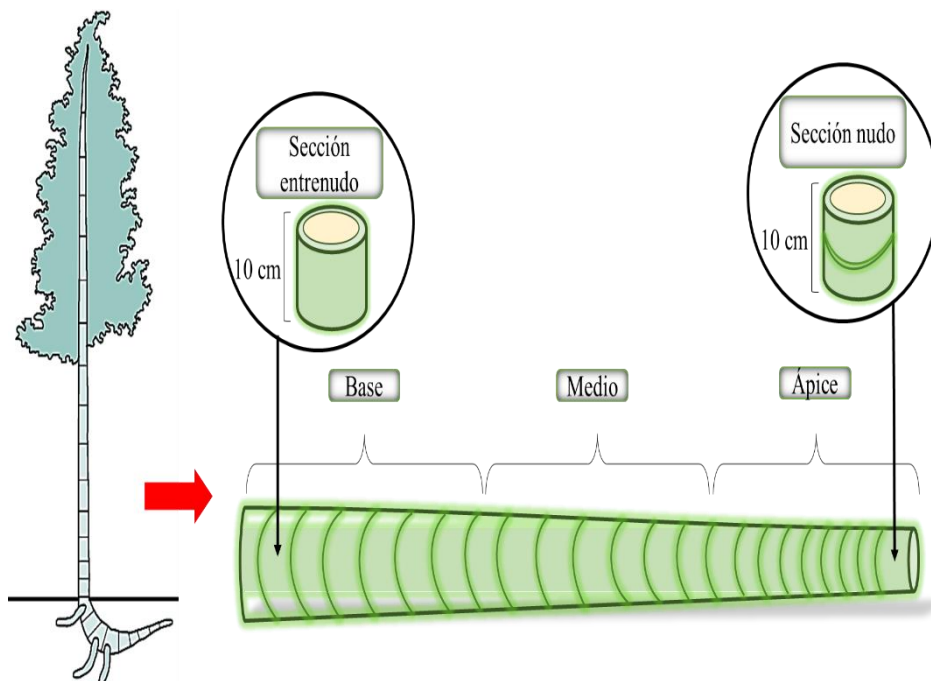


Figura 1. Esquema de extracción de los niveles base, medio y ápice de *D. asper*.

Se seleccionaron cinco culmos (un culmo por cada mata) de manera aleatoria considerando solo los culmos en estado maduro, estos culmos fueron cosechados por una persona calificada en la extracción de bambú, posteriormente se midió la longitud de cada una de ellas, después fueron seccionados en tres partes iguales (base, medio y ápice) dependiendo de las longitudes de cada culmo como se observa en la **Figura 1**.

Para obtener las muestras de aros y probetas, las secciones de los niveles del culmo fueron trasladados al área del LATAMF en las cuales se midieron y señalaron con un plumón indeleble a 10 cm de longitud los cinco entrenudos y cinco nudos por cada nivel (considerando el criterio: más próximo a la base, medio y ápice). De los cinco entrenudos y nudos se seleccionaron cuatro primeros para obtener los aros destinados a la preservación y realizar las pruebas de retención y penetración a concentraciones de 3, 5 y 7% de pentaborato, finalmente se obtuvo 120 aros como unidades muestrales.

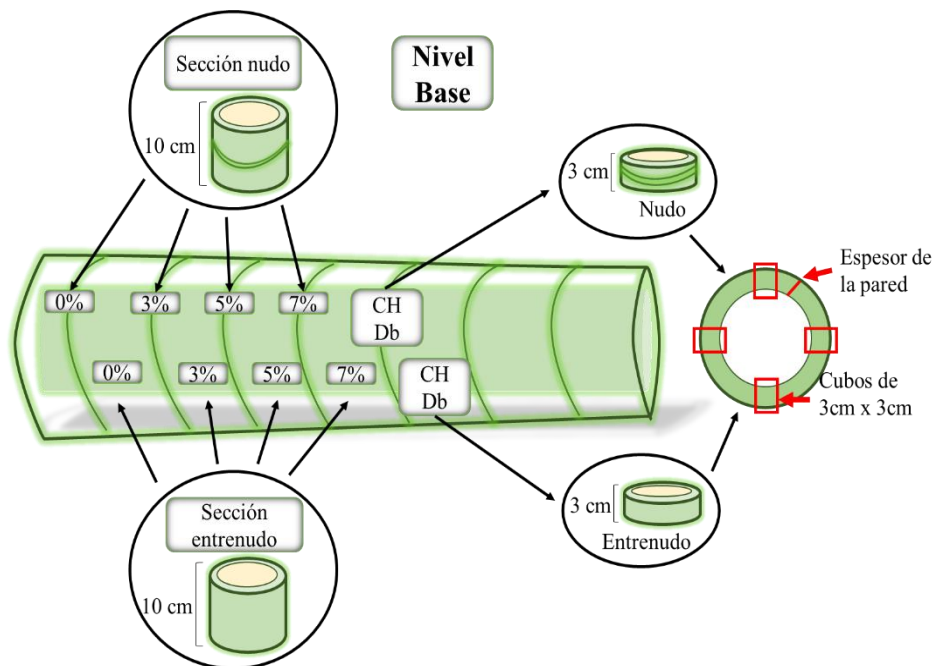


Figura 2. Esquema de extracción de aros y probetas en el nivel base.

El quinto entrenudo y nudo sobrante de cada nivel fueron considerados para determinar el contenido de humedad y la densidad básica, para ello se cortaron en cubos de 3 x 3 cm obteniendo 120 probetas como se observa en la **Figura 2**.

Seguidamente para determinar el contenido de humedad, los 120 cubos de 3 x 3 cm se trasladaron al Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal, donde se obtuvo el peso inicial húmedo en gramos con una balanza analítica, seguidamente se estimó el volumen húmedo por el método de principio de Arquímedes; luego

estas muestras fueron introducidas a una estufa para secarse gradualmente a una temperatura de 80 a 103°C en un período de 48 horas, después se retiraron de la estufa y fueron introducidas a un desecador para que las muestras no absorban humedad, seguidamente fueron pesados nuevamente para obtener el peso seco al horno de cada probeta (estos datos se muestran en la tabla 23). Para calcular el contenido humedad se utilizó la siguiente ecuación:

$$CH = \frac{Pi - Psh}{Psh} * 100 \dots \text{Ecuación 1}$$

Donde:

- CH: Contenido de humedad (%).
- Pi: Peso inicial (g).
- Psh: Peso seco al horno (g).

En la **Tabla 1** se muestra el promedio del contenido de humedad según los niveles y la sección del nudo y entrenudo a lo largo del culmo del *D. asper*.

Tabla 1. Contenido de humedad promedio de *D. asper* recién cosechados.

| Niveles | Secciones | Contenido de humedad (%) |
|---------|-----------|--------------------------|
| Base | Nudo | 101,323 |
| | Entrenudo | 111,202 |
| Medio | Nudo | 83,691 |
| | Entrenudo | 77,840 |
| Ápice | Nudo | 73,287 |
| | Entrenudo | 65,596 |

Para determinar la densidad básica de los tres niveles de altura (base, medio y ápice) de *D. asper*, se utilizó los datos de la masa anhidra (peso seco al horno) de los cubos de 3 x 3 cm y el volumen húmedo (como se observa en la tabla 24). La ecuación que se utilizó fue la siguiente:

$$D_b = \left(\frac{m_o}{V_h} \right) \dots \text{Ecuación 2}$$

Donde:

- D_b : Densidad básica (g/cm³).
- m_o : Masa anhidra (g).
- V_h : Volumen húmedo (cm³).

En la **Tabla 2** se muestra el promedio de la densidad básica según los niveles y la sección del nudo y entrenudo a lo largo del culmo.

Tabla 2. Densidad básica promedio de *D. asper*. recién cosechados.

| Niveles | Secciones | Densidad (g/cm ³) |
|---------|-----------|-------------------------------|
| Base | Nudo | 0,600 |
| | Entrenudo | 0,563 |
| Medio | Nudo | 0,664 |
| | Entrenudo | 0,681 |
| Ápice | Nudo | 0,705 |
| | Entrenudo | 0,741 |

Antes de ser preservados los 120 aros de 10 cm de longitud fueron secados en estufa a temperaturas graduales durante cinco días para disminuir el contenido de humedad, se empezó desde 60°C, 65°C, 70°C, 75°C, y 80°C para evitar el colapso de las fibras, debido a que con anterioridad se realizó un pre-ensayo de secado directamente a estufa a una temperatura de 103°C ±1 por 24 horas y los aros se partieron colapsando en su totalidad.

Para la preservación se adaptó la Norma Técnica Colombiana 5301: Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth, en las cuales los 120 aros fueron trasladados al laboratorio de Anatomía de la Madera para ser preservados por el método de inmersión prolongada. Para la preparación de la solución preservante se utilizó el pentaborato que es un compuesto hidrosoluble, para los cuales se consideró la dosis de Morán (2002), quién determinó que para obtener una solución preservante al 1% se requiere 0,5 kg de ácido bórico y 0,5 kg de bórax (1 kg de pentaborato) por cada 100 L de agua.

Para esta investigación se preparó las soluciones de preservantes a concentraciones de 3, 5, 7% que requirió de 4,59; 7,95 y 11,13 kg de pentaborato respectivamente. Se utilizaron tres contenedores de madera protegidos con mica reforzado donde se realizaron la preservación y las dimensiones de estos contenedores fueron de 0,25 m x 0,68 m x 0,90 m; donde el volumen del primer contenedor para 3% de concentración fue de 153 L, el contenedor para 5% fue de 159 L y para el 7% de concentración fue de 159 L, para ello el preservante se diluyó en el agua según el contenedor correspondiente a cada concentración de pentaborato.

Pasado el tiempo de preservado (120 horas), los aros fueron sustraídos de las soluciones para escurrir el exceso de solución por 24 horas, después se dejó secar al aire libre y se pesaron durante dos meses hasta obtener un contenido de humedad constante.

La retención del preservante se calculó por diferencia de masas de los aros antes y después de preservar, además, para determinar la retención se tuvo que estimar el volumen de los aros por ello se midieron los diámetros de los aros y se aplicó la ecuación de Smalian.

Fórmula de Smalian:

$$V = \left(\frac{\pi}{4}\right) * \left(\frac{d_1+d_2}{2}\right)^2 * l \dots\dots\text{Ecuación 3}$$

Donde:

- V= Volumen del aro (m³).
- $\pi/4$ = Una constante equivalente a 0,7854.
- l = Longitud del aro (m).
- d₁ = Diámetro menor (m).
- d₂ = Diámetro mayor (m).

Al tener la caña de bambú un hueco en la parte interna, el volumen se obtuvo restando al volumen externo el volumen interno, lo cual se aprecia en la tabla 25, para ello se utilizó la siguiente ecuación:

$$Vt = Ve - Vi \dots\dots\text{Ecuación 4}$$

Donde:

- Vt: Volumen total m³.
- Ve: Volumen externo m³.
- Vi: Volumen interno m³.

Por lo tanto, la retención del preservante se estimó con la siguiente ecuación:

$$R = \left[\left(\frac{W_2-W_1}{V}\right) * \left(\frac{C}{100}\right)\right] \dots\dots\text{Ecuación 5}$$

Donde:

- R= Retención del preservante (kg/m³).
- W₂ = Peso del aro después de preservar (kg).
- W₁ = Peso del aro antes de preservar (kg).
- V= Volumen del aro (m³).
- C= Concentración del preservante, kg de producto activo/L de solución.

3.3.2. Determinación del porcentaje de penetración del pentaborato a 3, 5 y 7% de concentración en las secciones de nudo y entrenudo de los niveles de base, medio y ápice del culmo de *Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f., en la zona de Tingo María

Para determinar el porcentaje de penetración se adaptó la norma de American Wood Protection Association, AWP A2-05. Para esta evaluación se tuvo que cortar a la mitad los aros de 10 cm que fueron preservados, después de ello se midió con un vernier el diámetro exterior en cuatro puntos en forma de cruz para determinar la superficie total en la sección transversal del culmo, seguidamente se midió el diámetro interno para determinar la superficie vacía; después se restó el valor de la superficie total menos la superficie vacía y con ello se obtuvo la superficie de la pared del culmo, como se observa en la **Figura 3**.

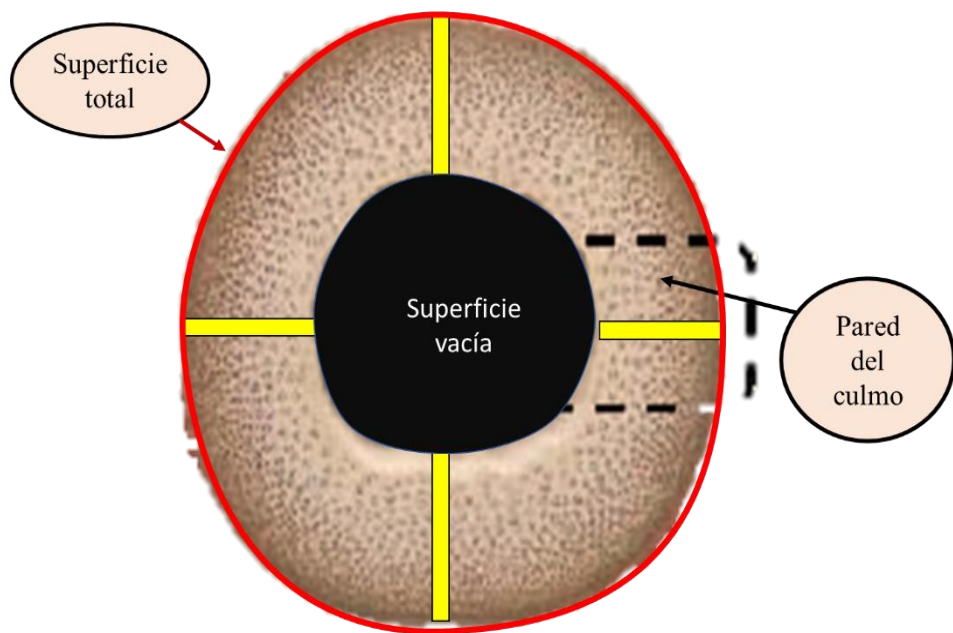


Figura 3. Superficie de la sección transversal del culmo.

La ecuación que se utilizó para determinar la superficie en la sección transversal del culmo y la superficie vacía es la siguiente:

$$St = \pi * r^2 \dots \text{Ecuación 6}$$

Donde:

St = Superficie total del culmo (cm²).

r = Radio (cm).

Luego se aplicó el método colorimétrico de reacción en boro a base de cúrcuma, según Berrocal *et al.* (2004) mencionan que este método consiste en disolver 10 g de cúrcuma en 100 ml de alcohol al 90% que sería la primera solución y en la segunda solución se mezcló 20 ml de ácido clorhídrico a una concentración de 34% en 100 ml de alcohol al 90% y a esta se agregó 6 g de ácido salicílico; después de preparar las soluciones con la ayuda de un pincel se aplicó la primera solución en cada uno de los aros en la parte transversal de la pared del culmo, luego de haber secado se aplicó la segunda solución pudiendo verse el cambio de coloración de amarillo a rojo intenso que determinó el grado de penetración. Seguidamente se estimó la superficie de la pared del culmo que penetró el preservante, con dirección desde la epidermis interna hacia la parte externa como se aprecia en la **Figura 4**.

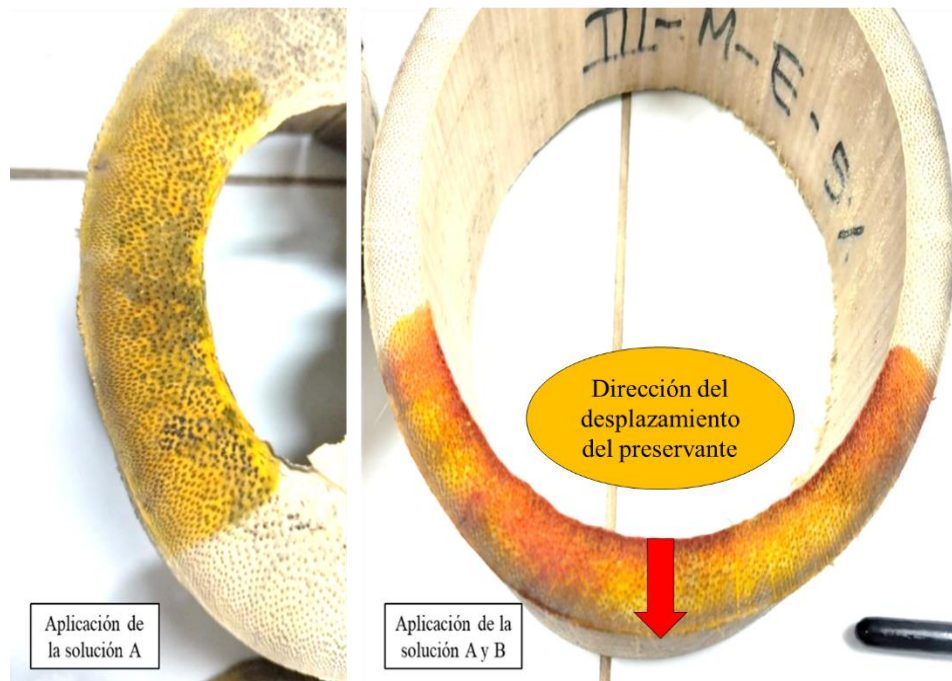


Figura 4. Penetración del preservante.

Para determinar el porcentaje de penetración se utilizó la siguiente ecuación:

$$P = (S_{PC} - S_{NC}) * 100\% \dots \text{Ecuación 7}$$

Donde:

P= Porcentaje de penetración (%).

S_{PC} = Superficie de la pared del culmo (cm^2).

S_{NC} = Superficie no coloreada (cm^2).

El resultado del porcentaje de penetración en el espesor de la pared se clasificó de acuerdo con los parámetros establecidos por Tang y Liese (2011) especificados en la **Tabla 3**.

Tabla 3. Clasificación del porcentaje de penetración en la pared del culmo.

| Grado | Penetración en la pared del culmo |
|--------------|--|
| 0 | No penetración |
| 1 | <25% |
| 2 | 25-50% |
| 3 | 50-75% |
| 4 | >75% - completo |

Fuente: Tang y Liese (2011).

Con base en la tabla 3 observamos que el grado 0 significa que no hubo penetración en la pared del culmo, si es menor a 25% será de grado 1, si es de 25% a 50% será de grado 2, si es de 50% a 75% será de grado 3 y finalmente si es mayor a 75% el grado será 4 lo cual correspondería que esté altamente preservado.

3.4. Criterios de investigación

3.4.1. Tipo y nivel de investigación

La investigación correspondió al tipo de investigación aplicada de nivel experimental, debido a que se orientó a resolver problemas concretos utilizando conocimientos existentes identificando las causas de un fenómeno y entender por qué ocurre. Asimismo, el diseño de investigación correspondió al diseño experimental por que se manipularon las variables independientes para observar su efecto en las variables dependientes bajo condiciones controladas (Hernández-Sampieri y Mendoza, 2020).

3.4.2. Población y técnica de muestreo

La población son todas las matas de *D. asper* del BRUNAS, la técnica de muestro fue no probabilístico de los cuales le eligieron cinco matas y se extrajeron un culmo por cada mata.

3.4.3. Diseño experimental

El diseño que se utilizó es de análisis trifactorial: niveles de altura (base, medio y ápice), secciones (nudo y entrenudo), concentración del pentaborato (0%, 3%, 5%, 7%); con

cinco repeticiones. El análisis de varianza se hizo a un 95% de confiabilidad, usando la prueba de Tukey.

3.4.4. Variables

a). Independientes

- Niveles de altura del culmo (base, medio y ápice).
- Concentraciones del pentaborato (3%, 5% y 7%).
- Secciones (nudo y entrenudo).

b). Dependientes

- Retención (kg/m³).
- Penetración (%).

Para el análisis de la varianza se utilizó el modelo aditivo lineal ANOVA que tiene la siguiente ecuación:

$$y_{ijk} = \mu + a_i + b_j + c_k + ab_{ij} + ac_{ik} + bc_{jk} + abc_{ijk} + e_{ijkl} \dots \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

- Y_{ijk} : Variable respuesta.
- μ : Media general
- A_i : Niveles de altura (base, medio, ápice).
- B_j : Secciones (con nudo, entrenudo).
- C_k : Concentraciones del pentaborato (0%, 3%, 5 %, 7 %).
- AB_{ij} : Interacción de la variable a y b, a niveles i, j.
- AC_{ik} : Interacción de la variable a y c, a niveles i, k.
- BC_{jk} : Interacción de la variable b y c, a niveles j, k.
- ABC_{ijk} : Interacción de la variable a, b y c, a niveles i, j, k.
- E_{ijkl} : Un componente del error aleatorio.

3.4.5. Factores evaluados

Los factores evaluados son: niveles (base, medio y ápice), secciones (nudo y entrenudo) y concentraciones del preservante (0%, 3%, 5% y 7%).

Tabla 4. Factores de estudio e interacciones de a * b * c.

| Niveles | Secciones | Concentraciones % | Interacciones |
|----------------|------------------|--------------------------|----------------------|
| Base (a1) | Nudo (b1) | 0 (c1) | a1*b1*c1 |
| | Entrenudo (b2) | 0 (c1) | a1*b2*c1 |
| | Nudo (b1) | 3 (c2) | a1*b1*c2 |
| | Entrenudo (b2) | 3 (c2) | a1*b2*c2 |
| | Nudo (b1) | 5 (c3) | a1*b1*c3 |
| | Entrenudo (b2) | 5 (c3) | a1*b2*c3 |
| | Nudo (b1) | 7 (c4) | a1*b1*c4 |
| | Entrenudo (b2) | 7 (c4) | a1*b2*c4 |
| Medio (a2) | Nudo (b1) | 0 (c1) | a2*b1*c1 |
| | Entrenudo (b2) | 0 (c1) | a2*b2*c1 |
| | Nudo (b1) | 3 (c2) | a2*b1*c2 |
| | Entrenudo (b2) | 3 (c2) | a2*b2*c2 |
| | Nudo (b1) | 5 (c3) | a2*b1*c3 |
| | Entrenudo (b2) | 5 (c3) | a2*b2*c3 |
| | Nudo (b1) | 7 (c4) | a2*b1*c4 |
| | Entrenudo (b2) | 7 (c4) | a2*b2*c4 |
| Ápice (a3) | Nudo (b1) | 0 (c1) | a3*b1*c1 |
| | Entrenudo (b2) | 0 (c1) | a3*b2*c1 |
| | Nudo (b1) | 3 (c2) | a3*b1*c2 |
| | Entrenudo (b2) | 3 (c2) | a3*b2*c2 |
| | Nudo (b1) | 5 (c3) | a3*b1*c3 |
| | Entrenudo (b2) | 5 (c3) | a3*b2*c3 |
| | Nudo (b1) | 7 (c4) | a3*b1*c4 |
| | Entrenudo (b2) | 7 (c4) | a3*b2*c4 |

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Retención del pentaborato a 3, 5 y 7% de concentración en las secciones de nudo y entrenado de los niveles de base, medio y ápice del culmo de *Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f., en la zona de Tingo María

El análisis de varianza (ANVA) mostró que los niveles, secciones y concentraciones tuvieron efectos altamente significativos en la retención de *D. asper*, con p-valores inferiores a 0,001, destacando las concentraciones (p-valor < 0,0001).

Tabla 5. Análisis de varianza de la retención (kg/m³) en niveles, secciones y concentraciones de *D. asper*.

| F.V. | SC | GL | CM | F | p-valor |
|---------------------------------|----------|-----|--------|--------|----------------------|
| Niveles | 48,83 | 2 | 24,42 | 20,59 | <0,0001** |
| Secciones | 31,56 | 1 | 31,56 | 26,62 | <0,0001** |
| Concentraciones | 1 902,41 | 3 | 634,14 | 534,82 | <0,0001** |
| Niveles*Secciones | 8,7 | 2 | 4,35 | 3,67 | 0,0291* |
| Niveles*Concentraciones | 19,49 | 6 | 3,25 | 2,74 | 0,0168* |
| Secciones*Concentraciones | 27,9 | 3 | 9,3 | 7,84 | 0,0001** |
| Niveles*Secciones*Concentración | 8,72 | 6 | 1,45 | 1,23 | 0,3000 ^{NS} |
| Error | 113,83 | 96 | 1,19 | | |
| Total | 2 161,44 | 119 | | | |

R²: 0,95; CV: 19,15%; F.V.: Factores Variables; SC: suma de cuadrados; GL: grados de libertad; CM: Cuadrados medios; **: altamente significativo; *: significativo; NS: No significativo.

Las interacciones entre niveles y secciones; niveles y concentraciones; secciones y concentraciones también fueron significativas, con p-valores de 0,0291, 0,0168 y < 0,0001, respectivamente, lo que indica que estas combinaciones influyeron en la retención. En contraste, la interacción triple de niveles, secciones y concentraciones no fue significativa (p-valor = 0,3000), como se observa en la **Tabla 5**.

Tabla 6. Análisis de varianza de los efectos simples de niveles y secciones.

| Fuente de variación | Retención (kg/m ³) | | |
|---|--------------------------------|-------|-----------|
| | GL | CM | P-valor |
| Efectos simples de los niveles en las secciones | | | |
| Niveles en nudo | 2 | 24,12 | 0,3434 NS |
| Niveles en entrenudo | 2 | 4,64 | 0,7225 NS |
| Efectos simples de las secciones en niveles | | | |
| Secciones en base | 1 | 1,12 | 0,7854 NS |
| Secciones en medio | 1 | 11,98 | 0,4307 NS |
| Secciones en ápice | 1 | 27,17 | 0,2601 NS |

GL: grados de libertad; CM: Cuadrados medios; NS: No significativo

Los efectos simples de los niveles en las secciones mostraron que para el nudo en base y el nudo en medio los p-valores son 0,3434 y 0,7225, respectivamente, lo que indica que no existieron diferencias significativas en la retención de *D. asper* entre los niveles en estas secciones. Por otro lado, los efectos simples de las secciones en los niveles revelaron que los p-valores son 0,7854 para el nudo en base, 0,4307 para el nudo en medio, y 0,2601 para el nudo en ápice, los cuales son mayores que 0,05, el cual indica que no existieron efectos significativos de las secciones en los niveles de retención. En resumen, ninguna de las interacciones dobles analizadas presentó significancia estadística, lo que sugiere que los niveles y secciones no afectan significativamente en la retención de *D. asper* cuando se consideran individualmente en estas combinaciones, como se aprecia en la **Tabla 6**.

Tabla 7. Prueba de comparación de medias de niveles en secciones.

| Clave | Promedio | Sig. |
|--------------------|----------|------|
| Base en nudo | 4,96 | a |
| Medio en nudo | 6,60 | a |
| Ápice en nudo | 7,04 | a |
| Base en entrenudo | 4,62 | a |
| Medio en entrenudo | 5,51 | a |
| Ápice en entrenudo | 5,39 | a |

La prueba de comparación de medias reveló que no existen diferencias significativas en la retención de *D. asper* entre los distintos niveles y secciones. Sin embargo, se observó que el ápice en nudo ($7,04 \text{ kg/m}^3$) presentó la mayor retención, seguido del medio en nudo ($6,6 \text{ kg/m}^3$), mientras que la base en el entrenudo ($4,62 \text{ kg/m}^3$) tuvo la menor retención y estas se muestran en la **Tabla 7** y **Figura 5**.

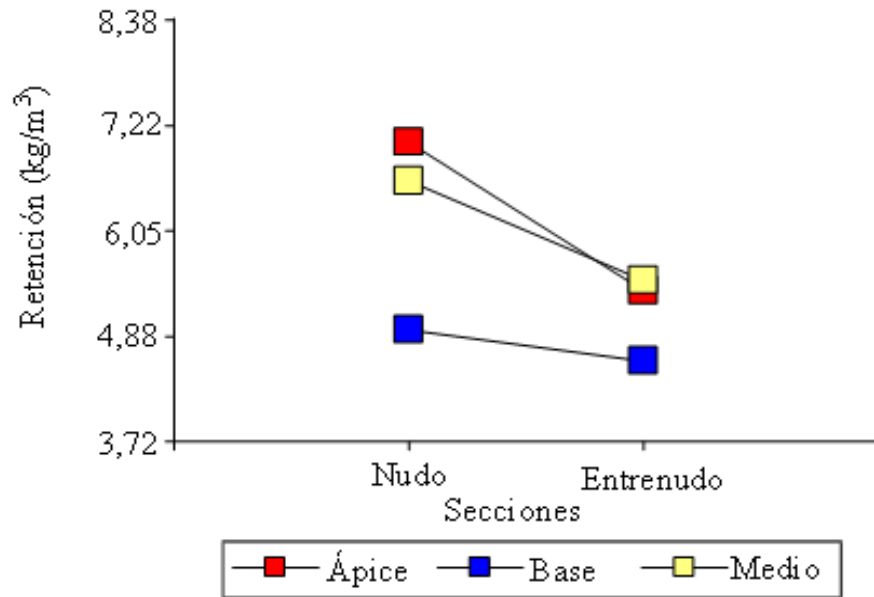


Figura 5. Comparación de medias de niveles en secciones en la retención.

Tabla 8. Prueba de comparación de medias de secciones en niveles.

| Clave | Promedio | Sig. |
|--------------------|----------|------|
| Nudo en base | 4,96 | a |
| Entrenudo en base | 4,62 | a |
| Nudo en medio | 6,60 | a |
| Entrenudo en medio | 5,51 | a |
| Nudo en ápice | 7,04 | a |
| Entrenudo en ápice | 5,39 | a |

La prueba de comparación de medias reveló que para secciones en niveles no hay diferencias significativas en la retención de los distintos nudos y entrenudos. Los promedios fueron: $4,96 \text{ kg/m}^3$ (nudo en base), $4,62 \text{ kg/m}^3$ (entrenudo en base), $6,60 \text{ kg/m}^3$ (nudo en medio), $5,51 \text{ kg/m}^3$ (entrenudo en medio), $7,04 \text{ kg/m}^3$ (nudo en ápice) y $5,39 \text{ kg/m}^3$ (entrenudo en ápice). Se observa que el nudo en ápice presentó la mayor retención ($7,04$

kg/m³), seguido del nudo en medio (6,60 kg/m³), mientras que el entrenudo en base tuvo la menor retención (4,62 kg/m³), estas interacciones se aprecian en la **Tabla 8** y **Figura 6**.

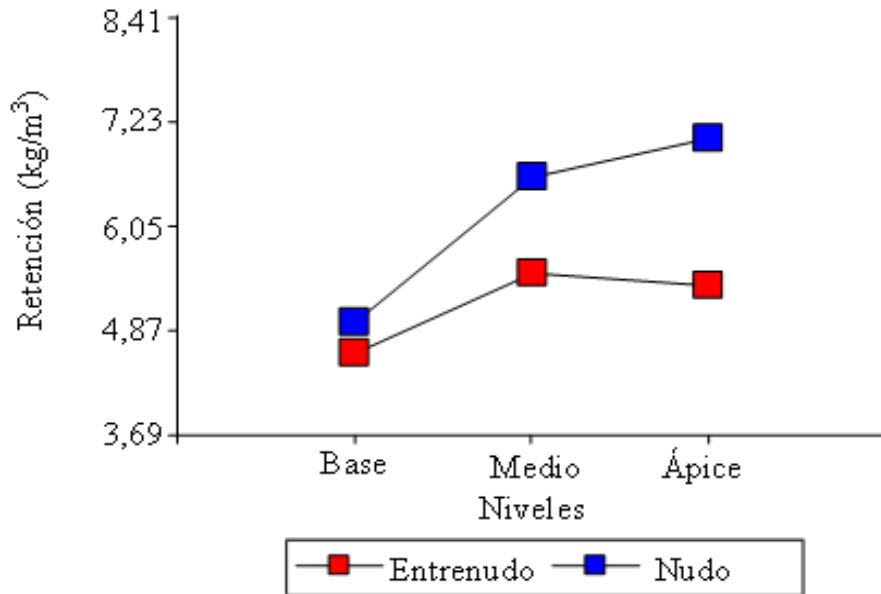


Figura 6. Comparación de medias de secciones en niveles en la retención.

Tabla 9. Análisis de varianza de los efectos simples de niveles y concentración.

| Fuente de variación | Retención (kg/m ³) | | |
|---|--------------------------------|--------|-----------|
| | GL | CM | P-valor |
| Efectos simples de los niveles en concentraciones | | | |
| Niveles en 0% | 2 | 0,00 | Sd |
| Niveles en 3% | 2 | 11,42 | 0,0066 ** |
| Niveles en 5% | 2 | 7,76 | 0,0266 * |
| Niveles en 7% | 2 | 14,98 | 0,0204 * |
| Efectos simples de concentraciones en niveles | | | |
| Concentraciones en base | 3 | 166,64 | 0,0001 ** |
| Concentraciones en medio | 3 | 224,34 | 0,0001 ** |
| Concentraciones en ápice | 3 | 249,66 | 0,0001 ** |

GL: grados de libertad; CM: Cuadrados medios; **: altamente significativo; *: significativo; Sd: Sin diferencia significativa.

El análisis de varianza de los efectos simples de niveles y concentraciones indicaron que hay diferencias significativas en la retención de *D. asper* según los niveles en las concentraciones de 3%, 5% y 7%, con p-valores de 0,0066, 0,0266 y 0,0204 respectivamente.

Sin embargo, en la concentración del 0%, no se observó efecto significativo (p-valor no disponible). Por otro lado, las concentraciones en base, medio y ápice presentaron efectos altamente significativos, con p-valores de 0,0001 para cada una, lo que sugiere que las concentraciones influyen notablemente en la retención de *D. asper*. En resumen, tanto los niveles en concentraciones específicas como las concentraciones en sí tuvieron un impacto significativo en la retención, como se observa en **Tabla 9**.

Tabla 10. Prueba de comparación de medias de los niveles en las concentraciones.

| Clave | Promedio | Sig. |
|-------------|----------|------|
| Base en 0% | 0,00 | a |
| Medio en 0% | 0,00 | a |
| Ápice en 0% | 0,00 | a |
| Base en 3% | 3,11 | b |
| Medio en 3% | 5,09 | a |
| Ápice en 3% | 4,79 | a |
| Base en 5% | 6,73 | b |
| Medio en 5% | 7,98 | ab |
| Ápice en 5% | 8,43 | a |
| Base en 7% | 9,31 | b |
| Medio en 7% | 11,15 | ab |
| Ápice en 7% | 11,63 | a |

La prueba de comparación de medias indicó que la concentración del 0% no tuvo retención. En el 3%, el medio (5,09 kg/m³) tuvo mayor retención que la base (3,11 kg/m³), aunque el ápice (4,79 kg/m³) no fue significativamente diferente del medio. En el 5%, el ápice (8,43 kg/m³) mostró mayor retención, seguido del medio (7,98 kg/m³), que fue significativamente mayor que la base (6,73 kg/m³). En el 7%, el ápice (11,63 kg/m³) tuvo la mayor retención, seguido del medio (11,15 kg/m³), ambos significativamente mayores que la base (9,31 kg/m³). En resumen, los niveles en ápice en todas las concentraciones superiores (3%, 5% y 7%) presentaron las mayores retenciones estadísticamente como se evidencia en la **Tabla 10** y **Figura 7**.

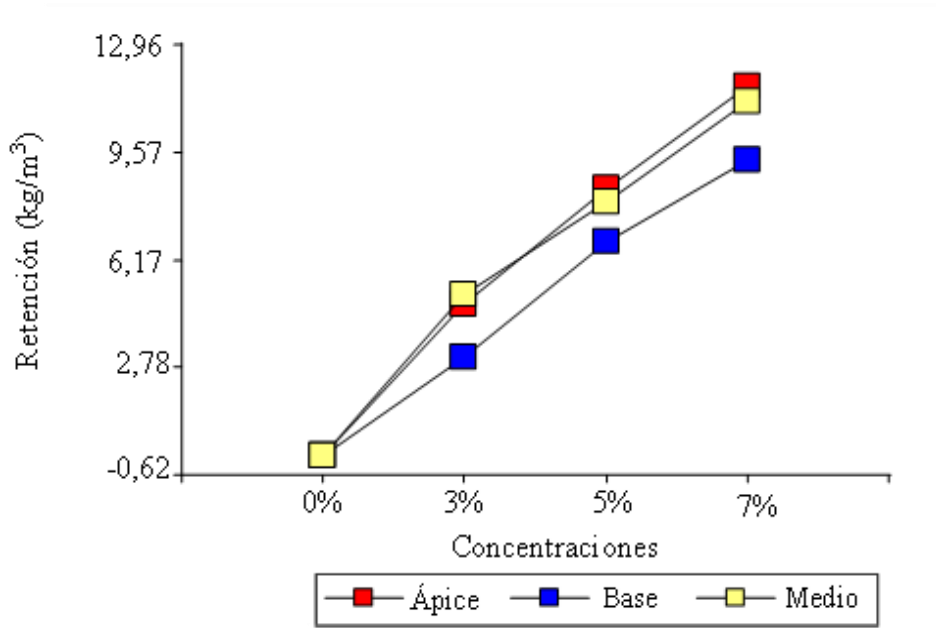


Figura 7. Comparación de medias de los niveles en las concentraciones.

Tabla 11. Prueba de comparación de medias de concentraciones en los niveles.

| Clave | Promedio | Sig. |
|-------------|----------|------|
| 0% en base | 0,00 | d |
| 3% en base | 3,11 | c |
| 5% en base | 6,73 | b |
| 7% en base | 9,31 | a |
| 0% en medio | 0,00 | d |
| 3% en medio | 5,09 | c |
| 5% en medio | 7,98 | b |
| 7% en medio | 11,15 | a |
| 0% en ápice | 0,00 | d |
| 3% en ápice | 4,79 | c |
| 5% en ápice | 8,43 | b |
| 7% en ápice | 11,63 | a |

La prueba de comparación de medias en la concentración del 3%, el medio (5,09 kg/m³) fue significativamente mayor que la base (3,11 kg/m³) y el ápice (4,79 kg/m³) fue

intermedio, pero no superó al nivel medio. En el 5%, el ápice (8,43 kg/m³) y el medio (7,98 kg/m³) fue significativamente mayor que la base (6,73 kg/m³). En el 7%, tanto el medio (11,15 kg/m³) como el ápice (11,63 kg/m³) fueron significativamente mayores que la base (9,31 kg/m³), como se muestra en **Tabla 11**.

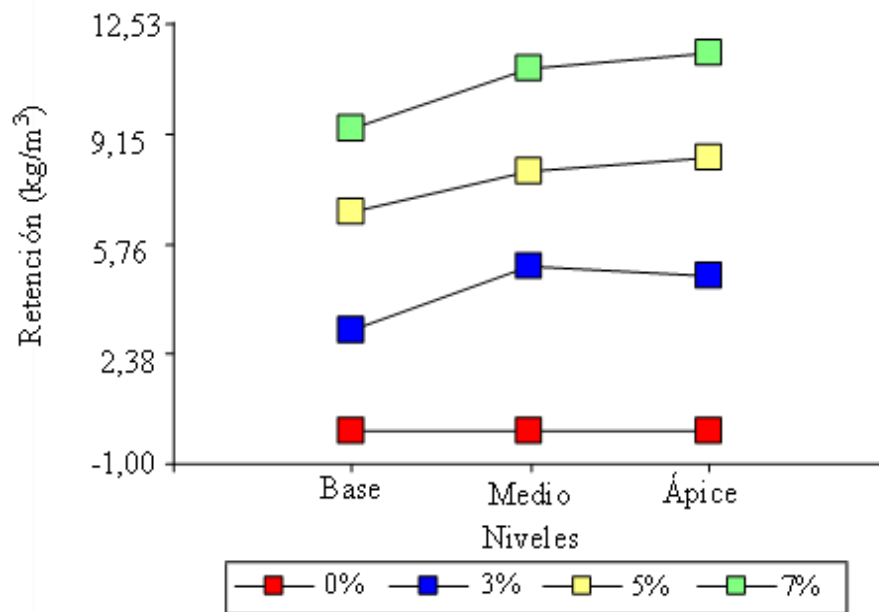


Figura 8. Comparación de medias de concentraciones en los niveles.

En resumen, en cada concentración superior, el nivel en ápice y el medio fueron estadísticamente los más altos, especialmente en el 7%, donde el ápice (11,63 kg/m³) tuvo la mayor retención como se observa en la **Figura 8**.

Haciendo una comparación con Landauro (2010) quien caracterizó la preservación en *Guadua angustifolia* Kunth y determinó que el tiempo de 72 y 108 horas de inmersión fue determinante para no presentar daños en el bambú, sin embargo, la concentración que usó solo fue de 2%, los cuales fueron efectivas; determinó también que la retención efectiva fue de 0,547 kg/m³ anhidro lo cual no coinciden con nuestros resultados obtenidos ya que la concentración mínima que usamos fue del 3% y la retención en la base del culmo fue el menor en todos los niveles con 3,11 kg/m³.

Tabla 12. Análisis de varianza de los efectos simples de las secciones y concentraciones.

| Fuente de variación | Retención (kg/m ³) | | |
|---|--------------------------------|--------|-----------|
| | GL | CM | P-valor |
| Efectos simples de las secciones en concentraciones | | | |
| Secciones en 0% | 1 | 0 | Sd |
| Secciones en 3% | 1 | 0,13 | 0,8223 NS |
| Secciones en 5% | 1 | 25,74 | 0,0002 ** |
| Secciones en 7% | 1 | 33,59 | 0,0026 * |
| Efectos simples de concentraciones en secciones | | | |
| Concentraciones en nudo | 3 | 392,65 | 0,0001 ** |
| Concentraciones en entrenudo | 3 | 250,79 | 0,0001 ** |

GL: grados de libertad; CM: Cuadrados medios; **: altamente significativo; *: significativo; Sd: Sin diferencia significativo; NS: No significativo.

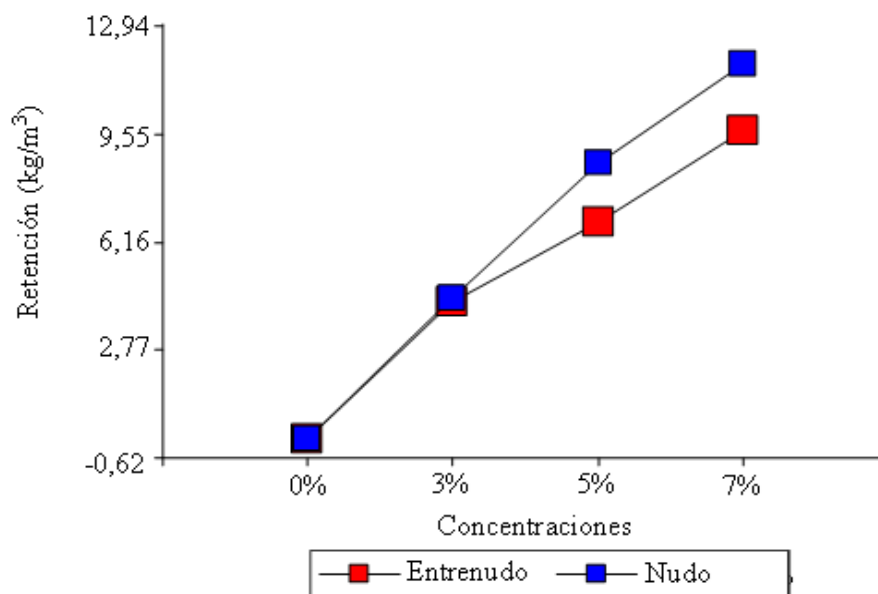
El análisis de varianza de los efectos simples de las secciones y concentraciones, en la concentración del 3% las secciones no presentaron efecto significativo (p-valor = 0,8223). En contraste, en las concentraciones de 5 y 7%, las secciones mostraron efectos significativos, con p-valores de 0,0002 y 0,0026, respectivamente, lo que indica que las secciones tuvieron un impacto en la retención en estas concentraciones. Por otro lado, las concentraciones en nudos y entrenudos tuvieron efectos altamente significativos, con p-valores de 0,0001, lo cual refiere que las concentraciones afectaron notablemente la retención de *D. asper* en ambos tipos de secciones. En resumen, las secciones fueron relevantes en la retención solo en las concentraciones (5 y 7%), mientras que las concentraciones en general tuvieron un efecto significativo en la retención, como se muestra en la **Tabla 12**.

Por su lado, Pinzón (2006) demostró en su investigación que la retención de sales en la guadua que preservó influyó la concentración de la solución preservante, la humedad y la densidad, mientras que el tiempo de inmersión actuó como variable importante en el proceso y puede marcar una tendencia que indica mejores retenciones del preservante a mayor tiempo de inmersión, logrando ser significativo el efecto para concentraciones de 3% y 6% respectivamente.

Tabla 13. Prueba de comparación de medias de las secciones en concentraciones.

| Clave | Promedio | Sig. |
|-----------------|----------|------|
| Nudo en 0% | 0,00 | a |
| Entrenudo en 0% | 0,00 | a |
| Nudo en 3% | 4,40 | a |
| Entrenudo en 3% | 4,26 | a |
| Nudo en 5% | 8,64 | a |
| Entrenudo en 5% | 6,79 | b |
| Nudo en 7% | 11,76 | a |
| Entrenudo en 7% | 9,64 | b |

La prueba de comparación de medias en la concentración del 3%, tanto para nudo como para entrenudo ambos fueron categorizados como significativamente inferiores, el nudo ($4,40 \text{ kg/m}^3$) fue ligeramente superior al entrenudo ($4,26 \text{ kg/m}^3$), pero no presentó diferencias significativas. En la concentración de 5%, el nudo ($8,64 \text{ kg/m}^3$) tuvo una retención significativamente mayor que el entrenudo ($6,79 \text{ kg/m}^3$). Finalmente, en la concentración de 7%, el nudo ($11,76 \text{ kg/m}^3$) también fue significativamente mayor que el entrenudo ($9,64 \text{ kg/m}^3$), lo cual se aprecia en la **Tabla 13**.

**Figura 9.** Comparación de medias de las secciones en concentraciones.

En resumen, en las concentraciones de 5 y 7% los nudos presentaron mayores retenciones estadísticamente que los entrenudos como se observa en la **Figura 9**.

Al realizar la comparación con Pinzón (2006), donde realizó un estudio del proceso de preservación en *G. angustifolia* y encontró un promedio de retención de 5,3 kg/m³ con una desviación estándar de 4,1 kg/m³; asimismo, los valores máximo y mínimo fueron 15,01 kg/m³ y 0,65 kg/m³, para concentraciones de soluciones mayores al 6% obtuvo retenciones en un rango adecuado 1 a 4 kg/m³ equivalente de ácido bórico; lo cual es menor referente a nuestros resultados.

Tabla 14. Prueba de comparación de medias de concentraciones en las secciones.

| Clave | Promedio | Sig. |
|-----------------|----------|------|
| 0% en nudo | 0,00 | D |
| 3% en nudo | 4,40 | C |
| 5% en nudo | 8,64 | b |
| 7% en nudo | 11,76 | a |
| 0% en entrenudo | 0,00 | d |
| 3% en entrenudo | 4,26 | c |
| 5% en entrenudo | 6,79 | b |
| 7% en entrenudo | 9,64 | a |

La prueba de comparación de medias para concentraciones en las secciones reveló que en la concentración del 0% no hubo retención, con promedios de 0,00 kg/m³ tanto para nudos como entrenudos, categorizados como significativamente inferiores. En la concentración del 3%, el nudo (4,40 kg/m³) fue ligeramente superior al entrenudo (4,26 kg/m³), pero ambos no mostraron diferencias significativas. En la concentración del 5%, el nudo (8,64 kg/m³) tuvo una retención significativamente mayor que el entrenudo (6,79 kg/m³). En la concentración del 7%, el nudo (11,76 kg/m³) también fue significativamente mayor que el entrenudo (9,64 kg/m³). En resumen, a medida que aumentan las concentraciones, los nudos presentaron mayores retenciones estadísticamente significativas en comparación con los entrenudos, especialmente en las concentraciones de 5 y 7% como se observa en la **Tabla 14**.

En ese sentido Sotomayor-Castellanos y Villaseñor (2016) evidenció que los valores promedio de retención de sales de boro aplicados en madera superaron el límite inferior tóxico, establecido en un rango de retención de 0,2 kg/m³ a 4,7 kg/m³, siendo muy un hallazgo

muy relevante, ya que garantiza la efectividad del tratamiento de preservación y sugiere que las condiciones que se establezcan para el proceso fueron adecuadas para cumplir con los estándares de protección de la madera; lo cual al comparar con nuestros resultados se pueden decir que las concentraciones de 3%, 5% y 7% son efectivos para evitar daños en el bambú.

Por su lado, Simisterra *et al.* (2022) mencionan que la retención es nula (An) cuando presentan niveles menores a 4 kg/m^3 , mala absorción (Am) cuando es de 4 a 8 kg/m^3 de producto activo retenido, buena absorción (Ab) de 8 a 10 kg/m^3 y muy alta (Aa) mayor de 10 kg/m^3 ; lo cual coincide con nuestros resultados obtenidos; además, en su investigación concuerdan que a partir de 60 horas de inmersión a una concentración de 4% de pentaborato pudo obtener una absorción buena (Ab) lo que significó una buena retención del preservante; por último, obtuvieron niveles de retención superiores a los 10 kg/m^3 lo que significó una absorción alta.

Por otra parte, Farje (2018) corrobora con Simisterra *et al.* (2022) al determinar la eficacia de dos soluciones preservantes a base de boro (octaborato de sodio y ácido bórico – bórax) para evitar el ataque de termitas en especie de *Pinus oocarpa*, y también utilizó el método de inmersión. Al exponer las muestras preservadas a las termitas demostró que la albura y duramen de la madera son susceptibles al ataque de termitas y también determinó la retención límite tóxica para ambos preservantes, siendo esta de 4 kg/m^3 . A su vez, al evaluar diferentes tiempos de inmersión, determinó que el tiempo mínimo para obtener una retención de 4 kg/m^3 en la albura es de 64 horas y para el duramen es de 96 horas.

Mientras que Zaldívar *et al.* (2014) preservaron bambú por el método de inmersión y determinaron que la cantidad ideal de pentaborato es de 2,61 kg por 100 L de agua sujeto a inmersión por 4 días para obtener mayor retención; lo que equivale a un 2,6% de concentración; al comparar con nuestros resultados coinciden porque a concentración de 3% en el nudo retuvo $4,40 \text{ kg/m}^3$ siendo ligeramente superior a la sección del entrenudo con $4,26 \text{ kg/m}^3$. Al 5%, en el nudo se obtuvo $8,64 \text{ kg/m}^3$ de retención que fue mayor al entrenudo con $6,79 \text{ kg/m}^3$. En la concentración del 7%, en el nudo se tuvo un $11,76 \text{ kg/m}^3$ también fue significativamente mayor que en el entrenudo con $9,64 \text{ kg/m}^3$ de retención de sales de pentaborato como se muestra en la **Figura 10**.

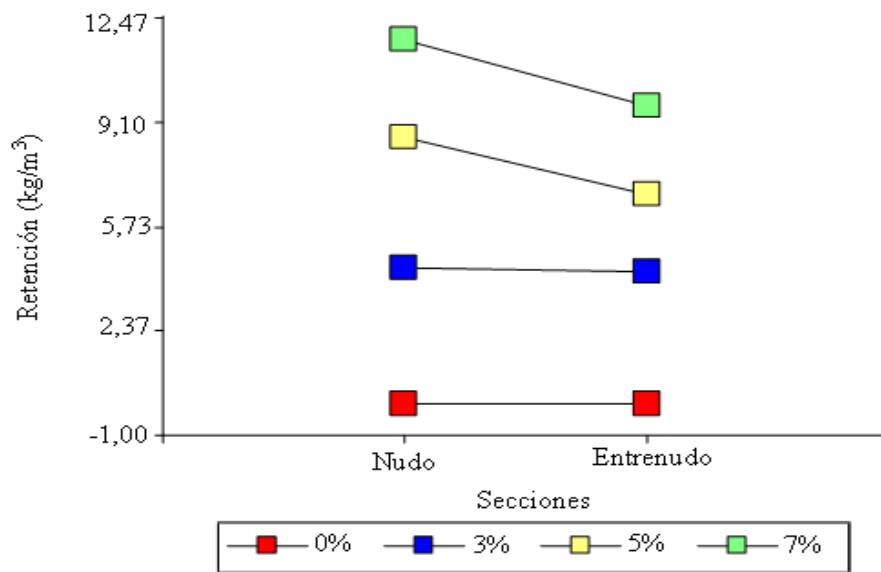


Figura 10. Comparación de medias de concentraciones en las secciones.

4.2. Porcentaje de penetración del pentaborato a 3, 5 y 7% de concentración en las secciones de nudo y entrenudo de los niveles de base, medio y ápice del culmo de *Dendrocalamus asper* (Schult. f.) Backer ex K. Heyne f., en la zona de Tingo María

Tabla 15. Análisis de varianza de la penetración (%) en niveles, secciones y concentraciones en *D. asper*.

| F.V. | SC | GL | CM | F | p-valor |
|------------------------------------|----------|-----|----------|--------|------------|
| Niveles | 2068,71 | 2 | 1034,35 | 6,91 | 0,0016 * |
| Secciones | 15800,11 | 1 | 15800,11 | 105,55 | <0,0001 ** |
| Concentraciones | 34676,91 | 3 | 11558,97 | 77,22 | <0,0001 ** |
| Niveles*Secciones | 2821,98 | 2 | 1410,99 | 9,43 | 0,0002 ** |
| Niveles*Concentraciones | 1073,64 | 6 | 178,94 | 1,2 | 0,3154 NS |
| Secciones*Concentraciones | 7019,94 | 3 | 2339,98 | 15,63 | <0,0001 ** |
| Niveles*Secciones*Concentraciones. | 1269,88 | 6 | 211,65 | 1,41 | 0,2172 NS |
| Error | 14370,53 | 96 | 149,69 | | |
| Total | 79101,7 | 119 | | | |

R2: 0,95; CV: 19,15%; F.V.: Factores Variables; SC: suma de cuadrados; GL: grados de libertad; CM: Cuadrados medios; **: altamente significativo; *: significativo; NS: No significativo.

Los resultados del ANOVA indicaron que los factores niveles, secciones y concentraciones afectaron significativamente en la penetración del preservante en *D. asper*, con p-valores de 0,0016, <0,0001 y <0,0001, respectivamente. Además, la interacción entre niveles y secciones también fue significativa (p-valor: 0,0002), mientras que las interacciones entre niveles y concentraciones (p-valor: 0,3154) y entre niveles, secciones y concentraciones (p-valor: 0,2172) no fueron significativas. Esto demuestra que las diferencias en la penetración dependerán de cómo se combinan los niveles y secciones, más no de la combinación de niveles y concentraciones, como se aprecia en la **Tabla 15**.

Tabla 16. Análisis de varianza de los efectos simples de niveles y secciones con respecto a la penetración (%).

| Fuente de variación | Penetración (%) | | |
|---|-----------------|----------|-----------|
| | GL | CM | P-valor |
| Efectos simples de los niveles en secciones | | | |
| Niveles en nudo | 2 | 2172,08 | 0,0864 NS |
| Niveles en entrenudo | 2 | 273,26 | 0,219 NS |
| Efectos simples de las secciones en niveles | | | |
| Secciones en base | 1 | 1072,07 | 0,0641 NS |
| Secciones en medio | 1 | 6023,96 | 0,0038 * |
| Secciones en ápice | 1 | 11526,06 | 0,0001** |

GL: grados de libertad; CM: Cuadrados medios; **: altamente significativo; *: significativo; NS: No significativo.

En los resultados del ANOVA se observan que para los efectos simples de niveles y secciones en la penetración (%) para el nivel nudo, el p-valor fue 0,0864, lo que indicó que no hubo diferencia significativa. En el caso del nivel entrenudo, el p-valor fue de 0,219, también sin significancia. Sin embargo, al analizar las secciones en base, con p-valor de 0,0641 presentó una tendencia hacia la significancia, mientras que las secciones en medio y ápice presentaron p-valores de 0,0038 y 0,0001, respectivamente, indicando que estas secciones tuvieron un efecto significativo en la penetración del preservante. En resumen, las secciones en medio y ápice son los que mostraron un alto impacto en la penetración, mientras que los niveles no mostraron diferencias significativas en las secciones analizadas, lo cual se aprecia en la **Tabla 16**.

Al respecto Morales-Pinzón *et al.* (2012), en su investigación determinaron que la penetración del preservante aplicado en *G. angustifolia* rolliza fue 100% a una concentración

de 5%; además, refieren que la zona de mayor penetración suele variar en función de las características físicas del material preservado lo cual puede ser el diámetro, el espesor de pared del culmo, asimismo, las condiciones iniciales de preservación como el contenido de humedad antes de la inmersión.

Tabla 17. Prueba de comparación de medias de niveles en secciones de la penetración (%).

| Clave | Promedio | Sig. |
|--------------------|----------|------|
| Base en nudo | 25,42 | a |
| Medio en nudo | 42,33 | a |
| Ápice en nudo | 44,42 | a |
| Base en entrenudo | 15,06 | a |
| Medio en entrenudo | 17,78 | a |
| Ápice en entrenudo | 10,47 | a |

En la prueba de comparación de medias los nudos mostraron los siguientes valores: ápice (44,42%) quien presentó el valor más alto, seguido del medio (42,33%) y la base (25,42%). En cuanto a los entrenudos, la base (15,06%) tuvo la mayor penetración, seguida del medio (17,78%) y el ápice (10,47%). Por lo tanto, estadística y numéricamente el nudo en ápice presentó la mayor penetración, mientras que el entrenudo en el nivel base fue el más alto dentro de su categoría como se observa en la **Tabla 17** y **Figura 11**.

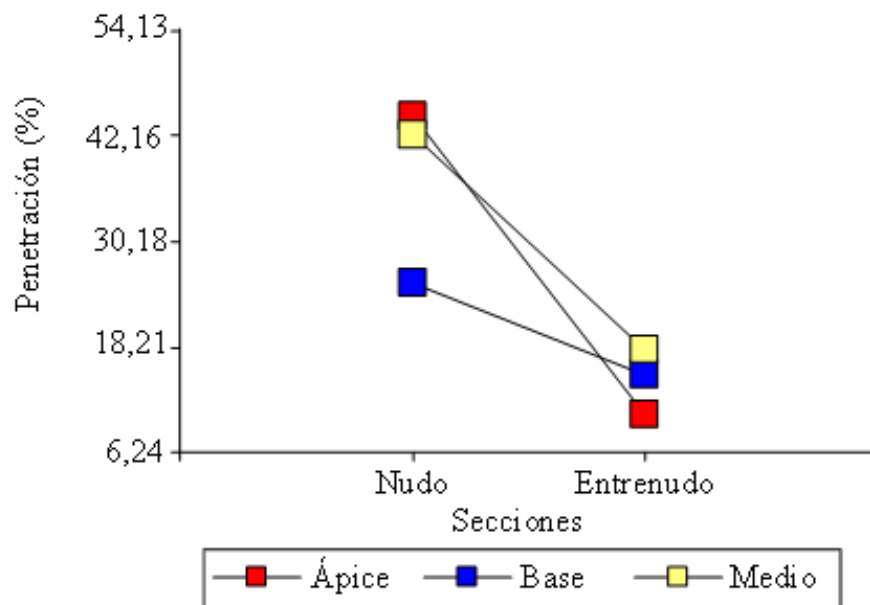
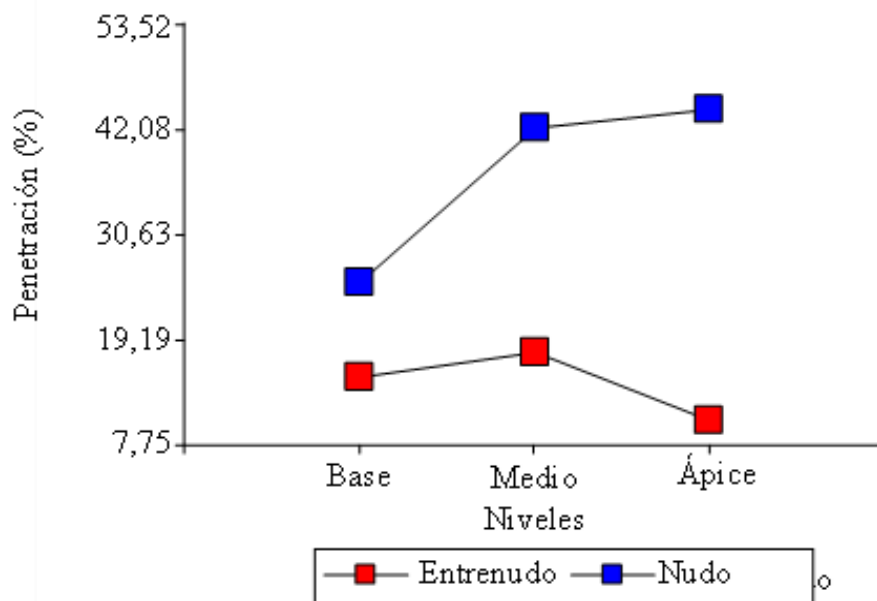


Figura 11. Comparación de niveles en secciones de la penetración (%).

Tabla 18. Prueba de comparación de secciones en niveles de penetración (%).

| Clave | Promedio | Sig. |
|--------------------|----------|------|
| Nudo en base | 25,42 | a |
| Entrenudo en base | 15,06 | a |
| Nudo en medio | 42,33 | a |
| Entrenudo en medio | 17,78 | b |
| Nudo en ápice | 44,42 | a |
| Entrenudo en ápice | 10,47 | b |

En la prueba de comparación de secciones en niveles de penetración (%), el nudo en ápice (44,42%) fue el más alto tanto estadística como numéricamente, seguidamente del nudo en medio (42,33%) y luego el nudo en base (25,42%). Por otro lado, el entrenudo en medio (17,78%) superó al entrenudo en ápice (10,47%), como se aprecia en la **Tabla 18**.

**Figura 12.** Comparación de secciones en niveles de la penetración (%).

Por lo tanto, el nudo en ápice presentó la mayor penetración, mientras que el entrenudo en nivel medio fue el más alto lo cual se observa en la **Figura 12**.

Por su parte Pinzón (2006), también encontró diferencias significativas en la penetración ($p < 0,005$) con respecto a las concentraciones. Además, determinó que existe efecto significativo del espesor de la pared del culmo en la penetración, debido a que existe una mayor porosidad y menor densidad en la parte interna del culmo en dirección hacia la

parte externa lo que dificulta la penetración óptima del preservante; para ello realizó una comparación de los niveles que fueron extraídos las muestras tanto como la parte basal y el ápice de guadua, encontrando mayores penetraciones en la base con respecto al ápice, indicando que efectivamente la pared más ancha presente en la base y de baja densidad permiten una mayor penetración del preservante.

Tabla 19. Análisis de varianza de los efectos simples de las secciones y concentraciones de la penetración (%).

| Fuente de variación | Penetración (%) | | |
|---|-----------------|-----------|------------|
| | GL | CM | P-valor |
| Efectos simples de las secciones en concentraciones | | | |
| Secciones en 0% | 1 | 0,0000 | Sd |
| Secciones en 3% | 1 | 3 358,18 | 0,0005 ** |
| Secciones en 5% | 1 | 5 982,45 | 0,0001 ** |
| Secciones en 7% | 1 | 1 3479,43 | <0,0001 ** |
| Efectos simples de concentraciones en secciones | | | |
| Concentraciones en nudo | 3 | 1 2145,07 | 0,0001 ** |
| Concentraciones en entrenudo | 3 | 1 753,88 | 0,0001 ** |

GL: grados de libertad; CM: Cuadrados medios; **: altamente significativo; Sd: Sin significancia.

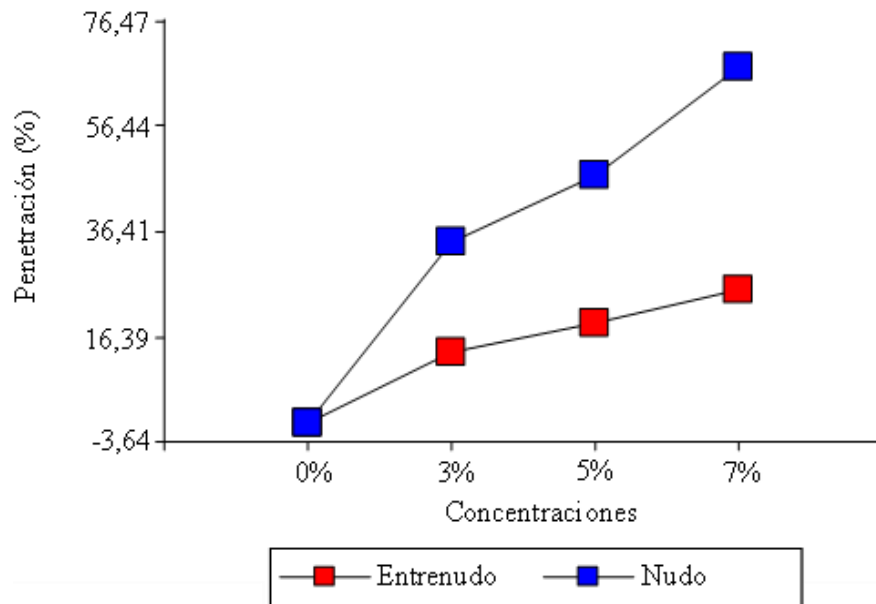
El ANOVA de los efectos simples de secciones y concentraciones en la penetración (%) mostraron que las secciones en 3%, 5% y 7% tienen p-valores de 0,0005, 0,0001 y <0,0001, respectivamente, indicando diferencias significativas en la penetración a medida que aumenta la concentración. En cuanto a las concentraciones, en nudos y entrenudos, presentaron un p-valor de 0,0001 lo que indicaron diferencias significativas. En resumen, tanto la ubicación de las secciones como la concentración del preservante son factores claves que afectan la penetración en el *D. asper* como se observa en la **Tabla 19**.

Por su lado Landauro (2010) determinó que la penetración del preservante (concentración de 2%) es parcial tanto para cañas perforadas y sin perforar sumergidas en solución por 24 y 36 horas y para cañas sin perforar sumergidas por 72 y 108 horas; sin embargo, en cañas perforadas sumergidas a solución de pentaborato durante 72 y 108 horas obtuvo una penetración total.

Tabla 20. Prueba de comparación de medias de las secciones en concentraciones.

| Clave | Promedio | Sig. |
|-----------------|----------|------|
| Nudo en 0% | 0,00 | a |
| Entrenudo en 0% | 0,00 | a |
| Nudo en 3% | 34,59 | a |
| Entrenudo en 3% | 13,43 | b |
| Nudo en 5% | 47,10 | a |
| Entrenudo en 5% | 18,85 | b |
| Nudo en 7% | 67,87 | a |
| Entrenudo en 7% | 25,47 | b |

La prueba de comparación de medias de las secciones en concentraciones del promedio de la penetración (%) son: el nudo en 7% tuvo la mayor penetración con 67,87%, seguido por el nudo en 5% con 47,10%. El nudo en 3% presentó un promedio de 34,59%. En cuanto a los entrenudos, el entrenudo en 7% tuvo un promedio de 25,47%, el entrenudo en 5% mostró 18,85% y el entrenudo en 3% presentó 13,43%. Tanto los nudos como los entrenudos en 0% tuvieron un promedio de 0,00%, como se observa en la **Tabla 20**.

**Figura 13.** Comparación de medias de las secciones en concentraciones de la penetración (%).

Estadísticamente, el nudo en 7% fue el más alto en penetración, superando significativamente a todos los demás grupos, lo cual se aprecia en la **Figura 13**.

Mientras que Simisterra *et al.* (2022) con respecto a la penetración evidenciaron que la coloración deseada es a partir de 48 horas de inmersión en solución del preservante a una concentración de 4%, que alcanzó un 13,3% y 6,7% con respecto al área del espesor del culmo; para la inmersión de 60 horas observaron un 40% y 33,3% de grado de penetración; sin embargo, obtuvieron el 100% de penetración a 72 y 84 horas de tiempo de inmersión lo cual es un nivel alto o total de penetración.

Tabla 21. Prueba de comparación de medias de concentraciones en secciones de la penetración (%).

| Clave | Promedio | Sig. |
|-----------------|----------|------|
| 0% en nudo | 0,00 | c |
| 3% en nudo | 34,59 | b |
| 5% en nudo | 47,10 | b |
| 7% en nudo | 67,87 | a |
| 0% en entrenudo | 0,00 | c |
| 3% en entrenudo | 13,43 | b |
| 5% en entrenudo | 18,85 | ab |
| 7% en entrenudo | 25,47 | a |

La prueba de comparación de medias de concentraciones en secciones, donde se observa que el nudo en 7% presentó la mayor penetración con un promedio de 67,87%, seguido por el nudo en 5% con 47,10% y el nudo en 3% con 34,59%. Además, los promedios de penetración para los entrenudos fueron inferiores, con el entrenudo en 7% que alcanzó un 25,47%, el entrenudo en 5% con 18,85% y el entrenudo en 3% con 13,43%. Asimismo, el nudo y el entrenudo en 0%, tuvieron un promedio de 0,00%. Estadísticamente, el nudo en 7% fue el más destacado, superando significativamente a los demás grupos como se observa en la **Tabla 21** y **Figura 14**.

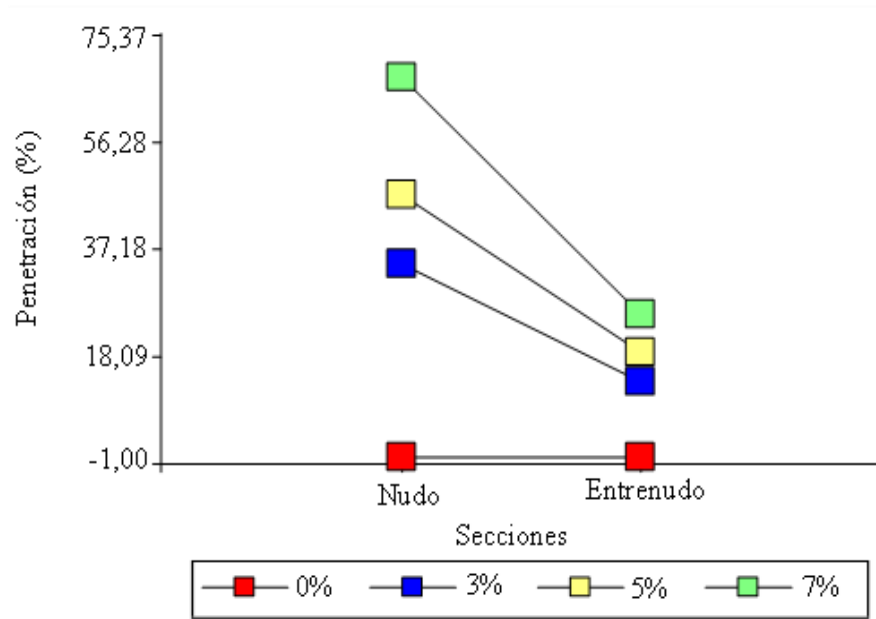


Figura 14. Comparación de medias de concentraciones en secciones de la penetración (%).

Morales *et al.* (2012) también determinaron que el porcentaje de penetración a una concentración del 5% fue de 41%, pero también encontró valores mayores a 90% en dos muestras; del mismo modo observaron que en los diferentes rangos de retención hubo alto porcentaje de penetración, lo que demostraron que la penetración no depende de la concentración de la solución.

Asimismo, Berrocal *et al.* (2004) consideran que, para una penetración adecuada el preservante debe haber alcanzado al menos la mitad del espesor de la pieza de madera tratada. Por su parte Zaldívar *et al.*, (2014) afirma que esta tonalidad es un indicador para determinar si la caña tiene un nivel alto de retención del preservante y las áreas que se encuentren impregnadas de este color reflejarán el nivel de penetración de la muestra.

V. CONCLUSIONES

1. La retención (kg/m^3) evaluada a diferentes niveles de altura, secciones y concentraciones de pentaborato, se encontró diferencias estadísticas en los efectos simples en algunas interacciones, donde los niveles en nudos no se registró diferencias estadísticas, pero numéricamente fue superior en la sección del nudo obtenido del nivel medio y ápice con valores de 7,04 y 6,60 kg/m^3 respectivamente; mientras, que los niveles en concentraciones se reportó valores superiores estadística y numéricamente a una concentración del 7% y en el nivel del ápice y medio con valores de 11,63 y 11,15 kg/m^3 . Con respecto a las secciones y concentraciones se reportó diferencias estadísticas al utilizar concentraciones de 5% y 7% en aros obtenidas del nudo con valores de 8,64 y 11,76 kg/m^3 .
2. En la penetración (%) no se reportó diferencias estadísticas de los niveles en secciones pero numéricamente fue en el nivel del ápice de la sección nudo con 44, 42% de penetración, y los aros de entrenudo obtuvo valores superiores numéricamente en el nivel medio con 17,78%; mientras, que las secciones y concentraciones se obtuvo diferencias estadísticas siendo superior en aros con nudos a una concentración del 7 y 5% con valores de 67,87% y 47,10%; asimismo, no se reportó influencia de los niveles de altura utilizando distintas concentraciones.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

- Realizar estudios de preservación en especies nativas de nuestro país para incrementar la vida útil y el uso del bambú en las comunidades de nuestra región.
- Implementar una normativa técnica peruana que regule el proceso de preservación y otros ensayos con respecto a la utilidad del *Dendrocalamus asper*.
- Gestionar la creación de un Laboratorio de Preservación de Materiales Lignocelulósicos implementado con equipos y tecnologías que permitan continuar con más investigaciones de diferentes especies de bambú y características de preservación.
- Realizar investigaciones evaluando otras variables como el tiempo de preservación, los tipos de preservante, métodos de preservación, especies de bambú y entre otros.
- Ampliar el área de estudio a otras regiones productoras de bambú, para complementar la información del efecto del pentaborato en *Dendrocalamus asper* aplicando agentes degradadores como insectos y hongos xilófagos.

VII. REFERENCIAS

- Añazco, M., & Rojas, S. (2015). Estudio de la cadena desde la producción al consumo del bambú en Ecuador con énfasis en la especie *Guadua angustifolia*. *INBAR, Quito*.
- American Wood Preservers Association. AWP. (2005). *Book of Standards*. 233 p.
- Berrocal, A., Muñoz, F., & González, G. (2004). Ensayo de penetrabilidad de dos preservantes a base de boro en madera de melina (*Gmelina arborea*) crecida en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú*, 1(3), 1-12.
<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5123287>
- Burgos, F., & Montoya, J. (2015). Efecto de la concentración, temperatura y tiempo de inmersión sobre la retención y penetración de boro en *Guadua angustifolia* kunth.
- Chiluzza Benítez, C. I., & Hernández Lara, J. P. (2009). *Elaboración de papel artesanal de caña guadua (Guadua Angustifolia K.)* (Bachelor's thesis, QUITO/EPN/2009).
<https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/1901/1/CD-2457.pdf>
- Clark, L. G., Londoño, X., & Ruiz-Sanchez, E. (2015). Bamboo taxonomy and habitat. *Bamboo: The plant and its uses*, 1-30. Springer.
- Cortez-Barbosa, J., Martines Morales, E. A., Arakaki Higuti, K., Lancarovici Alves, A. C., Almeida De Araujo, V., Gava, M., & Nivaldo Garcia, J. (2019). Tratamientos de preservación de *Bambusa vulgaris vittata* contra el ataque de *Dinoderus minutus*. *Madera y bosques*, 25(2). <https://doi.org/10.21829/myb.2019.252550>
- Damiani, C. (2013). *Caracterización anatómica de las especies Bambusa vulgaris y Dendrocalamus asper provenientes de Oxapampa (Perú)*. (Doctoral dissertation, Tesis pregrado, [Universidad Nacional Agraria de la Molina] Repositorio UNALM. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/823>).
- Echezuría, H. (2018). El Bambú como Recurso Sustentable para Construcción de Viviendas de Bajo Costo. *Tekhne*, 21(2), 17.
<https://revistasenlinea.saber.ucab.edu.ve/index.php/tekhne/article/view/3673>
- Encalada Núñez, J. A. (2016). Modelo de panel prefabricado en guadúa, aplicado a la industrialización de la construcción, para divisiones verticales. Tesis posgrado, [Universidad de Cuenca]. <https://core.ac.uk/download/pdf/38670651.pdf>.

- Farje Morote, D. A. A. F. (2018). Eficacia de los compuestos bóricos en la preservación de madera de *Pinus oocarpa* provenientes de una plantación en Oxapampa—Perú. *Universidad Nacional Agraria La Molina*. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/3181/farje-morote-douglas-alejandro.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Fernandez Gómez, N. V. F. (2020). Certificación de plantaciones y cadena de custodia de bambú gigante *Dendrocalamus asper* Schultes F. y caña guadua *Guadua angustifolia* Kunth, bajo los criterios del Forest Stewardship Council (FSC). Universidad Técnica del Norte. <http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10370>
- Gauss, C., Kadivar, M., Pereira, R. G. F., & Savastano Jr., H. (2021). Assessment of *Dendrocalamus asper* (Schult and schult f.) (Poaceae) bamboo treated with tannin-boron preservatives. *Construction and Building Materials*, 282, 122723. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.122723>
- Guzmán, L. J., Enríquez, R. U., Mosquera, O. M., & Camargo, J. C. (2012). *Concentraciones de una solución preservante a base de ácido bórico y bórax. Evaluación en culmos de Guadua angustifolia*. 65, 5.
- Handana, M. A. P., Surbakti, B., & Karolina, R. (2020). The effect of borax solution as preservative to the mechanical properties of bamboo. *International Journal of Sustainable Construction Engineering and Technology*, 11(2), 79-88.
- Hernández-Sampieri, R., y Mendoza, C. (2020). *Metodología de la investigación: las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida* (No. 83). IICA Biblioteca Venezuela. [https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=oXutTpUKUb4C&oi=fnd&pg=PA54&dq=Seg%C3%BAAn+Holdridge+\(1987\)&ots=7MCP--_fmo&sig=g5uLcpcjAIRpklayAOZmGOL2198#v=onepage&q=Seg%C3%BAAn%20Holdridge%20\(1987\)&f=false](https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=oXutTpUKUb4C&oi=fnd&pg=PA54&dq=Seg%C3%BAAn+Holdridge+(1987)&ots=7MCP--_fmo&sig=g5uLcpcjAIRpklayAOZmGOL2198#v=onepage&q=Seg%C3%BAAn%20Holdridge%20(1987)&f=false).
- Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2010). *Informe sobre el censo nacional de población y vivienda*. Quito, Ecuador: INEC. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/base-de-datos-censo-de-poblacion-y-vivienda-2010/>

- Instituto Colombiano De Normas Técnicas y Certificación (2008). NTC 5300. Cosecha y Postcosecha del Culmo de *Guadua angustifolia* Kunth. *Bogotá: Editorial Icontec*.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (2007). NTC 5301. Preservación y Secado del culmo de *Guadua Angustifolia* Kunth. *Bogotá: Editorial Icontec*.
- Junta del Acuerdo de Cartagena (JUNAC). (1988). Manual del Grupo Andino para la preservación de Maderas. Proyecto Sub-regional de Promoción industrial de la Madera para la Construcción. Lima-Perú.
- Landauro, D. (2010). Características de Preservación por el Método de Inmersión del Tallo de *Guadua angustifolia* Kunth (bambú), proveniente del Distrito de La Florida, Cajamarca. Universidad Nacional Agraria La Molina. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/20.500.12996/438>
- Liese, W. (1998). The anatomy of bamboo culms. Internacional Network for Bamboo and Rattan. Beijing. Consultado 18 de junio. 2024. Disponible en: https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=dIVAGsXNPSsC&oi=fnd&pg=PA7&ots=vEcBHKcGr4&sig=0zpGZbK4yX9t3MI_Te_KVCd_5PE#v=onepage&q&f=false
- Liese, W., & Tang, TKH (2015). Preservación y secado del bambú. En: Liese, W., Köhl, M. (eds.) *Bamboo. Tropical Forestry, vol. 10*. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-14133-6_9
- Manual de manejo integral del bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) Experiencias en la región Amazonas. (2021).
- Montenegro, J. R. G., & Reyes, N. C. (2020). Prevención de la degradación de la *Guadua Angustifolia* Kunth en un sistema constructivo aporticado [Universidad La Gran Colombia]. <https://repository.ugc.edu.co/handle/11396/6230>
- Montiel, M., & Sánchez, E. (2006). Ultraestructura de bambúes del género *Dendrocalamus* (Poaceae: Bambusoideae) cultivados en Costa Rica IV: *Dendrocalamus asper*, clones Taiwán y Tailandia. *Rev. Biol. Trop.*, 54, 12.
- Montoya-Arango, J. A. (2008). Evaluación de métodos para la preservación de la *Guadua angustifolia* kunth. *Scientia et technica*, 14 (38), 443-448.
- Montoya-Arango, J. A., (2002): Investigación tecnológica en métodos para la preservación de la *Guadua*. Universidad Nacional de Colombia, Tesis MSc., Manizales- Colombia. 180 pp.

- Morales-Pinzón, T., Durán, L. F., & Alzate, C. A. (2012). Efectividad de la preservación de *Guadua angustifolia* en el Eje Cafetero colombiano por el método de inmersión-difusión. 65, 5.
- Morán Ubidia, J. (2001). Usos tradicionales y actuales del bambú en América Latina, con énfasis en Colombia y Ecuador. <https://pesquisa.bvsalud.org/porta1/resource/pt/lil-351260?lang=es>
- Morán, J. (2002). Preservación del Bambú en América Latina, mediante métodos tradicionales. *Red Internacional de Bambú y de Ratán*.
- Moya, R., Gaitán, J., & Berrocal, A. (2021). Guía para la preservación de madera por el método de inmersión—Difusión con sales de boro. 22.
- Muscio, E. (2020). *Geometría, estructura y nudo en la constitución de superficies de entramados espaciales con fibras de bambú* (Doctoral dissertation, Arquitectura).
- Parreño, A. (2017). Análisis de los mercados potenciales para la exportación de productos derivados de bambú elaborados en la ciudad de Esmeraldas. (tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Esmeraldas, Esmeraldas, Ecuador.
- Peña, L. (2008). Estudio preliminar de algunas propiedades físico-mecánicas del bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) preservado a través de compuestos químicos [Universidad de los Andes]. <http://bdigital.ula.ve/storage/pdf/42154.pdf>
- Peña V., L., Burgos, A., González F., A., & Valero, S. W. (2009). Efecto de la preservación con mezclas de borax-acido bórico y urea formaldehído sobre las propiedades físico mecánicas y el ataque de insectos en guadua (*Guadua angustifolia* Kunth). *La Revista Forestal Venezolana*, 53(2), 135-145.
- Pinzón, T. M. (2006). Evaluación y ajuste del proceso de preservación de guadua por inmersión con sales de boro. *Scientia et technica*, 3(32).
- Posada Giraldo, R. E. (2015). Desarrollo de métodos alternativos de valoración de la calidad de la preservación, empleando sales de bórax en la *Guadua angustifolia* Kunth [Universidad Tecnológica de Pereira]. <https://repositorio.utp.edu.co/items/2af3825c-c5e8-4204-9e28-7a74581ecc4f/full>
- Prinindya, K. N. N., & Ardiansyah, L. (2014). The Effect of Chemical Substance and Immersion Time of *Dendrocalamus asper* as Chemical Preservation Treatment. *International Journal of Advances in Materials Science and Engineering*, 3(1), 14.

- Salazar Contreras, J., & Díaz, G. (1997). Inmunización de la guadua. *Ingeniería e Investigación*, (38), 14-20.
- Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre. (2024). *Registro de Plantaciones de Bambú en el Perú*. SERFOR. <https://appweb.serfor.gob.pe/bambu/default.aspx>
- Simisterra Borja, J. P., Cervantes Proaño, R. E., Ona Yanez, L. E., & Lajones Bone, D. A. (2022). Impregnación de bórax y ácido bórico en caña *Guadua angustifolia* Kunth. por el método de inmersión. *Manglar*, 19(1), 91-98.
- Sasaoka, S., & dos Reis Pereira, M. A. (2023). Dimensión pedagógica del bambú en la enseñanza y el aprendizaje de los estudiantes de diseño. *Cuadernos del Centro de Estudios de Diseño y Comunicación*, (178).
- Soler Soler, P. (2018). *Uso del bambú en la arquitectura contemporánea* (Doctoral dissertation, Universitat Politècnica de València).
- Song, X., Zhou, G., Jiang, H., Yu, S., Fu, J., Li, W., Wang, W., Ma, Z., & Peng, C. (2011). Carbon sequestration by Chinese bamboo forests and their ecological benefits: Assessment of potential, problems, and future challenges. *Environmental Reviews*, 19(NA), 418-428. <https://doi.org/10.1139/a11-015>
- Sotomayor-Castellanos, J. R., & Villaseñor Aguilar, J. M. (2016). Retención y absorción de solución de sales de boro de diez maderas mexicanas. *Acta universitaria*, 26(2), 12-19. <https://www.scielo.org.mx/pdf/au/v26n2/2007-9621-au-26-02-00012.pdf>
- Tang, TKH, Schmidt, O., y Liese, W. (2009). Protección a corto plazo y respetuosa con el medio ambiente del bambú contra el moho. *Revista de la Asociación de Desarrollo de la Madera de la India*, 55(Agosto), 8-17.
- Tang, T. K. H., & Liese, W. (2011). Pressure treatment of bamboo culms of three Vietnamese species by boron and CCB preservatives. *J Bamboo Rattan*, 10(1&2), 63-76.
- Zaldívar Martínez, P., Montserrat Cuautle-García, L., Joaquín Medina, E., Enríques García, F., & García Bonilla, A. (2014). Preservación del bambú por el método de inmersión en la región de Cuetzalan del progreso Puebla, México. *Revista Biológico Agropecuaria Tuxpan*, 2(1), 382-390.

ANEXOS

Anexo A. Inventario de las matas de bambú.

Tabla 22. Datos del inventario de las cinco matas de *D. asper*.

| N° de mata | N° de caña | Estado de madurez | | | | DAP (cm) | Altura total (m) | Observaciones |
|------------|------------|-------------------|---|----|---|----------|------------------|---------------|
| | | J | M | SM | S | | | |
| 1 | 1 | | X | | | 12,38 | 9,00 | |
| 1 | 2 | X | | | | 15,22 | 17,00 | |
| 1 | 3 | X | | | | 13,85 | 15,00 | |
| 1 | 4 | | X | | | 15,76 | 15,00 | |
| 1 | 5 | | X | | | 16,97 | 18,00 | |
| 1 | 6 | X | | | | 16,23 | 19,00 | |
| 1 | 7 | X | | | | 19,10 | 18,00 | |
| 1 | 8 | X | | | | 18,88 | 18,50 | |
| 1 | 9 | X | | | | 17,54 | 18,00 | |
| 1 | 10 | | X | | | 15,22 | 20,00 | |
| 1 | 11 | | X | | | 16,58 | 20,50 | |
| 1 | 12 | X | | | | 18,18 | 17,00 | |
| 1 | 13 | | X | | | 15,72 | 19,00 | |
| 1 | 14 | X | | | | 16,77 | 17,30 | |
| 1 | 15 | | | X | | 14,42 | 15,20 | |
| 1 | 16 | | X | | | 16,84 | 16,00 | |
| 1 | 17 | | X | | | 16,65 | 15,00 | |
| 1 | 18 | | X | | | 15,44 | 14,00 | |
| 1 | 19 | X | | | | 17,06 | 19,00 | |
| 1 | 20 | | X | | | 13,59 | 16,00 | |
| 1 | 21 | X | | | | 15,98 | 19,00 | |
| 1 | 22 | X | | | | 16,23 | 19,00 | |
| 1 | 23 | | X | | | 16,87 | 17,00 | |
| 1 | 24 | | X | | | 14,13 | 16,00 | |
| 1 | 25 | X | | | | 14,80 | 19,00 | |
| 1 | 26 | | X | | | 17,32 | 12,00 | |
| 1 | 27 | X | | | | 14,01 | 18,00 | |
| 1 | 28 | X | | | | 12,57 | 16,00 | |
| 1 | 29 | | | | X | 14,20 | 8,00 | |
| 1 | 30 | X | | | | 15,44 | 18,00 | |
| 1 | 31 | | X | | | 14,77 | 18,00 | |
| 1 | 32 | X | | | | 17,16 | 19,00 | |
| 1 | 33 | | X | | | 14,16 | 12,00 | |
| 1 | 34 | | X | | | 14,07 | 12,00 | |
| 1 | 35 | X | | | | 14,01 | 16,00 | |
| 1 | 36 | X | | | | 14,80 | 17,00 | |
| 1 | 37 | | X | | | 17,16 | 19,00 | |
| 1 | 38 | X | | | | 16,01 | 17,00 | |

| | | | | | | |
|---|----|---|---|---|-------|-------|
| 1 | 39 | | X | | 13,59 | 10,00 |
| 1 | 40 | X | | | 18,14 | 20,00 |
| 1 | 41 | | X | | 15,82 | 18,00 |
| 1 | 42 | | X | | 16,42 | 17,00 |
| 1 | 43 | X | | | 18,14 | 18,00 |
| 1 | 44 | | X | | 17,28 | 17,00 |
| 1 | 45 | | X | | 13,94 | 8,00 |
| 1 | 46 | | X | | 16,27 | 12,00 |
| 1 | 47 | | X | | 8,82 | 3,00 |
| 1 | 48 | | X | | 1,99 | 15,00 |
| 1 | 49 | X | | | 15,28 | 15,00 |
| 1 | 50 | | X | | 13,97 | 12,00 |
| 1 | 51 | | X | | 15,09 | 17,00 |
| 1 | 52 | X | | | 15,15 | 16,00 |
| 1 | 53 | X | | | 15,79 | 18,00 |
| 1 | 54 | X | | | 17,51 | 20,00 |
| 1 | 55 | | | X | 16,58 | 17,00 |
| 1 | 56 | | X | | 16,23 | 16,00 |
| 1 | 57 | | X | | 15,85 | 10,00 |
| 1 | 58 | | | | 13,97 | 17,00 |
| 1 | 59 | | X | | 14,64 | 17,50 |
| 1 | 60 | | X | | 16,55 | 10,00 |
| 1 | 61 | | X | | 15,47 | 18,00 |
| 1 | 62 | | X | | 15,44 | 14,00 |
| 1 | 63 | X | | | 16,27 | 17,00 |
| 1 | 64 | X | | | 15,92 | 19,00 |
| 1 | 65 | X | | | 16,87 | 18,00 |
| 1 | 66 | | X | | 14,64 | 18,00 |
| 1 | 67 | X | | | 17,67 | 18,00 |
| 1 | 68 | X | | | 16,93 | 19,00 |
| 1 | 69 | | X | | 16,58 | 16,00 |
| 1 | 70 | X | | | 19,07 | 18,00 |
| 1 | 71 | | X | | 17,09 | 14,00 |
| 1 | 72 | X | | | 18,53 | 20,00 |
| 1 | 73 | | X | | 16,27 | 13,00 |
| 1 | 74 | X | | | 17,92 | 17,00 |
| 1 | 75 | | X | | 13,97 | 17,00 |
| 1 | 76 | X | | | 16,42 | 16,00 |
| 1 | 77 | | X | | 13,91 | 11,00 |
| 1 | 78 | X | | | 17,03 | 18,00 |
| 1 | 79 | | X | | 15,88 | 16,00 |
| 1 | 80 | | X | | 14,77 | 15,00 |
| 1 | 81 | | X | | 15,34 | 16,00 |
| 1 | 82 | X | | | 16,71 | 17,00 |

| | | | | | | |
|-------|-----|---|---|-------|-------|-----------|
| 1 | 83 | | X | 14,45 | 12,00 | |
| 1 | 84 | | X | 12,32 | 13,00 | |
| 1 | 85 | | X | 12,83 | 12,00 | |
| 1 | 86 | | X | 16,01 | 15,00 | |
| 1 | 87 | | X | 14,42 | 17,00 | |
| 1 | 88 | X | | 15,41 | 16,00 | |
| 1 | 89 | X | | 15,12 | 17,00 | |
| 1 | 90 | | X | 13,72 | 13,00 | |
| 1 | 91 | X | | 14,55 | 18,00 | |
| 1 | 92 | | X | 12,86 | 16,00 | |
| 1 | 93 | | X | 16,65 | 18,00 | |
| 1 | 94 | | X | 12,16 | 13,00 | |
| 1 | 95 | X | | 16,71 | 16,00 | |
| 1 | 96 | X | | 18,88 | 17,00 | |
| 1 | 97 | X | | 17,19 | 17,00 | |
| 1 | 98 | X | | 13,59 | 15,00 | |
| 1 | 99 | | X | 8,09 | 8,00 | No óptimo |
| 1 | 100 | | X | 8,85 | 9,00 | No óptimo |
| 1 | 101 | | X | 8,75 | 7,00 | |
| 1 | 102 | | X | 12,16 | 15,00 | |
| 1 | 103 | X | | 13,72 | 18,00 | |
| 1 | 104 | | X | 14,10 | 16,00 | |
| 1 | 105 | X | | 12,83 | 15,00 | |
| 1 | 106 | X | | 16,55 | 18,00 | |
| 1 | 107 | X | | 6,65 | 9,00 | |
| <hr/> | | | | | | |
| 2 | 1 | X | | 16,55 | 16,00 | |
| 2 | 2 | X | | 17,35 | 17,00 | |
| 2 | 3 | X | | 13,78 | 16,00 | |
| 2 | 4 | X | | 15,50 | 17,00 | |
| 2 | 5 | | X | 16,65 | 16,00 | |
| 2 | 6 | | X | 18,56 | 18,00 | |
| 2 | 7 | | X | 13,34 | 17,00 | |
| 2 | 8 | | X | 15,53 | 17,00 | |
| 2 | 9 | X | | 18,91 | 19,00 | |
| 2 | 10 | X | | 16,77 | 17,00 | |
| 2 | 11 | | X | 15,72 | 18,00 | |
| 2 | 12 | X | | 16,14 | 17,00 | |
| 2 | 13 | X | | 16,84 | 18,00 | |
| 2 | 14 | X | | 16,68 | 18,00 | |
| 2 | 15 | | X | 14,99 | 14,00 | |
| 2 | 16 | | X | 14,74 | 15,00 | |
| 2 | 17 | | X | 14,61 | 17,00 | |
| 2 | 18 | X | | 17,79 | 18,00 | |
| 2 | 19 | X | | 16,11 | 17,00 | |

| | | | | | | | |
|-------|----|---|---|---|-------|-------|-----------|
| 2 | 20 | | | X | 17,51 | 12,00 | |
| 2 | 21 | X | | | 16,07 | 18,00 | |
| 2 | 22 | X | | | 16,20 | 17,00 | |
| 2 | 23 | | X | | 15,44 | 17,00 | |
| 2 | 24 | | X | | 14,64 | 12,00 | |
| 2 | 25 | | | X | 14,57 | 13,00 | |
| 2 | 26 | | X | | 10,73 | 14,00 | |
| 2 | 27 | | X | | 11,27 | 15,00 | |
| 2 | 28 | | X | | 17,03 | 17,00 | No óptimo |
| 2 | 29 | X | | | 13,53 | 18,00 | |
| 2 | 30 | | X | | 11,90 | 15,00 | |
| 2 | 31 | | X | | 13,88 | 16,00 | |
| 2 | 32 | | X | | 13,31 | 13,00 | |
| 2 | 33 | X | | | 15,92 | 16,00 | |
| 2 | 34 | | X | | 17,09 | 15,00 | |
| 2 | 35 | X | | | 17,41 | 17,00 | |
| 2 | 36 | | X | | 14,16 | 16,00 | |
| 2 | 37 | | X | | 14,77 | 14,00 | |
| 2 | 38 | | X | | 16,65 | 16,00 | |
| 2 | 39 | X | | | 12,38 | 17,00 | |
| 2 | 40 | X | | | 17,00 | 16,00 | |
| 2 | 41 | | X | | 15,92 | 17,00 | |
| 2 | 42 | X | | | 18,59 | 19,00 | |
| 2 | 43 | | X | | 15,98 | 17,00 | |
| 2 | 44 | | X | | 16,42 | 15,00 | |
| 2 | 45 | X | | | 18,30 | 18,00 | |
| 2 | 46 | | X | | 16,20 | 16,00 | |
| 2 | 47 | | X | | 15,31 | 16,00 | |
| 2 | 48 | | X | | 16,07 | 17,00 | |
| 2 | 49 | X | | | 15,98 | 19,00 | |
| 2 | 50 | X | | | 15,41 | 17,00 | |
| <hr/> | | | | | | | |
| 3 | 1 | X | | | 16,93 | 16,00 | |
| 3 | 2 | | X | | 17,16 | 17,00 | |
| 3 | 3 | | X | | 17,00 | 17,00 | |
| 3 | 4 | X | | | 15,57 | 18,00 | |
| 3 | 5 | X | | | 17,00 | 18,00 | |
| 3 | 6 | X | | | 15,37 | 17,00 | |
| 3 | 7 | X | | | 17,35 | 18,00 | |
| 3 | 8 | | X | | 15,85 | 16,00 | |
| 3 | 9 | | X | | 15,44 | 17,00 | |
| 3 | 10 | | | X | 12,99 | 15,00 | |
| 3 | 11 | | X | | 16,74 | 17,00 | |
| 3 | 12 | | X | | 15,50 | 18,00 | |
| 3 | 13 | | X | | 16,33 | 18,00 | |

| | | | | | | |
|---|----|---|---|-------|-------|-------|
| 3 | 14 | X | | 16,20 | 17,00 | |
| 3 | 15 | | X | 16,87 | 18,00 | |
| 3 | 16 | | X | 17,25 | 16,00 | |
| 3 | 17 | X | | 17,51 | 17,00 | |
| 3 | 18 | | X | 15,92 | 18,00 | |
| 3 | 19 | | X | 18,08 | 18,00 | |
| 3 | 20 | | X | 16,33 | 17,00 | |
| 3 | 21 | X | | 18,30 | 18,00 | |
| 3 | 22 | | X | 17,25 | 17,00 | |
| 3 | 23 | | X | 14,42 | 16,00 | |
| 3 | 24 | | X | 17,28 | 16,00 | |
| 3 | 25 | X | | 17,28 | 17,00 | |
| 3 | 26 | | X | 16,01 | 17,00 | |
| 3 | 27 | | X | 15,72 | 18,00 | |
| 3 | 28 | | X | 13,43 | 17,00 | |
| 3 | 29 | X | | 16,17 | 16,00 | |
| 3 | 30 | | X | 16,52 | 18,00 | |
| 3 | 31 | X | | 16,27 | 17,00 | |
| 3 | 32 | X | | 16,90 | 18,00 | |
| 3 | 33 | X | | 16,49 | 16,00 | |
| 3 | 34 | X | | 16,93 | 16,00 | |
| 3 | 35 | X | | 12,67 | 14,00 | |
| 3 | 36 | X | | 15,85 | 17,00 | |
| 3 | 37 | | X | 16,04 | 16,00 | |
| 3 | 38 | | X | 15,76 | 18,00 | |
| 3 | 39 | | X | 13,53 | 18,00 | |
| 3 | 40 | | | X | 16,23 | 16,00 |
| 3 | 41 | X | | 14,16 | 15,00 | |
| 3 | 42 | | X | 16,49 | 16,00 | |
| 3 | 43 | X | | 16,39 | 16,00 | |
| 3 | 44 | X | | 16,46 | 18,00 | |
| 3 | 45 | X | | 16,27 | 16,00 | |
| 3 | 46 | X | | 16,33 | 17,00 | |
| 3 | 47 | X | | 16,33 | 17,00 | |
| 3 | 48 | | X | 15,28 | 19,00 | |
| 3 | 49 | | X | 14,48 | 18,00 | |
| 3 | 50 | | X | 13,72 | 16,00 | |
| 3 | 51 | X | | 14,51 | 18,00 | |
| 3 | 52 | | X | 16,11 | 17,00 | |
| 3 | 53 | | X | 13,34 | 17,00 | |
| 3 | 54 | X | | 17,44 | 18,00 | |
| 3 | 55 | X | | 17,41 | 16,00 | |
| 3 | 56 | X | | 16,36 | 18,00 | |
| 3 | 57 | | X | 16,65 | 17,00 | |

| | | | | | | |
|-------|----|---|---|---|-------|-------|
| 3 | 58 | X | | | 15,95 | 16,00 |
| 3 | 59 | X | | | 12,45 | 17,00 |
| 3 | 60 | X | | | 12,41 | 17,00 |
| 3 | 61 | X | | | 13,75 | 16,00 |
| 3 | 62 | X | | | 15,50 | 18,00 |
| <hr/> | | | | | | |
| 4 | 1 | X | | | 16,11 | 18,00 |
| 4 | 2 | X | | | 15,06 | 17,00 |
| 4 | 3 | | X | | 16,68 | 17,00 |
| 4 | 4 | | X | | 15,22 | 16,00 |
| 4 | 5 | X | | | 16,71 | 18,00 |
| 4 | 6 | | X | | 14,10 | 16,00 |
| 4 | 7 | | X | | 15,82 | 17,00 |
| 4 | 8 | X | | | 16,11 | 17,00 |
| 4 | 9 | | | X | 17,19 | 16,00 |
| 4 | 10 | | X | | 14,04 | 16,00 |
| 4 | 11 | | | X | 15,31 | 15,00 |
| 4 | 12 | | X | | 16,11 | 15,00 |
| 4 | 13 | | X | | 14,45 | 16,00 |
| 4 | 14 | | X | | 15,63 | 14,00 |
| 4 | 15 | X | | | 17,73 | 18,00 |
| 4 | 16 | X | | | 15,79 | 17,00 |
| 4 | 17 | | | X | 14,26 | 15,00 |
| 4 | 18 | | X | | 14,13 | 17,00 |
| 4 | 19 | | | X | 15,28 | 15,00 |
| 4 | 20 | X | | | 14,96 | 18,00 |
| 4 | 21 | | X | | 17,83 | 16,00 |
| 4 | 22 | | X | | 17,63 | 15,00 |
| 4 | 23 | | X | | 15,28 | 16,00 |
| 4 | 24 | | X | | 13,69 | 17,00 |
| 4 | 25 | | X | | 13,94 | 16,00 |
| 4 | 26 | X | | | 13,81 | 18,00 |
| 4 | 27 | X | | | 17,09 | 17,00 |
| <hr/> | | | | | | |
| 5 | 1 | | | X | 15,25 | 17,00 |
| 5 | 2 | | X | | 14,51 | 16,00 |
| 5 | 3 | X | | | 16,46 | 18,00 |
| 5 | 4 | | | X | 15,69 | 14,00 |
| 5 | 5 | X | | | 17,83 | 17,00 |
| 5 | 6 | | X | | 16,23 | 16,00 |
| 5 | 7 | | X | | 15,44 | 17,00 |
| 5 | 8 | | X | | 16,49 | 17,00 |
| 5 | 9 | | X | | 14,87 | 16,00 |
| 5 | 10 | | | X | 14,58 | 11,00 |
| 5 | 11 | X | | | 15,09 | 18,00 |
| 5 | 12 | | X | | 14,20 | 16,00 |

| | | | | | | |
|---|----|---|---|---|-------|-------|
| 5 | 13 | | X | | 15,47 | 15,00 |
| 5 | 14 | | X | | 14,77 | 14,00 |
| 5 | 15 | | X | | 16,97 | 16,00 |
| 5 | 16 | | X | | 15,79 | 16,00 |
| 5 | 17 | | X | | 14,55 | 17,00 |
| 5 | 18 | | X | | 16,14 | 16,00 |
| 5 | 19 | X | | | 16,90 | 18,00 |
| 5 | 20 | X | | | 15,88 | 18,00 |
| 5 | 21 | | X | | 15,57 | 16,00 |
| 5 | 22 | X | | | 17,06 | 17,00 |
| 5 | 23 | X | | | 17,25 | 17,00 |
| 5 | 24 | X | | | 17,09 | 18,00 |
| 5 | 25 | | X | | 13,21 | 16,00 |
| 5 | 26 | | | X | 15,22 | 17,00 |
| 5 | 27 | | X | | 16,07 | 17,00 |
| 5 | 28 | X | | | 18,14 | 19,00 |

Anexo B. Contenido de humedad del *D. asper*.

Tabla 23. Promedio del contenido de humedad en los diferentes niveles del culmo.

| Contenido de humedad de las probetas 3 cm x 3 cm (%) | | | | | | |
|--|-----------|--------------|---------|---------|---------|--------|
| Factores | | Repeticiones | | | | |
| Niveles | Nudos | I | II | III | IV | V |
| Base | Nudo | 84,333 | 87,062 | 149,892 | 123,447 | 86,732 |
| Base | Nudo | 87,525 | 106,951 | 138,505 | 105,006 | 86,161 |
| Base | Nudo | 76,571 | 82,649 | 120,357 | 113,101 | 73,333 |
| Base | Nudo | 96,570 | 86,624 | 119,250 | 115,335 | 87,056 |
| Base | Entrenudo | 108,072 | 124,436 | 148,305 | 113,932 | 78,958 |
| Base | Entrenudo | 95,568 | 103,338 | 133,499 | 138,393 | 75,854 |
| Base | Entrenudo | 94,102 | 99,352 | 133,288 | 107,870 | 93,034 |
| Base | Entrenudo | 101,116 | 96,635 | 163,423 | 127,187 | 87,680 |
| Medio | Nudo | 72,124 | 81,593 | 110,260 | 83,514 | 83,427 |
| Medio | Nudo | 71,543 | 69,463 | 106,148 | 73,797 | 86,761 |
| Medio | Nudo | 69,066 | 55,634 | 80,130 | 94,326 | 69,222 |
| Medio | Nudo | 117,436 | 64,286 | 104,270 | 99,389 | 81,432 |
| Medio | Entrenudo | 78,916 | 86,682 | 88,707 | 82,116 | 60,682 |
| Medio | Entrenudo | 58,932 | 66,038 | 115,159 | 71,491 | 55,277 |
| Medio | Entrenudo | 64,015 | 67,249 | 114,316 | 92,922 | 69,231 |
| Medio | Entrenudo | 62,727 | 72,727 | 102,557 | 81,723 | 65,328 |
| Ápice | Nudo | 64,126 | 82,314 | 79,668 | 74,540 | 68,182 |
| Ápice | Nudo | 65,446 | 61,381 | 83,161 | 76,418 | 77,252 |
| Ápice | Nudo | 66,104 | 70,238 | 89,549 | 82,595 | 71,025 |
| Ápice | Nudo | 69,310 | 70,968 | 67,971 | 70,939 | 74,551 |
| Ápice | Entrenudo | 61,263 | 67,593 | 68,831 | 73,737 | 57,105 |
| Ápice | Entrenudo | 59,524 | 56,954 | 79,290 | 65,942 | 61,022 |
| Ápice | Entrenudo | 64,502 | 68,259 | 79,333 | 58,631 | 57,692 |
| Ápice | Entrenudo | 58,869 | 62,540 | 79,139 | 69,775 | 61,916 |

Tabla 24. Promedio de la densidad básica de los culmos *D. asper*.

| Densidad básica de las probetas 3 cm x 3 cm (kg/m ³) | | | | | | |
|--|-----------|--------------|-------|-------|-------|-------|
| Factores | | Repeticiones | | | | |
| Niveles | Nudos | I | II | III | IV | V |
| Base | Nudo | 0,648 | 0,631 | 0,493 | 0,523 | 0,621 |
| Base | Nudo | 0,640 | 0,575 | 0,487 | 0,576 | 0,659 |
| Base | Nudo | 0,698 | 0,673 | 0,530 | 0,551 | 0,715 |
| Base | Nudo | 0,617 | 0,649 | 0,532 | 0,537 | 0,654 |
| Base | Entrenudo | 0,548 | 0,524 | 0,540 | 0,539 | 0,689 |
| Base | Entrenudo | 0,573 | 0,578 | 0,495 | 0,476 | 0,700 |
| Base | Entrenudo | 0,623 | 0,583 | 0,491 | 0,548 | 0,612 |
| Base | Entrenudo | 0,577 | 0,604 | 0,433 | 0,497 | 0,636 |
| Medio | Nudo | 0,711 | 0,676 | 0,562 | 0,645 | 0,676 |
| Medio | Nudo | 0,727 | 0,721 | 0,566 | 0,699 | 0,656 |
| Medio | Nudo | 0,729 | 0,774 | 0,615 | 0,629 | 0,727 |
| Medio | Nudo | 0,574 | 0,719 | 0,581 | 0,617 | 0,683 |
| Medio | Entrenudo | 0,694 | 0,656 | 0,615 | 0,674 | 0,731 |
| Medio | Entrenudo | 0,754 | 0,724 | 0,539 | 0,698 | 0,786 |
| Medio | Entrenudo | 0,727 | 0,716 | 0,550 | 0,610 | 0,723 |
| Medio | Entrenudo | 0,742 | 0,731 | 0,584 | 0,644 | 0,721 |
| Ápice | Nudo | 0,747 | 0,689 | 0,642 | 0,688 | 0,733 |
| Ápice | Nudo | 0,727 | 0,766 | 0,664 | 0,653 | 0,703 |
| Ápice | Nudo | 0,699 | 0,719 | 0,638 | 0,668 | 0,709 |
| Ápice | Nudo | 0,761 | 0,740 | 0,728 | 0,722 | 0,713 |
| Ápice | Entrenudo | 0,766 | 0,735 | 0,735 | 0,763 | 0,806 |
| Ápice | Entrenudo | 0,790 | 0,791 | 0,654 | 0,704 | 0,684 |
| Ápice | Entrenudo | 0,756 | 0,648 | 0,756 | 0,743 | 0,777 |
| Ápice | Entrenudo | 0,761 | 0,733 | 0,671 | 0,770 | 0,777 |

Tabla 25. Datos de los volúmenes de los aros de *D. asper*

| Volumen de los aros (m ³) | | | | | | | |
|---------------------------------------|-----------|-----------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Niveles | Factores | | Repeticiones | | | | |
| | Nudos | Concentraciones | I | II | III | IV | V |
| Base | Nudo | 0% | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 |
| Base | Nudo | 3% | 0,0005 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0002 |
| Base | Nudo | 5% | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 |
| Base | Nudo | 7% | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 |
| Base | Entrenudo | 0% | 0,0004 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 |
| Base | Entrenudo | 3% | 0,0004 | 0,0005 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 |
| Base | Entrenudo | 5% | 0,0004 | 0,0005 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 |
| Base | Entrenudo | 7% | 0,0004 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0002 |
| Medio | Nudo | 0% | 0,0003 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 |
| Medio | Nudo | 3% | 0,0003 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 |
| Medio | Nudo | 5% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 |
| Medio | Nudo | 7% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 |
| Medio | Entrenudo | 0% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0001 |
| Medio | Entrenudo | 3% | 0,0002 | 0,0001 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 |
| Medio | Entrenudo | 5% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 |
| Medio | Entrenudo | 7% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 |
| Ápice | Nudo | 0% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0002 |
| Ápice | Nudo | 3% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0002 |
| Ápice | Nudo | 5% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0002 |
| Ápice | Nudo | 7% | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0002 |
| Ápice | Entrenudo | 0% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 |
| Ápice | Entrenudo | 3% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0002 |
| Ápice | Entrenudo | 5% | 0,0002 | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| Ápice | Entrenudo | 7% | 0,0002 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |

Tabla 26. Datos de la retención del pentaborato.

| Cantidad de retención del preservante (kg/m ³) | | | | | | | |
|--|-----------|-----------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Niveles | Factores | | Repeticiones | | | | |
| | Secciones | Concentraciones | I | II | III | IV | V |
| Base | Nudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Base | Nudo | 3% | 0,728 | 2,098 | 2,730 | 5,222 | 2,413 |
| Base | Nudo | 5% | 7,643 | 5,996 | 7,494 | 9,008 | 7,814 |
| Base | Nudo | 7% | 7,856 | 8,836 | 8,734 | 12,749 | 9,784 |
| Base | Entrenudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Base | Entrenudo | 3% | 2,773 | 3,016 | 3,671 | 5,168 | 3,265 |
| Base | Entrenudo | 5% | 4,880 | 4,430 | 6,054 | 8,265 | 5,732 |
| Base | Entrenudo | 7% | 7,423 | 8,668 | 8,430 | 12,242 | 8,400 |
| Medio | Nudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Medio | Nudo | 3% | 4,057 | 8,566 | 5,055 | 3,829 | 5,266 |
| Medio | Nudo | 5% | 8,426 | 8,819 | 9,945 | 9,412 | 7,871 |
| Medio | Nudo | 7% | 11,662 | 11,658 | 11,591 | 13,752 | 12,174 |
| Medio | Entrenudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Medio | Entrenudo | 3% | 3,871 | 8,100 | 4,234 | 3,927 | 4,026 |
| Medio | Entrenudo | 5% | 6,248 | 6,259 | 7,285 | 8,152 | 7,380 |
| Medio | Entrenudo | 7% | 9,453 | 10,045 | 10,577 | 10,146 | 10,490 |
| Ápice | Nudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Ápice | Nudo | 3% | 5,479 | 4,946 | 5,288 | 4,978 | 5,293 |
| Ápice | Nudo | 5% | 9,070 | 10,277 | 9,377 | 8,639 | 9,821 |
| Ápice | Nudo | 7% | 12,583 | 13,415 | 12,429 | 16,102 | 13,029 |
| Ápice | Entrenudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Ápice | Entrenudo | 3% | 3,860 | 4,162 | 4,439 | 5,993 | 3,432 |
| Ápice | Entrenudo | 5% | 7,008 | 6,619 | 9,138 | 6,827 | 7,549 |
| Ápice | Entrenudo | 7% | 10,565 | 9,293 | 10,231 | 8,851 | 9,795 |

Anexo F. Porcentaje de penetración del pentaborato.

Tabla 27. Datos del porcentaje de penetración del pentaborato.

| Porcentaje de penetración del preservante (%) | | | | | | | |
|---|-----------|-----------------|--------------|--------|--------|--------|--------|
| Niveles | Factores | | Repeticiones | | | | |
| | Secciones | Concentraciones | I | II | III | IV | V |
| Base | Nudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Base | Nudo | 3% | 9,415 | 25,842 | 18,656 | 22,848 | 31,113 |
| Base | Nudo | 5% | 22,258 | 28,262 | 35,638 | 32,489 | 31,163 |
| Base | Nudo | 7% | 66,702 | 25,988 | 32,142 | 56,707 | 69,083 |
| Base | Entrenudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Base | Entrenudo | 3% | 10,933 | 19,261 | 9,115 | 15,005 | 17,828 |
| Base | Entrenudo | 5% | 8,530 | 28,602 | 27,406 | 14,337 | 10,292 |
| Base | Entrenudo | 7% | 20,220 | 31,112 | 16,367 | 34,996 | 37,220 |
| Medio | Nudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Medio | Nudo | 3% | 41,250 | 11,506 | 58,640 | 41,913 | 55,703 |
| Medio | Nudo | 5% | 26,487 | 49,923 | 61,237 | 58,401 | 53,171 |
| Medio | Nudo | 7% | 90,147 | 75,580 | 54,260 | 82,804 | 85,539 |
| Medio | Entrenudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Medio | Entrenudo | 3% | 12,236 | 23,117 | 3,137 | 11,770 | 21,158 |
| Medio | Entrenudo | 5% | 18,384 | 10,638 | 15,039 | 56,250 | 19,252 |
| Medio | Entrenudo | 7% | 23,180 | 45,138 | 9,800 | 42,408 | 44,179 |
| Ápice | Nudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Ápice | Nudo | 3% | 30,217 | 29,547 | 31,411 | 84,678 | 26,060 |
| Ápice | Nudo | 5% | 69,157 | 56,969 | 21,853 | 84,230 | 75,223 |
| Ápice | Nudo | 7% | 66,251 | 85,547 | 63,451 | 79,970 | 83,849 |
| Ápice | Entrenudo | 0% | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 | 0,000 |
| Ápice | Entrenudo | 3% | 21,434 | 6,082 | 5,374 | 19,051 | 5,894 |
| Ápice | Entrenudo | 5% | 7,122 | 6,780 | 13,880 | 19,088 | 27,218 |
| Ápice | Entrenudo | 7% | 7,157 | 29,552 | 14,344 | 14,781 | 11,655 |



Figura 15. Extracción de los culmos de *D. asper*.



Figura 16. Toma de muestras de la hoja caulinar para la identificación de la especie.



Figura 17. Toma de muestras de los nudos para la identificación de la especie.



Figura 18. Secado de probetas (3 cm x 3 cm) en estufa para determinar el contenido de humedad.



Figura 19. Probetas de 3 cm x 3 cm recién sacados de la estufa y puestos en el desecador.



Figura 20. Preparación de la solución preservante a base de pentaborato.



Figura 21. Acondicionamiento de los contenedores y establecimiento de los aros al proceso de preservación a concentraciones de 3%, 5% y 7%.



Figura 22. Proceso de preservación de los aros a concentración de 3%.



Figura 23. Escurrimiento del exceso de líquido de los aros preservados.



Figura 24. Preparación de la solución para determinar el porcentaje de penetración.



Figura 25. Pesaje de los insumos a utilizar para elaborar la solución del método colorimétrico.

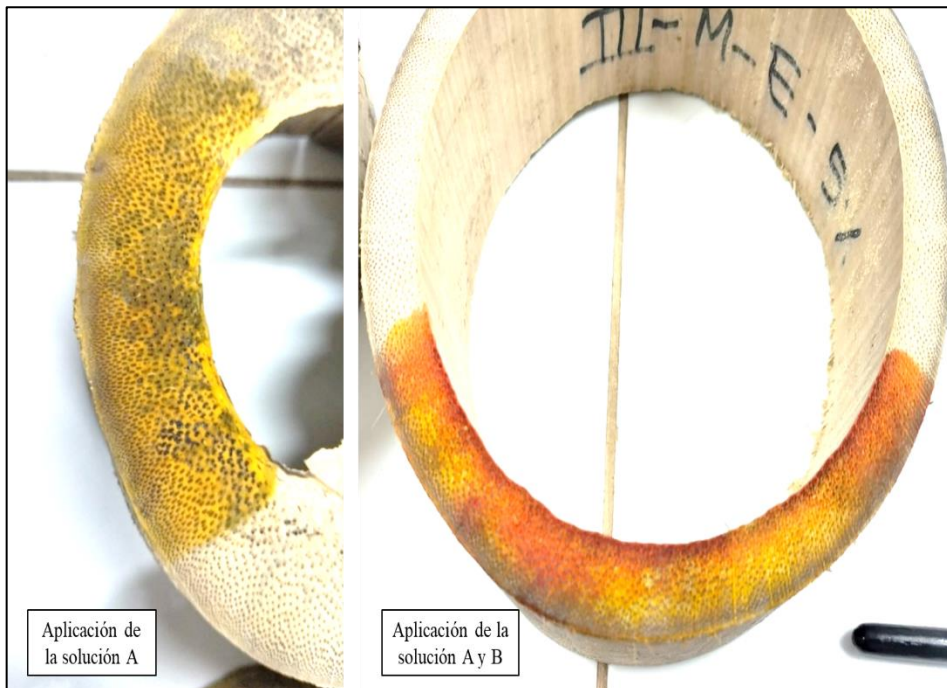


Figura 26. Aplicación del método colorimétrico a base cúrcuma.

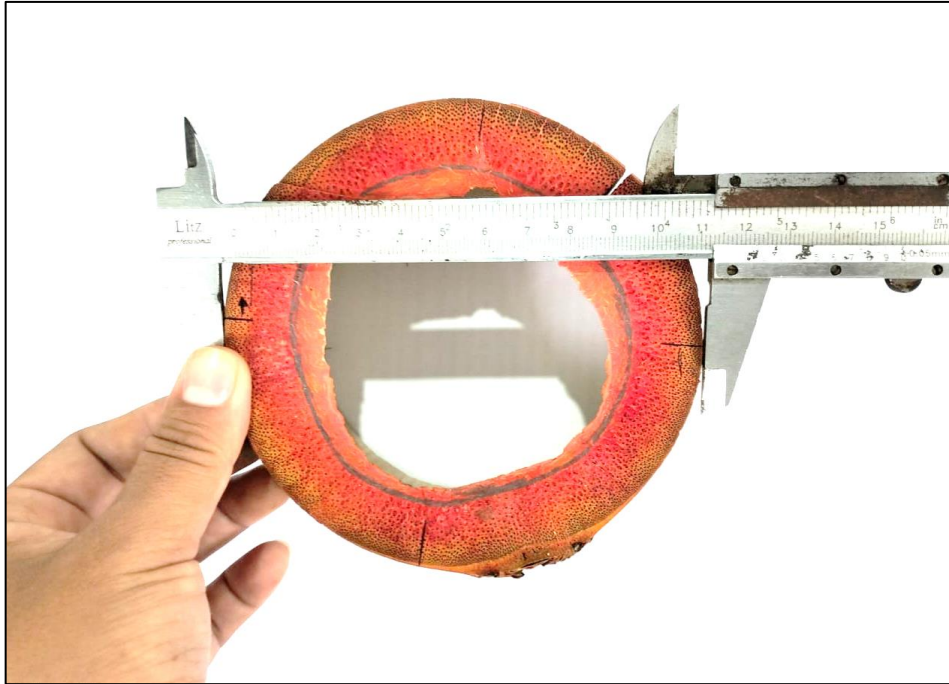


Figura 27. Medición del diámetro del espesor de la pared del culmo.



Figura 28. Muestras sin preservante degradados por insectos perforadores en la sección del nudo.