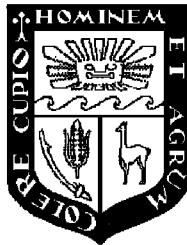


**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA**

**LA MOLINA**

*Facultad de Ciencias Forestales*



**Características de Preservación por el  
Método de Inmersión del Tallo de  
*Guadua angustifolia* Kunth (bambú),  
proveniente del Distrito de La Florida,  
Cajamarca.**

*Tesis para optar el Título de*  
**INGENIERO FORESTAL**

**Dora Antuaneth Landauro Ponce**

Lima – Perú  
2010

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para calificar la sustentación del Trabajo de Tesis, presentado por la ex-alumna de la Facultad de Ciencias Forestales, Bach. DORA ANTUANETH LANDAURO PONCE, intitulado “CARACTERÍSTICAS DE PRESERVACIÓN POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN DEL TALLO DE GUADUA ANGUSTIFOLIA KUNTH (BAMBÚ), PROVENIENTE DEL DISTRITO DE LA FLORIDA, CAJAMARCA.”.

Oídas las respuestas a las observaciones formuladas, lo declaramos:

.....

con el calificativo de .....

En consecuencia queda en condición de ser considerada APTA y recibir el título de INGENIERO FORESTAL.

La Molina, 10 de Septiembre de 2010

.....  
Ph.D. Héctor Enrique Gonzáles  
Mora  
Presidente

.....  
Mg.Sc. Florencio Trujillo Cuellar  
Miembro

.....  
Mg.Sc. Miguel Meléndez Cárdenas  
Miembro

.....  
Ing. Martín Araujo Flores  
Patrocinador

.....

## *RESUMEN*

En el presente trabajo se han realizado pruebas para optimizar las variables del tratamiento de preservación por inmersión prolongada de secciones de *Guadua angustifolia* Kunth (Bambú), provenientes de plantaciones del distrito de La Florida, Cajamarca. Para el desarrollo del estudio se emplearon secciones de bambú en condición seca, con tres (03) años de madurez, y se realizaron tratamientos de preservación en diferentes periodos de tiempo, utilizando una mezcla de ácido bórico y bórax (pentaborato) como preservante al 2% de concentración en solución acuosa. Asimismo se realizaron tratamientos de perforación de nudos en las secciones de bambú.

Se determinó que la preservación por inmersión prolongada de secciones bambú no es efectiva sin un tratamiento de perforación de nudos, y que el compuesto químico Pentaborato es efectivo para el control del ataque de termitas de la especie *Cryptotermes brevis* con un tiempo de inmersión de 72 horas.

Previamente, se determinó la resistencia biológica del bambú al deterioro causado por los hongos de pudrición blanca *Polyporus sanguineus* y *Schizophyllum commune* y por la acción de *Cryptotermes brevis*, en condiciones de laboratorio, usando como referencia las normas ASTM D 2017 y ASTM D 3345, respectivamente. Se obtuvo como resultado una baja resistencia biológica en ambos ensayos

Con el objeto de tener datos comparativos, también se llevo a cabo el tratamiento de célula llena utilizando para el desarrollo de este procedimiento el preservante pentaborato al 2% de concentración y se utilizaron cañas de bambú de 1 metro de largo en las siguientes condiciones: perforadas longitudinalmente, sin perforar y cañas cortadas por la mitad. Obteniéndose los mejores resultados en aquellas cañas de bambú cortadas por la mitad.

# ÍNDICE

Página

DEDICATORIA.....	III
AGRADECIMIENTOS.....	IV
RESUMEN.....	V
ÍNDICE.....	VI
LISTA DE CUADROS.....	VIII
LISTA DE FIGURAS.....	IX
<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>2. REVISIÓN DE LITERATURA .....</b>	<b>3</b>
2.1 DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE .....	3
2.1.1 <i>taxonomía</i> .....	3
2.1.2 <i>morfología</i> .....	4
2.1.3 <i>Anatomía</i> .....	6
2.2 USOS.....	10
2.3 BIODEGRADACIÓN DEL BAMBU .....	13
2.4 MÉTODOS DE PRESERVACIÓN.....	14
2.4.1 <i>técnicas de preservación</i> .....	17
2.4.2 <i>anatomía vs. métodos de preservación</i> .....	20
2.5 PRESERVANTES.....	23
2.6 EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO PRESERVADOR.....	24
2.7 EXPERIENCIAS RESIENTES EN PESRVACIÓN DE BAMBÚ .....	26
<b>3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>29</b>
3.2 MATERIA PRIMA.....	29
3.4 HONGOS XILÓFAGOS.....	30
3.5 PRESERVANTE .....	30
3.6 REACTIVOS.....	30
3.7 MÁQUINAS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS .....	30
3.8 METODOLOGÍA.....	31
3.8.1 <i>procedimiento</i> .....	32
3.8.1 <i>análisis estadístico de Iso resultados</i> .....	55
3.8.2 <i>determinación de la penetración y retención del boro</i> .....	57
3.8.3 <i>determinación de la retención por espectrofotometría</i> .....	59
3.8.4 <i>comparación de resultados de retención de boro</i> .....	59
3.4 PRUEBA DE VERIFICACIÓN DE LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO DE INMERSIÓN PROLONGADA.....	61
3.5 DETERMINACIÓN DE LA PENETRACIÓN Y RETENCIÓN EN PROBETAS DE BAMBÚ TRATADAS POR VACÍO-PRESIÓN .....	62
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>67</b>
<b>6. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>69</b>
<b>ANEXO 1 .....</b>	<b>74</b>
ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS CARACTERÍSTICAS DE PRESERVACIÓN DE <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> KUNTH EN TRATAMIENTOS DE INMERSIÓN PROLONGADA.....	74
<b>ANEXO 2 .....</b>	<b>84</b>

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS.....	84
<b>ANEXO 3 .....</b>	<b>89</b>
CONSTANCIA DE ESTUDIOS ANATÓMICOS DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA .....	89
<b>ANEXO 4 .....</b>	<b>90</b>
INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN FOLIAR. CONTENIDO DE BORO. LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES. ....	90

## Lista de cuadros

Página

<b>CUADRO 1</b>	DESCRIPCIÓN Y UTILIZACIÓN DE LA GUADUA .....	12
<b>CUADRO 2</b>	COMPOSICIÓN DEL PRESERVANTE.....	30
<b>CUADRO 3</b>	GRADO DE RESISTENCIA AL HONGO XILÓFAGO.....	37
<b>CUADRO 4</b>	DISEÑO EXPERIMENTAL PARA EL ENSAYO DEL VALOR EFICAZ CON EL EMPLEO DE TERMITES DE MADERA SECA. ....	41
<b>CUADRO 5</b>	DISEÑO EXPERIMENTAL DEL ENSAYO DE INMERSIÓN.....	43
<b>CUADRO 6</b>	TRATAMIENTOS PARA LA PRUEBA ESTADÍSTICA .....	46
<b>CUADRO 7</b>	CLASIFICACIÓN DE LAS PROBETAS DE <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> POR SU DURABILIDAD NATURAL SOMETIDAS A LA ACCIÓN DE DOS HONGOS DE PUDRICIÓN BLANCA.....	52
<b>CUADRO 8</b>	INTENSIDAD DE DAÑOS CAUSADOS POR <i>CRYPTOTERMES BREVIS</i> EN PROBETAS DE <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> PRESERVADAS CON PENTABORATO A CONCENTRACIÓN GRADIENTE. ....	53
<b>CUADRO 9</b>	RETENCIÓN DEL COMPUESTO ACTIVO EN PROBETAS DE <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> PRESERVADAS CON PENTABORATO A CONCENTRACIONES GRADIENTES. ....	54
<b>CUADRO 10</b>	RETENCIÓN CALCULADA EN PROBETAS DE <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> PRESERVADAS CON PENTABORATO.....	55
<b>CUADRO 11</b>	COMPARACIÓN DE PROMEDIOS ENTRE LOS TRATAMIENTOS .....	56
<b>CUADRO 12</b>	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN PROMEDIO EN PROBETAS PERFORADAS Y SIN PERFORAR DE <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> POR INMERSIÓN PROLONGADA. ....	57
<b>CUADRO 13</b>	CALCULO DE LA RETENCIÓN POR ESPECTROFOTOMETRÍA.....	59
<b>CUADRO 14</b>	INTENSIDAD DEL DAÑO CAUSADO POR TERMITAS EN PROBETAS DE <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> PRESERVADAS AL 2%.....	62
<b>CUADRO 15</b>	PARÁMETROS DE EVALUACIÓN EN PROBETAS DE <i>GUADUA ANGUSTIFOLIA</i> TRATADAS POR VACÍO-PRESIÓN. ....	63

## *Lista de figuras*

Página

<b>FIGURA 1</b>	. SECCIÓN LONGITUDINAL DEL CULMO Ó TALLO. (MANUAL DE CONSTRUCCIÓN CON BAMBÚ. CNETRO DE INVESTIGACIÓN DE BAMBÚ MADERA (CIBAM).) .....	13
<b>FIGURA 2</b>	DIAGRAMA DEL PROCEDIMIENTO .....	33
<b>FIGURA 3</b>	OBTENCIÓN DE PROBETAS DE BAMBÚ.....	38
<b>FIGURA 4</b>	PENETRACIÓN EN PROBETAS DE BAMBÚ PERFORADAS (P) POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN PROLONGADA A 24, 36, 72 Y 108 HORAS. ....	58
<b>FIGURA 5</b>	PENETRACIÓN EN PROBETAS DE BAMBÚ SIN PERFORAR (SP) POR EL MÉTODO DE INMERSIÓN PROLONGADA A 24, 36, 72 Y 108 HORAS. ....	58
<b>FIGURA 6</b>	RETENCIÓN DE BORO EN BAMBÚ PREFORADO. ....	60
<b>FIGURA 7</b>	RETENCIÓN DE BORO EN BAMBÚ SIN PERFORAR.....	61
<b>FIGURA 8</b>	RETENCIÓN PROMEDIO DE BORO EN PROBETAS DE GUADUA ANGUSTIFOLIA PRESERVADAS POR INMERSIÓN PROLONGADA Y VACÍO-PRESIÓN. ....	64
<b>FIGURA 9</b>	PENETRACIÓN EN PROBETA DE BAMBÚ POR LA MITAD (CORTE LONGITUDINAL) POR VACÍO-PRESIÓN.....	64
<b>FIGURA 10</b>	PENETRACIÓN EN PROBETA DE BAMBÚ ENTERA PERFORADA TRATADA POR VACÍO-PRESIÓN.....	65
<b>FIGURA 11</b>	PENETRACIÓN EN PROBETA DE BAMBÚ ENTERA PERFORADA TRATADA POR VACÍO-PRESIÓN.....	65
<b>FIGURA 12</b>	PENETRACIÓN EN PROBETA DE BAMBÚ ENTERA SIN PERFORAR TRATADA POR VACÍO-PRESIÓN.....	66
<b>FIGURA 13</b>	PENETRACIÓN EN PROBETA DE BAMBÚ ENTERA SIN PERFORAR TRATADA POR VACÍO-PRESIÓN.....	66

## 1. INTRODUCCIÓN

El bambú es una planta de amplia distribución, común en las regiones tropicales, encontrándose principalmente en los continentes de América y Asia. Es conocida como la gramínea más grande del planeta y tiene un alto valor económico por tratarse de un recurso natural que se puede utilizar de diversas formas, desde artículos artesanales y utilitarios hasta productos industriales y componentes estructurales de puentes y edificios.

El Ministerio de Agricultura menciona que en el Perú la superficie total de las asociaciones naturales de bambú es de aproximadamente 39978 km<sup>2</sup>, lo cual representa el 3.11% del territorio nacional. Se encuentra en asociaciones naturales en los departamentos de Ucayali, Ica, Tumbes, Madre de Dios, San Martín, Lima, Pasco y Junín; zonas de gran potencial para las actividades de extracción, procesamiento y comercialización de la caña de bambú

Son varias las especies identificadas en nuestro territorio, la mayoría de ellas son utilizadas en construcción, destacando *Guadua angustifolia* por sus excelentes propiedades físico-mecánicas. Takahashi y Ascencios (2004) mencionan que la especie *Guadua angustifolia* aparentemente fue introducida en el país y se encuentra presente en 16 de los 24 departamentos del Perú, Espinoza (s.f) indica que la superficie estimada de plantaciones, de esta especie, en el distrito de La Florida departamento de Cajamarca es de 450 hectáreas

El bambú, sin embargo, por ser un material de naturaleza orgánica, es susceptible al ataque de organismos biológicos causantes de su deterioro. Ello representa una limitante para su uso extendido, lo que implica el empleo de técnicas que ayuden a prolongar la vida útil de este material.

Es en este sentido que la presente investigación tiene como objetivo determinar las características de preservación de *Guadua angustifolia* por el método de inmersión prolongada, empleando un compuesto a base de boro como preservante. Los resultados que se generen contribuirán al conocimiento sobre las técnicas adecuadas para la preservación del



bambú, y de esta manera, generar alternativas para un aprovechamiento racional del recurso por parte de las poblaciones rurales y un uso eficiente del mismo por parte de la industria nacional.

## 2. **REVISIÓN DE LITERATURA**

### 2.1 **DESCRIPCIÓN DE LA ESPECIE**

#### 2.1.1 **TAXONOMÍA**

Castaño y Moreno (2004), mencionan que el género *Guadua* es el bambú americano de más amplia distribución, es una gramínea que pertenece a la familia Poaceae, más específicamente a la subfamilia Bambusoideae, tribu Bambuseae, subtribu Guaduinæ y género *Guadua*.

Judziewics, citado por Castaño y Moreno (2004), indica que el género *Guadua* reúne las 30 especies de bambúes más grandes y económicamente más importantes de América tropical.

Londoño (1998), asegura que *Guadua angustifolia* fue descubierta por Humboldt y Bonpland en 1806. Esta constituye un complejo que incluye *Guadua angustifolia* y dos parientes cercanos *Guadua aculeata* y *Bambusa chacoensis*, generalmente confundida o identificada como *Guadua angustifolia*. Además señala que *Guadua angustifolia* tiene tres variedades (o razas geográficas): var. *angustifolia*, var. *bicolor* y var. *nigra*.

Young y Judd, citados por Londoño (1998), consideran a *Guadua angustifolia* y *Bambusa chacoensis* subespecies (subespecie *angustifolia* y *chacoensis* respectivamente).

## 2.1.2 MORFOLOGÍA

Según McClure, citado por Castaño y Moreno (2004), los bambúes están conformados principalmente por rizomas, culmos (tallo o caña) y ramas, además de yemas, hojas caulinares, follaje, inflorescencia y frutos.

Asimismo, mencionan que el culmo es ascendente o erecto, con dirección vertical y alguna tendencia oblicua en su parte apical; en condiciones ambientales normales alcanza en promedio entre 18 y 20 m de longitud. Es de forma cilíndrica, con un diámetro de entre 10 y 12 cm y paredes con grosores entre 2 y 5 cm, donde se evidencia de manera notoria la presencia de los vasos conductores; por su textura es un tallo con alto contenido de leño o tejido duro compuesto principalmente de células con paredes gruesas, que constituyen tejidos altamente diferenciados, visibles y muy utilizados como alternativa energética, leña.

Giraldo y Sabogal (1999) mencionan que el culmo presenta estructuras muy especiales. Se destacan los nudos y entrenudos; el nudo es el área del culmo donde crecen ramas con hojas, producto de la yema nodal que fisiológicamente se activa; el nudo ocupa toda la sección del culmo y se caracteriza por formar una zona más abultada, con una contracción o acanalamiento típico de la especie y resultado de la presión que se genera por la activación de la yema que normalmente está presente en esta parte de la planta; en la parte interna del nudo se desarrolla un tabique transversal que interrumpe la cavidad que se denomina entrenudo y se clasifica como fistuloso por ser hueco y sin médula central.

Los mismos autores citan que en la distribución de los nudos en el culmo del bambú existen diferencias poco perceptibles. En cuanto a la longitud, por lo general, los nudos en la base se encuentran más próximos entre sí, haciendo los entrenudos cortos; hacia el ápice los entrenudos

se alargan progresivamente. Un tallo de bambú, en condiciones normales tiene entre 70 y 80 entrenudos, con longitud promedio de 26 cm.

Un aspecto típico y característico del género *Guadua* es la no presencia en la zona media de diferenciación de yemas nodales por lo cual esta área queda desprovista de ramas durante todas las fases de desarrollo.

El patrón de ramificación no varía significativamente dentro de *Guadua angustifolia*. La disposición de las ramas a través del culmo es alterna, tienen como base y sustento el tallo y se originan a partir de la yema nodal, sirve como soporte a las hojas o laminas foliares que son encargadas de procesos fisiológicos en la planta.

Giraldo y Sabogal (1999) indican que por la posición de las ramas en el culmo y por la función que cumplen, se han clasificado en ramas basales o bajas y ramas apicales o superiores; cada una cumple funciones específicas y se diferencian claramente.

Los mismos autores señalan que las ramas basales o bajas se encuentran en los culmos o tallos en los primeros 8 o 9 metros, estas ramas poseen entrenudos más cortos en la base o parte cercana a la yema, en el nudo de la rama se producen entre 2 a 4 espinas agudas, que son el principal problema en las faenas de aprovechamiento.

Asimismo, indican que las ramas apicales o superiores se localizan a partir de los 12 metros de altura del tallo, las yemas ubicadas de manera alterna se activan y generan ramas con crecimiento casi ortotrópico, las cuales en orden ascendente van disminuyendo en longitud de manera gradual hacia el ápice. Estas ramas apicales conforman lo que se denomina el copo de la planta y constituyen cerca del 40% de biomasa de la misma; realizan casi la totalidad de las

actividades filológicas, siendo importante la incorporación directamente al suelo de la biomasa, ya que en el aprovechamiento de la *Guadua* el copo se pica y se esparce en el suelo.

### 2.1.3 ANATOMÍA

Londoño et al (2003), mencionan que en *Guadua angustifolia* el tejido del culmo está compuesto, como en los otros bambúes, por: a) corteza, b) células de parénquima, c) haces vasculares, los cuales están conformados por células de esclerénquima, vasos (metaxilema, floema, protoxilema) y por tubos cribosos con células acompañantes.

Según Liese (1998), un culmo está conformado en un 52% por tejido de parénquima, en un 40% por fibras y en un 8% por tejido conductivo, estos valores varían con la especie. En el caso de *Guadua angustifolia* esta composición es: 51% parénquima, 40% fibras y 9% tejido conductivo. Los mismos autores señalan que todas las células de un entrenudo de bambú están orientadas axialmente. Los bambúes, no poseen ningún tipo especial de células que permita el transporte radial como si sucede con el tejido de cambium de las dicotiledóneas y en las gimnospermas.

Londoño (2003), sobre las características del culmo de *Guadua angustifolia* menciona lo siguiente:

#### a) Corteza

Sus funciones son prevenir la pérdida de agua y proteger el tejido. La corteza está compuesta por epidermis e hipodermis, además no se evidencia una película de cera la cual es común en otros bambúes

La epidermis está compuesta por células largas entremezcladas con células cortas y con estomas. Las células cortas, de corcho y de sílice están agrupadas en pares entre las células largas. La alta concentración de cuerpos silitos en la epidermis del culmo de *Guadua angustifolia* contribuye a la dureza de su madera.

El mismo autor menciona que la hipodermis consiste de 2 a 3 capas de células esclerenquimatosas de pared gruesa. El tamaño de estas células se incrementa desde la periferia hacia la parte interna.

También indica que el diámetro y el espesor de la pared decrecen desde la porción basal hacia la porción apical, mientras que la longitud de los entrenudos se incrementa.

#### Parénquima

En un corte longitudinal del culmo, se observa que el tejido de parénquima está compuesto por células largas y células cortas. Las células largas generalmente tienen paredes más gruesas mientras que las células cortas se caracterizan por tener citoplasmas más densos, paredes delgadas y no se lignifican con la edad.

Nieto (2008) menciona que el parénquima de *Guadua angustifolia* es de color crema y visible a simple vista, su distribución con respecto a toda la superficie transversal, es menor en la parte externa y aumenta conforme se acerca a la parte interna.

### Haces vasculares

La estructura anatómica del culmo está principalmente determinada por los haces vasculares colaterales embebidos en el tejido del parénquima. La forma, tamaño, número y concentración de haces vasculares varía desde la periferia hacia la parte interna del culmo y desde la base del culmo hacia el ápice del mismo, de allí que un entrenudo del segmento basal del culmo exhiba una estructura muy diferente al de uno del segmento medio y este a su vez sea considerablemente diferente de uno del segmento apical.

Cerca de la periferia los haces vasculares son pequeños, numerosos y concentrados mientras que en la parte media del culmo son más grandes y con una distribución más amplia. En todos los bambúes el tamaño de los haces vasculares decrece notoriamente desde la base hacia el ápice pero su densidad se incrementa correspondientemente.

Un haz vascular de *Guadua angustifolia*, está compuesto por: dos grandes vasos de metaxilema, uno o dos elementos de protoxilema, por el floema y por las vainas de esclerénquima y de fibras.

Nieto (2008) indica que los haces vasculares están rodeados por cuatro vainas esclerenquimatosas, dos a cada lado del metaxilema, otro alrededor del protoxilema y otro alrededor del floema, todos estos elementos se encuentran rodeados por células parenquimatosas.

## Metaxilema

Consiste de dos grandes vasos separados por tejidos de parénquima, entre los cuales hay un espacio intercelular. Los vasos del metaxilema están rodeados por células de parénquima lignificadas, sin embargo, el parénquima alrededor del espacio intercelular permanece siempre sin lignificar. Las células del parénquima que rodean el haz vascular generalmente son más pequeñas que las del tejido grueso o parenquimoso y poseen más orificios en sus paredes.

Los vasos del metaxilema en la periferia del culmo son más pequeños, mientras que aumentan de tamaño hacia la parte media e interna, este comportamiento es constante a lo largo de todo el proceso de maduración del culmo. También se observa que los vasos son más gruesos en el segmento medio del culmo que en los segmentos basal y apical. Según Liese (1998) el tamaño y área de los vasos de metaxilema son determinantes en la conductividad del agua en los bambúes e importantes para la preservación.

## Floema

Está compuesto por tubos cribosos grandes de paredes delgadas y sin lignificar, siempre conectados con células acompañantes. En *Guadua angustifolia* el floema está compuesto por 14 – 35 tubos cribosos.

Con la edad, estos vasos conductores pueden obstruirse parcialmente debido a la deposición de sustancias como gomas (tyloses y limos) las cuales contribuyen a la pérdida de la conductividad y en últimas a la muerte del culmo.



## Vainas de esclerénquima y de fibras

El haz vascular del tejido conductivo (floema y xilema) está rodeado por vainas de esclerénquima. Los haces vasculares de la parte central e interna de la pared del culmo presentan cuatro (4) vainas de esclerénquima, una a cada lado de los vasos del metaxilema, uno alrededor del floema y el otro alrededor del espacio intercelular. Además de las cuatro vainas de esclerénquima, la mayoría de las especies de bambúes presentan haces de fibras arriba y abajo del haz vascular central.

## 2.2 USOS

Según Castaño y Moreno (2004) la variedad de usos que la guadua ofrece es uno de los aspectos más remarcables de esta especie, esto gracias a su versatilidad, y excelentes propiedades físicas y mecánicas. Asimismo indican que presentan una gran gama de usos y aplicaciones que oscilan desde artículos artesanales o manualidades (lapiceros, llaveros, palillos, cerillas, aretes, pitos, collares, cofres y artesanías) de utilidad (salas, comedores, alcobas, bares, instrumentos musicales de alta percusión, utensilios de cocina, vajillas, cesterías, alcancías, relojes, ceniceros, cigarreras, portapapeles, pisapapeles, fruteros y lámparas.), pasando por el diseño para interiores y exteriores, como material de construcción (cimientos, columnas, cerchas de techos y paredes, viguetas, entrepisos, etc.) hasta en paneles chapados y contrachapado, tableros aglomerados, parquet para pisos, tablilla machambrada y pulpa para papel.

El Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (2004), indica que el mayor consumo de guadua está asociado a la construcción, tanto aquella de carácter permanente como temporal. Esto se debe a sus asombrosas propiedades de resistencia, livianidad y flexibilidad, al igual que su abundancia. La guadua puede sustituir a la madera en la industria de la construcción al tener una relación resistencia / peso tan alta como las mejores maderas, con una ventaja a su favor y es la de ser un recurso natural renovable de rápido crecimiento y fácil manejo, que además aporta importantes beneficios ecológicos durante su crecimiento.

Giraldo y Sabogal (1999), indican que una de las demandas principales de la guadua es la esterilla, que se emplea en paredes, pisos, techos, láminas y paneles. Este producto presenta mayor valor agregado en el proceso de comercialización y transformación.

Para Castaño y Moreno (2004), los distintos cortes que se pueden realizar a la guadua dependen del uso al que se destinarán los tallos, según lo indique la demanda en el mercado. Los tipos de uso, a su vez, están relacionados con los patrones culturales de empleo de la guadua en la construcción y la agroindustria propios de cada región.

De acuerdo con el Centro de Investigación de Bambú Madera CIBAM (1981), la guadua se divide en seis partes a lo largo de su sección longitudinal, como se indica en el Cuadro N° 1 y Figura N° 1, donde cada una presenta un uso particular.

**Cuadro 1** Descripción y utilización de la guadua

<b>Parte</b>	<b>Descripción</b>	<b>Utilización</b>
RIZOMA	Es un tallo modificado, subterráneo, que conforma el soporte de la planta.  Popularmente se conoce como "caimán". Las raíces o rizomas se pueden encontrar hasta 2 metros de profundidad.	En decoración y juegos infantiles.
CEPA	Es la sección basal del culmo con mayor diámetro, la distancia de sus entrenudos es corta, lo cual le proporciona una mayor resistencia. Su longitud es aproximadamente de 3 metros	Se utiliza para columnas en construcción, cercos y entibados; para estabilidad de taludes tiene gran uso, dada su sección. En cuanto al comportamiento frente a esfuerzos de flexión, esta parte de la guadua se comporta muy bien, gracias a la corta distancia entre nudos.
BASA	Parte de la guadua que posee mayores usos, debido a que su diámetro es intermedio y la distancia entre nudos es mayor que en la cepa; tiene una longitud aproximada de 8 metros	Si el tallo es de buen diámetro se utilizan también para columnas, además de esta sección se elabora la esterilla, la cual tiene múltiples usos en construcción de casetones, paredes, postes y para formaletear. Es el tramo más comercial de la guadua.
SOBREBASA	El diámetro es menor y la distancia entre nudos es un poco mayor comparada con la basa. Es un tramo de guadua con buen comercio, debido a su diámetro que permite buenos usos. La longitud es de aproximadamente 4 metros.	Utilizada como elemento de soporte en estructuras de concreto de edificios en construcción (punta). También se emplea como viguetas para formaletear vaciados de losas, vigas y columnas.
VARILLÓN	Sección de menor diámetro. Su longitud tiene aproximadamente 3 metros	Generalmente se utiliza en la construcción como apuntalamientos y como soporte (correa) para disponer tejas de barro o paja.
COPA	Es la parte apical de la guadua, con una longitud entre 1.20 a 2.0 metros.	Se pica en el suelo del guadual como aporte de materia orgánica.
<p><i>Fuente: Corporación Autónoma Regional Del Quindío. Centro Nacional Para el Estudio Del Bambú-Guadua. Hojas informativas No. 1 al 15</i></p>		

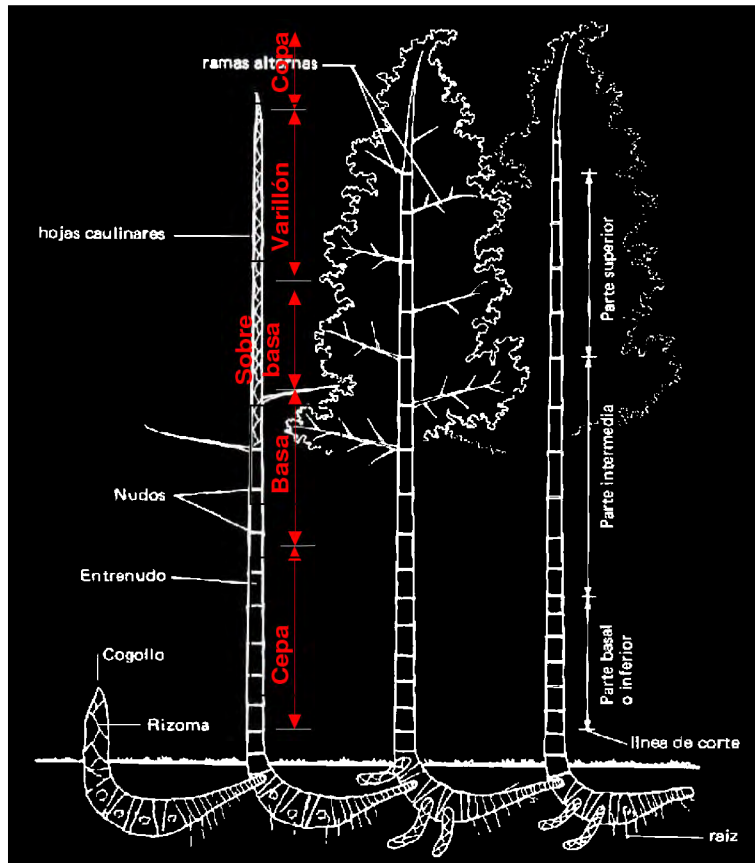


Figura 1 . Sección longitudinal del culmo ó tallo. (Manual de Construcción con Bambú. Cnetro de Investigación de Bambú Madera (CIBAM).)

### 2.3 BIODEGRADACIÓN DEL BAMBU

Según Liese (2004), en la guadua los agentes químicos de las células son celulosa (50%), hemicelulosa (25%) y lignina (25%), similares a la madera. El almidón, que se almacena como recurso energético en las células de parénquima, se encuentra entre 2% a 10%. Su presencia se ve influenciada por la edad y altura del tallo, pero más decisivamente por la temporada climática. Los tallos maduros cosechados después de que los retoños se han extendido, tendrán un contenido muy bajo de almidón, resultando en una cierta “resistencia natural”. Los tallos florecidos ya no contienen almidón.

El mismo autor indica que, sin embargo, el bambú no produce los componentes tóxicos con el envejecimiento, como el duramen de muchos árboles. Su durabilidad natural contra la biodegradación es generalmente bastante baja, con solo ligeras diferencias entre las especies. El contenido de sílice (0.5-4%) no tiene impacto.

Liese (2004) menciona también que las construcciones con bambú pueden ser atacadas por insectos y hongos. El insecto más común es el escarabajo del polvo, el cual ataca a tallos almacenados y artesanías de bambú los que pueden reducirse a polvo. El ataque de las larvas depende del almidón y los carbohidratos solubles en el parénquima y prefieren la parte interna del culmo o tallo, considerando que la parte exterior es más fibrosa y solo se daña mecánicamente.

El mismo autor indica que el bambú, es principalmente, destruido por los hongos de pudrición blanca, por ejemplo *Schizophyllum commune*, llevándolo finalmente a una masa fibrosa. Antes de que un ligero cambio del color o la pérdida de masa indiquen la acción del hongo, ya se han reducido las propiedades físico-mecánicas. Menos comunes son los hongos de pudrición blanca que crecen dentro de la pared celular y degradan los carbohidratos, ellos son tolerantes a menos oxígeno, a una humedad alta y pueden resistir la concentración tóxica de muchos preservantes químicos. Los culmos o tallos en el contacto con la tierra, generalmente, son atacados por este grupo de hongos.

## 2.4 MÉTODOS DE PRESERVACIÓN

González (1986), manifiesta que la preservación tiene por objeto modificar la composición química de la madera, mediante la impregnación de un preservante, haciéndola no aceptable para los organismos biológicos.

Vásquez y Recabarren (2005), indican que el método o proceso de aplicación que se tenga con el preservante tiene mucha importancia en el resultado del tratamiento. Para el éxito de la preservación, es necesario que la madera contenga una cantidad adecuada de preservante para el uso que se le desea dar. Sin embargo es necesario resaltar que hasta la fecha no se ha logrado idear un método práctico para preservar que garantice la penetración profunda y uniforme en todas las especies y a un costo razonable.

Según Vaca de Fuentes (1998), los tratamientos se agrupan en dos categorías, en profilácticos y de preservación. Los métodos profilácticos conservan la calidad de la madera por un tiempo relativamente corto antes de ser procesadas, aserradas y secadas.

Jayanetti & Follet, Liese & Kumar citados por Liese (2004), indican que la corta duración de un culmo de bambú y su deterioro cuando está expuesto a la intemperie requiere, por principio, un tratamiento con soluciones químicas para lograr usos de más largos plazos.

Según Liese (2004), para la preservación de bambú se debe introducir el preservante a la estructura del tallo o culmo, tan profunda y uniformemente, como sea posible. El éxito depende de los siguientes factores: La tratabilidad del tallo de bambú, su contenido de humedad, el tipo de preservante y del método usado. Asimismo indica que la estructura anatómica presenta dificultades para un tratamiento químico eficiente, debido a que el bambú tiene más resistencia a la penetración que la madera. En su lado exterior, el tallo es protegido por una epidermis como sello hermético. No hay cambios de penetración radial, como las células radiales en la madera.

Liese (2004) también describe que la preservación con soluciones químicas se logra a través de los haces vasculares del tallo fresco, que todavía están llenos de agua, usando el método simple de sumergir el extremo en un balde o por el método de desplazamiento de savia. Tanto el tejido del parénquima, como también las fibras de un tallo fresco pueden protegerse con el método de difusión vertical.

El mismo autor menciona cuales son los factores que influyen en la tratabilidad y la preservación del tallo de bambú, siendo estos:

*Los factores anatómicos:* Liese (1998) indica que la tratabilidad del tejido de bambú es generalmente baja, debido a su estructura anatómica que hace que el tallo sea, considerablemente, más resistente a la penetración que la madera. Su estructura general solo difiere, ligeramente, entre las especies. Para la penetración de preservantes podemos contar con las paredes internas, así como por la sección en los extremos.

El mismo autor señala que el tallo o culmo está cubierto, tanto en su capa exterior como también en su lado interno, hacia el lumen, con capas confinadas de células especiales. La parte exterior, la corteza, consiste en células densamente aglomeradas, a menudo, cubierta con una capa de cera que mantiene un sello hermético, que es necesario en el culmo viviente, para prevenir cualquier pérdida de agua. Por ende, también impide cualquier captación de líquidos, por lo cual, restringe los tratamientos simples y obliga a la difusión.

Liese (2004), manifiesta que las avenidas principales, para cualquier penetración, están accesibles por los vasos en el extremo cortado del tallo. Estos vasos son distribuidos de forma irregular y ocupan entre el 8 y 10 % del área total de la sección atravesada. Su orientación, fuertemente axial, se distorsiona en los nodos.

*El contenido de la humedad:* Liese (2004), menciona que el contenido de humedad del tallo tiene una influencia en la resistencia biológica, la tratabilidad y así, en el efecto de la protección. Es determinado por el agua dentro del lumen celular, sobre todo en los vasos, y en el agua que esta fija en las paredes celulares. Cuando toda el agua líquida se ha evaporado, se alcanza el punto de “saturación de las fibras” de aproximadamente 20% de humedad.

Para el mismo autor la humedad relativa de un tallo verde va entre 60-140%, esto varía entre las especies, así como la edad, altura del tallo y estación. Los tallos más jóvenes tienen, más bien, una humedad mayor de 100% los más viejos entre 60-90 %. En un tallo, la parte más baja

es la que tiene una humedad más alta, esto relacionado a la cantidad de parénquima presente. Pero más importante, al hablar de la humedad, es la influencia estacional, la humedad relativa es muy baja durante los meses más secos que durante la estación lluviosa.

El propio Liese (2004), manifiesta que para el método de reemplazo de savia se requieren tallos de bambú frescos, con los vasos llenos de agua, también para la difusión vertical, como para el método de sumergimiento se necesitan tallos cortados recientemente. Durante el inicio del periodo de secado (o maduración) se pueden utilizar los bambúes, tanto para métodos de sumergimiento, como para difusión con preservantes solubles en agua. Cuanto más maduros se encuentren los tallos, estos se vuelven más refractarios y la penetración depende, principalmente, de las fuerzas internas al nivel capilar. También se indica que para tallos que están “secos al aire” se puede lograr una penetración por presión externa.

Según Hidalgo, citado por Giraldo y Sabogal (1999), una de las formas de preservar la Guadua para garantizar la buena durabilidad es el empleo de prácticas naturales y tradicionales entre los agricultores, como la del buen corte y curado, que tienen como fin reducir los contenidos de agua, almidón y azúcar existentes al interior de los tejidos del tallo.

#### 2.4.1 TÉCNICAS DE PRESERVACIÓN

Giraldo y Sabogal (1999); Moran (2002); Castaño y Moreno (2004) manifiestan que existen técnicas de naturales de conservación, que nacen de la experimentación empírica del campesino y que con el transcurrir del tiempo se han confrontado con el conocimiento técnico e investigativo, tales como una adecuada selección de culmos o tallos y época de corte, y un secado al aire, que garantizan una mayor durabilidad y disminuyen la vulnerabilidad frente a los insectos. Estas prácticas son conocidas comúnmente como tratamientos de preservación natural.



Según la Norma Técnica Colombiana NTC 5301-2007 los tratamientos de preservación para la *Guadua Angustifolia* Kunth se clasifican en: sin presión, tratamiento natural (avinagrado e inmersión en agua), difusión vertical e inmersión en soluciones; y con presión: desplazamiento de savia (boucherie modificado) y tratamiento correctivo por aspersión.

#### **a) Métodos Tradicionales de Preservación**

Según Villegas (2000); Hidalgo (1974); Liese (1985) y Castaño y Moreno (2004), indican que existen tratamientos que aplicados convenientemente a los culmos, tales como ahumado o calentamiento en hornos, curado al calor e inmersión en agua corriente, disminuyen el contenido de humedad y de sustancias nutritivas ricas en azúcares y almidones; reduciendo de esta manera la susceptibilidad a la biodegradación y se mejora la absorción de preservantes por difusión y presión.

#### **b) Métodos de Preservación Química**

Según Giraldo y Sabogal (1999), estas técnicas se consideran el complemento ideal a la preservación natural de la Guadua. Consisten en el empleo de productos químicos (insecticidas y fungicidas), que se encuentran en el mercado los cuales aseguran una vida más larga para el bambú y tienen características específicas para las condiciones del culmo (verde<sup>1</sup> o seco) cuya efectividad dependerá de la forma de aplicarlos.

Los mismos autores señalan que generalmente estos productos químicos deben ser muy activos, que no afecten los tejidos, que sean solubles en agua y que no modifiquen las características externas de la Guadua. También deben ser resistentes a la lluvia o humedad, para evitar el lavado de los mismos, y que no tengan olor fuerte ni desagradable.

---

<sup>1</sup> Se refiere, en este caso, a los culmos recién cosechados con ramas y follaje.

Hidalgo, Liese y Singh y Tewari citados por Burgos (2003), mencionan que los métodos más efectivos de preservación cuando se tienen cañas o culmos de bambú verdes o húmedos son: el proceso boucherie simple (gravedad), boucherie modificado (por presión) y el proceso de difusión, por medio de estos tratamientos se logra reemplazar la savia de los culmos por soluciones de sales hidrosolubles.

Para aquellos culmos de bambú secos, según Encinas (2005) y Burgos (2003), los mejores tratamientos de preservación son aquellos en que las cañas o culmos están sumergidos en una solución preservadora y la penetración de las sales se dan por medio de la difusión. Los tratamientos más comunes son inmersión, baño caliente y tratamiento salino.

Encinas (2005) indica que la inmersión consiste en sumergir las piezas de madera en una solución preservadora. Dicho tratamiento se debe llevar a cabo en un recipiente apropiado, de modo que puedan quedar las piezas totalmente cubiertas con el producto o sustancia química. Indica también que el tiempo de inmersión está relacionado con el tamaño de la pieza, según Hidalgo, citado por Giraldo y Sabogal (1999) menciona que para tratar el bambú por inmersión, los tallos se colocan horizontal o verticalmente dentro de un tanque con preservante por un tiempo no menor a 12 horas. De la misma manera los autores indican que la difusión del preservante estará sujeto a varios factores: espesor, contenido de humedad, peso específico del leño, concentración de la solución, tiempo.

Generalmente, según lo indicado por el Centro Nacional para el estudio del bambú-guadua (s.f), una mezcla empleada para la preservación del bambú, que va a ser empleado en interiores, es una solución salina denominada “Pentaborato”, mezcla química de bórax y ácido bórico.

Según Burgos (2003) el tratamiento de baño caliente consiste en sumergir el bambú durante un tiempo determinado en una solución preservante caliente y luego en otra a temperatura

ambiente. Al calentar el bambú, el aire contenido en su interior se expande y sale de él. Luego, durante el enfriamiento, se produce un vacío parcial que favorece la penetración e incrementa la absorción de la solución preservante.

La JUNAC (1988) refiere que los preservantes oleosolubles son los más indicados para este tipo de tratamiento, debido a que resisten altas temperaturas, entre 70 a 90°C.

Giraldo y Sabogal (1999) refieren que el tratamiento salino consiste en la inmersión de la guadua en mínimo dos baños salinos con un periodo total de 120 horas a temperatura ambiente en tanque para inmunizado y recomienda el pentaclofenato sódico.

#### 2.4.2 ANATOMÍA VS. MÉTODOS DE PRESERVACIÓN

Liese (1998) indica que la estructura anatómica del culmo de bambú dificulta tratarlo efectivamente ya que el bambú es más resistente que la madera a la penetración de los químicos. Esta penetración de los preservantes está limitada por las siguientes características anatómicas:

Los vasos del metaxilema son los principales canales de penetración y circulan en una fuerte dirección axial o apical. En el entrenudo, estos vasos están aislados unos de otros por el parénquima y están conectados únicamente en el diafragma del nudo. Los vasos son pequeños en la periferia de la pared del culmo e incrementan de tamaño hacia la parte central e interna. Comparativamente con las maderas, el porcentaje de tejido conductivo en los bambúes es muy bajo, 5-10%, mientras que en las maderas blandas es de 70% y en las duras de 30%.

La circulación por los vasos se reduce tan pronto como el culmo es cosechado y madurado. Como reacción a la herida se desarrollan tilosis y limos en las células del parénquima vecino que se desplazan hacia los vasos, bloqueando la cavidad conductiva.

No existen células orientadas radialmente como si existen en las maderas. Estas células radiales son esenciales para facilitar la movilización de líquidos desde la periferia hacia la parte interna. De allí que el movimiento horizontal de los preservantes desde los vasos conductivos hacia el tejido de parénquima vecino y hacia las fibras se realiza únicamente por difusión y es por lo tanto un proceso muy lento.

La penetración de los preservantes dentro del culmo se realiza preferiblemente en sentido apical, a través de los vasos conductivos. Alguna penetración ocurre en los nudos cuando se cortan las ramas. Sin embargo, la penetración radial a través de la pared externa del culmo se dificulta por la oposición que ejerce la epidermis y la cera que protegen el culmo.

Como consecuencia de lo anterior, los tratamientos en donde se utiliza el método de inmersión, tienen una eficacia limitada, son demorados debido a la baja penetración del líquido preservante a través de la pared del culmo. Para mejorar la penetración utilizando este método, se recomienda raspar la piel externa también como la pared interna, y taladrar los entrenudos para que el preservante penetre.

Los buenos resultados de preservación se logran cuando se utiliza como canales de transporte, los elementos conductivos de un culmo recién cortado, lleno de agua y de nutrientes. Un método simple es coger un culmo fresco en el cultivo, con ramas y hojas, y colocar el extremo más inferior dentro de un balde con preservante. La transpiración que realiza la planta por las hojas permite subir el preservante.

El proceso más eficiente es el proceso Boucherie modificado que consiste en desplazar la sabia de un culmo fresco de bambú mediante la aplicación de preservante en un extremo del culmo, utilizando una presión moderada de aproximadamente una (01) atmósfera. La presión tiene que mantenerse hasta que casi todos los vasos estén llenos con el preservante. y está relacionada directamente con el tamaño del vaso del metaxilema, carácter anatómico que es muy específico.

A menor tamaño del vaso conductivo, se requiere mayor tiempo de presión, es decir que el tamaño del vaso es el que determina el flujo del líquido y el tiempo de presión. En los bambúes solamente se trata entre el 5-8% del volumen de los vasos de todo el culmo. Para una verdadera protección del culmo se requiere que exista una difusión del preservante desde el vaso conductivo hacia los tejidos circundantes.

En *Guadua angustifolia* el porcentaje de tejido conductivo global, calculado para la totalidad del culmo (basal, media, apical) fue de 9%. Los haces del metaxilema de la porción basal y media son de mayor tamaño que los de la porción apical, registrando los primeros diámetros promedios de 0.14 mm y 0.16 mm respectivamente, mientras que los de la porción apical registran diámetros de 0.11 mm.

## 2.5 PRESERVANTES

Según Giraldo y Sabogal (1999), entre los preservante químicos más utilizados tenemos:

Pentaborato:

Consiste en la mezcla de ácido bórico ( $H_3BO_3$ ) y bórax ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ ), de uso frecuente debido al bajo costo, fácil aplicación y buena eficiencia especialmente cuando se emplea en guadua que no va a permanecer expuesta a la intemperie, según la JUNAC (1988), debe ser utilizada solamente en interiores o en lugares secos para evitar que el producto se lixivie por acción de la humedad. Los compuestos de boro tienen la ventaja de no teñir la guadua, ser tóxicos para hongos e insectos, pero inocuos para el hombre y los animales domésticos.

Eaton y Hale (1993) indican que el boro es relativamente inofensivo para el ser humano y ambientalmente aceptable.

Otras soluciones:

Naftenato de cobre en solución orgánica, caracterizado por la baja toxicidad y nula contaminación: alta efectividad contra insectos y hongos, económico, de fácil aplicación y buena duración. Adicionalmente se ha demostrado que este producto evita la degradación de la celulosa, lo cual hace más importante su acción ya que no solo protege la Guadua sino también que aumenta su vida útil.

Pentaclorofenol, se emplea cuando los tallos de Guadua van a permanecer bajo tierra o en contacto con humedad o agua. Para ser aplicado se emplea el sistema de inmersión en baño frío.

Creosota, se aplica en culmos que van a permanecer total o parcialmente bajo tierra.

Estos preservantes varían en su toxicidad y especificidad, por lo cual su utilización estará condicionada al uso final de la madera.

## **2.6 EVALUACIÓN DEL TRATAMIENTO PRESERVADOR**

JUNAC (1988), indica que la evaluación del tratamiento preservador se basa en la determinación de tres parámetros: absorción, penetración y retención del preservante en la madera tratada.

El mismo autor define a la Absorción como la cantidad total de preservante que queda en la madera después de la impregnación. Esta depende del sistema de impregnación utilizado, de la humedad, de las características de la madera a tratar y de la naturaleza del producto químico preservante. Se determina mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$A = (P2 - P1) \times \%C / (100 \times V)$$

Donde

A: Absorción, expresada en kg/m<sup>3</sup>

P1: Peso de la madera antes del tratamiento, en kg

P2: Peso de la madera después del tratamiento, en kg

V: Volumen de la madera en m<sup>3</sup>

%C: Concentración del preservante expresado en %

Asimismo indica que definido el valor de la Absorción con el uso de la formula antes mencionada, la clasificación de la madera según su capacidad de absorción, se puede efectuar utilizando la siguiente escala:

Absorción Alta (AA) : > de 10 kg de productos activos / m<sup>3</sup>

Absorción Buena (AB): de 8 a 10 kg de productos activos / m<sup>3</sup>

Absorción Mala (AM): de 4 a 8 kg de productos activos / m<sup>3</sup>

Absorción Nula (AN) : < de 4 kg de productos activos / m<sup>3</sup>

El mismo autor define a la penetración como la profundidad que alcanza el preservante en la madera tratada. Esta también depende del sistema de impregnación utilizado, de la humedad, de las características de la madera a tratar y de la naturaleza del producto químico preservante.

La Norma Técnica Peruana (NTP) 251.032 menciona que para verificar la penetración, se debe examinar a la madera preservada en su sección media, usando los reactivos de coloración indicados en la NTP 251.026 luego, según la JUNAC (1988), se observa directamente la coloración que haya tomado la parte impregnada. Si el preservante no tiñe a la madera, la presencia de este puede determinarse con el uso de reactivos de coloración específicos.

Los reactivos utilizados son productos químicos que reaccionan ante la presencia de un elemento o compuesto químico determinado, mostrando un color característico. Al verificar la



distribución del preservante en la madera, la penetración se puede clasificar de la siguiente manera:

Penetración Total regular: cuando toda la sección está penetrada con concentración uniforme.

Penetración Total irregular: cuando existen lagunas muy pequeñas en la zona penetrada con zonas de mayor concentración.

Penetración Parcial regular: cuando la zona penetrada es periférica y más o menos uniforme.

Penetración Parcial irregular: cuando existen lagunas o la penetración es difusa y la zona no rige el patrón fijo.

Penetración Parcial vascular: cuando la penetración se realiza siguiendo los elementos de conducción (penetración longitudinal).

Penetración nula: cuando no hay penetración significativa en la zona examinada.

El mismo autor define a la Retención como la cantidad de compuesto activo u óxidos retenidos en la madera preservada. A diferencia de la absorción, no cuantifica la cantidad de preservante lixiviado durante la fijación de éste en la madera. Se puede obtener mediante la aplicación de métodos químicos cuantitativos, espectrofotometría de absorción atómica o espectroscopia de rayos x.

## **2.7 EXPERIENCIAS RECIENTES EN PRESERVACIÓN DE BAMBÚ**

Morales (2006) realizó tratamientos de inmersión, con sales de boro, en *Guadua angustifolia* Kunth con el propósito de evaluar la relación entre las variables del tratamiento (concentración y tiempo de inmersión) y los parámetros de evaluación (penetración y retención). Como resultado, encontró que en la mayoría de las muestras de guadua tratadas se dio una penetración

total, sin embargo, se observó una zona de mayor concentración que ha sido llamada en ese estudio zona de penetración alta.

El mismo autor señala que del total de muestras analizadas se encontró un promedio de retención de  $5,3 \text{ kg/m}^3$  con una desviación estándar de  $4,1 \text{ kg/m}^3$ . Los valores máximo y mínimo son  $0,65 \text{ kg/m}^3$  y  $15,01 \text{ kg/m}^3$ . La retención de sales en piezas de guadua para concentraciones de solución entre 3% y 9% pueden cumplir con los mínimos valores requeridos para que actúe como preservante (1 a 4 kg Equivalente de Ácido Bórico (EAB/ $\text{m}^3$ ), aunque también se alcanzaron mayores valores que se ajustan a esquemas más rigurosos ( $8 \text{ kg/m}^3$ ).

Según Morales (2006), el tiempo de inmersión evaluado de 3 a 5 días no afectó de forma significativa la penetración ni la retención de sales, sin embargo se observó una tendencia a tener mejores promedios de retención a medida que aumenta el tiempo de inmersión.

Montoya (2008) evaluó la preservación de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) utilizando los siguientes tratamientos: inmersión, inyección y boucherie modificado, los 3 ensayos con solución de ácido bórico y bórax, realizó también ensayos de boucherie modificado con ácido piroleñoso y ahumado (en horno vertical y horno horizontal).

El mismo autor concluye que el método de inmersión con solución de bórax y ácido bórico es el más recomendable para la preservación de las cañas de bambú, para este método recomienda trabajar con una humedad de las guaduas preferiblemente frescas; estas fueron perforadas con broca de  $\frac{1}{2}$ ". La concentración utilizada en inmersión fue de 2% de ácido bórico y 2% de bórax, el número de días recomendado es de 4, tiempo en el cual las guaduas dejan de adsorber la solución preservante. Para el método boucherie, el autor indica, se deben utilizar las Guaduas totalmente frescas y recién cortadas, de lo contrario se las debe introducir en recipientes con

agua en forma vertical, teniendo en cuenta que deben conservar su posición natural del guadual, cepa abajo.

Encinas (2005) realizó la preservación de bambú (*Guadua angustifolia* Kunth) por el método de desplazamiento de savia forzado, utilizando varas de guadua con diámetros entre 10 a 12 cm, y 3 m de largo, en estado verde y también se probaron algunas varas en estado seco al aire. Para el ensayo se utilizó una solución de bórax y ácido bórico (40:60), calculado para contener una concentración de 12,73 % EAB, recomendada para preservar madera contra insectos cuando está en servicio fuera de contacto con el suelo, particularmente el compuesto resulta eficiente para controlar ataque de coleópteros y termitas subterráneas y de madera seca.

El mismo autor determinó que la preservación por el método de desplazamiento de savia forzado; fue más rápido y homogénea en las rolas (culmos o tallos) verdes, que en las rolas secas al aire. Los valores de absorción en la madera de bambú fueron de 125 L/m<sup>3</sup>, para sales de boro, empleando una concentración del 15%. Se concluyó que las absorciones y retenciones, así como la penetración obtenida con el método de desplazamiento de savia forzado, son suficientes para proteger la caña de bambú.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN**

Los ensayos de preservación se realizaron en el Laboratorio de Preservación de la madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

#### **3.2 MATERIA PRIMA**

Las parcelas de extracción de los tallos o culmos de bambú, establecidas en plantaciones, se encuentran ubicadas en el caserío de Limoncito, distrito de La Florida, provincia de San Miguel, departamento de Cajamarca. El Compendio Estadístico 2002 indica que La Florida está ubicado a 1200 msnm, se localiza entre los 06°52'00'' y los 79°07'56''.

El mismo autor menciona que el distrito tiene una extensión de 61.33 km, equivalente a 6,1333 ha, concentrando así el 2.4% de la superficie de la provincia de San Miguel. Limita al sur con el distrito de Niepos, al norte con el distrito de Catache, al este con el distrito de Calquis y al oeste con el distrito de Oyotun.

#### **3.3 TERMITES**

Se utilizaron individuos de la casta reproductora de termitas de madera seca de la especie *Cryptotermes brevis*, en estadio de ninfa (inmaduro), recolectados a partir de madera infestada de la ciudad de Lima.

### 3.4 HONGOS XILÓFAGOS

Se utilizaron cultivos aislados de los hongos *Schizophyllum commune* y *Polyporus sanguineus* del laboratorio de Preservación de la madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

### 3.5 PRESERVANTE

Se empleó un preservante inorgánico e hidrosoluble, conocido en el mercado con el nombre de “pentaborato”, el cual tiene la composición que se muestra en el cuadro N° 2.

**Cuadro 2** Composición del preservante

Ácido bórico ( $H_3BO_3$ )	50%
Bórax ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ )	50%

### 3.6 REACTIVOS

Para determinar la presencia de boro en la madera se utilizó el reactivo de coloración de polvo turmérico, según lo indicado en AWPA – A3.

### 3.7 MÁQUINAS, EQUIPOS Y HERRAMIENTAS

- Medio de cultivo
- Cámaras de pudrición
- Horno de secado Moore
- Incubadora Memmert
- Estufa
- Planta de impregnación de maderas a escala ECASO IE 0.31/11P
- Sierra de portátil de disco.
- Balanza de 0.05g de precisión.
- Balanza analítica de 0.00005g de precisión.

- Canteadora de disco.
- Despuntadora
- Recipientes de inmersión.
- Densímetro de 1.000 a 1.200 g/cm<sup>3</sup> de rango.
- Wincha de 3 metros
- Termómetro.
- Varilla de metal puntiaguda.
- Comba.
- Materiales de vidrio de uso rutinario.
- Pinceles

### **3.8 METODOLOGÍA**

Para determinar las características de preservación de *Guadua angustifolia* se preservaron probetas de bambú en condición seca por el método de inmersión prolongada con el empleo de “pentaborato” como preservante, determinando el periodo de tiempo más adecuado para el tratamiento en función a los parámetros de penetración y retención del preservante. De la misma manera se evaluó el efecto de la perforación de nudos en las probetas de bambú en los resultados del tratamiento preservador.

Previamente, se determinó la resistencia biológica del bambú ante la exposición de termitas de madera seca y hongos xilófagos, en condiciones de laboratorio, y la dosis efectiva del producto preservante a la acción de termitas de madera seca en probetas tratadas de bambú mediante un ensayo de valor eficaz, usando como referencia las normas ASTM D 1413 y ASTM D 3345, respectivamente.

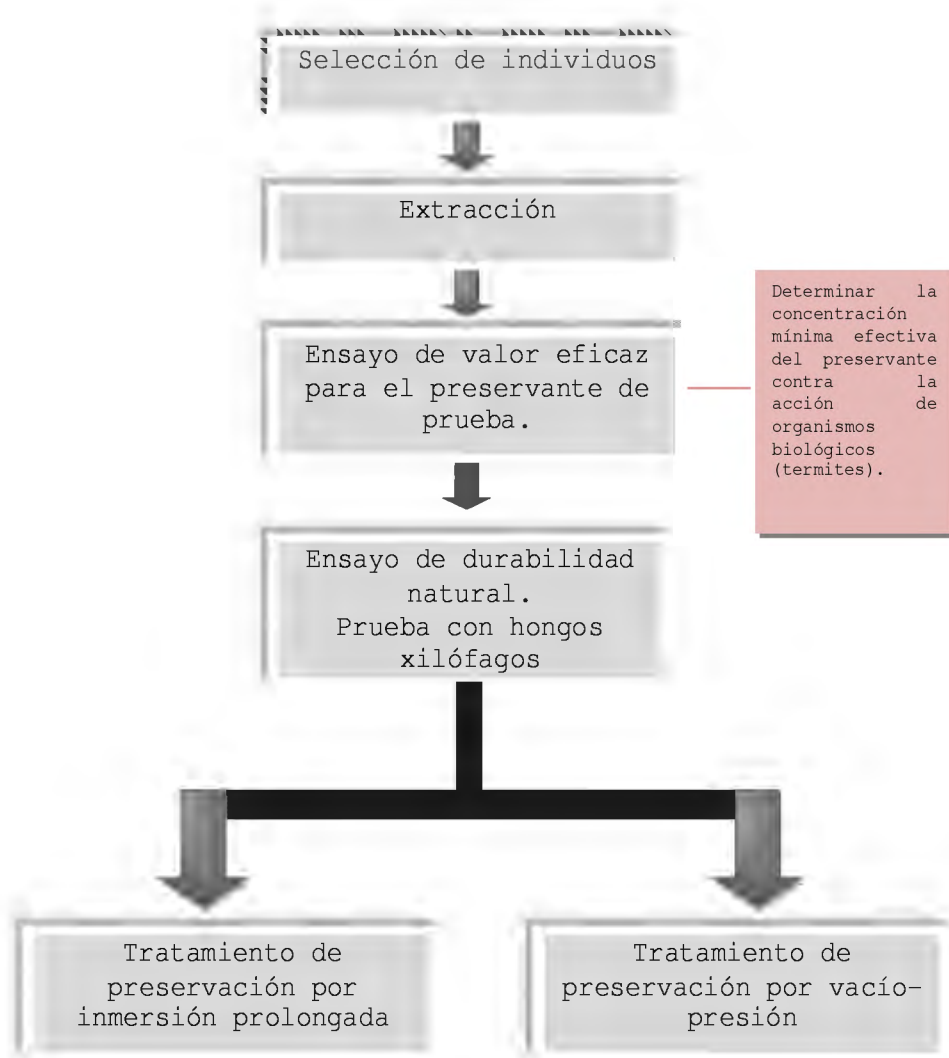
Con el propósito de establecer las variables para el análisis de la presente tesis, se realizó un ensayo preliminar probando los principales factores que influyen en la preservación de *Guadua*

*angustifolia*, como: la concentración de la solución preservante, humedad de las cañas, el tiempo de inmersión, y tratamientos de perforación.

Dicho ensayo determinó que los mejores resultados de preservación se obtienen en probetas en condición seca y con un tratamiento de perforación de nudos. Asimismo, se observó que el incremento de la concentración y el tiempo de inmersión influyen favorablemente en estos resultados dentro de los rangos establecidos para el ensayo (ver anexo N° 1), con lo que se definió el diseño experimental para el ensayo de la tesis que se describe en el punto 3.8.1.4.

### 3.8.1 PROCEDIMIENTO

Para facilitar el entendimiento de los pasos llevados a cabo en este trabajo de investigación, se presenta a continuación la representación gráfica del procedimiento realizado.



**Figura 2** Diagrama del procedimiento



#### A) SELECCIÓN DE INDIVIDUOS

Se seleccionaron aquellos culmos o tallos maduros, en plantaciones con más de 3 años de establecimiento, con un diámetro promedio de 10 cm aproximadamente, y de más de 15 m de altitud.

#### B) EXTRACCIÓN

Se realizó una apertura en el lugar delimitado para facilitar la extracción y evitar daños de los culmos o cañas al momento del corte.

El corte de dichas cañas se realizó por encima del primer entrenudo, para evitar así la pudrición de los tocones. Manualmente, la caña cortada fue retirada hacia el lugar asignado para su posterior trozado (esto en la misma parcela de extracción). Se cortaron los culmos perpendicularmente en 8 piezas de un metro de largo para la obtención de probetas de ensayo, las cuales presentan una cantidad similar de entrenudos.

Posteriormente se envolvieron las probetas en bolsas plásticas, sellándolas herméticamente. Por último fueron embaladas en costales para así ser transportadas hacia el laboratorio de Preservación de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

Algunas muestras de las probetas de bambú se llevaron al Laboratorio de Anatomía de la Madera de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para determinar la especie, dichas muestras fueron identificadas como *Guadua angustifolia*.

### C) ENSAYO DE DURABILIDAD

Se realizó un ensayo de durabilidad natural en concordancia con las normas NTP 251.027 y ASTM D 2017.

Las probetas de bambú fueron habilitadas con dimensiones de 5 x 5 cm aproximadamente, las cuales fueron sumergidas en agua destilada por un tiempo de 72 horas, para luego ser sometidas al ataque de hongos de pudrición blanca (*Polyporus sanguineus* y *Schizophyllum commune*).

#### **Procedimiento:**

- Preparación de cámaras de pudrición

Se utilizó medio de cultivo PDA al 2%, el cual tuvo la siguiente formulación:

- 20 g de dextrosa

- 15 g de agar

- 1 g de peptona

- 500 ml de extracto de papa

- 500 ml de agua destilada

Luego se vertió 42 ml del medio de cultivo preparado en 12 frascos de vidrio con tapa sin empaquetadura, para así proceder con la incubación de los hongos por un tiempo de 2 semanas.

- Preparación de probetas para el ensayo

Las probetas de bambú fueron sometidas a un tratamiento de secado en estufa para determinar el peso seco inicial, posteriormente fueron sumergidas en agua esterilizada por un período de 72 horas para ser hidratadas hasta alcanzar el contenido de humedad requerido para este ensayo (50-90%).

- Ensayo de durabilidad natural

Una vez habilitadas las probetas estas fueron introducidas en las cámaras de pudrición y posteriormente llevadas a incubación por un periodo de 3 meses.

- Evaluación

Culminado el período de incubación, se retiraron y limpiaron las probetas, luego se secaron en estufa y se determinó el peso seco al final del ensayo. Con esta información se calculó la pérdida de peso de cada una de las probetas expuestas al ataque de los hongos y se pudo determinar la resistencia de las mismas utilizando como guía la tabla de interpretación de la norma ASTM D 2017, según la siguiente escala:

**Cuadro 3** Grado de resistencia al hongo xilófago

0-10	Altamente resistente	A
11-24	Resistente	B
25-44	Moderadamente resistente	C
45 en adelante	No resistente	D
<i>Fuente: ASTM D 2017</i>		

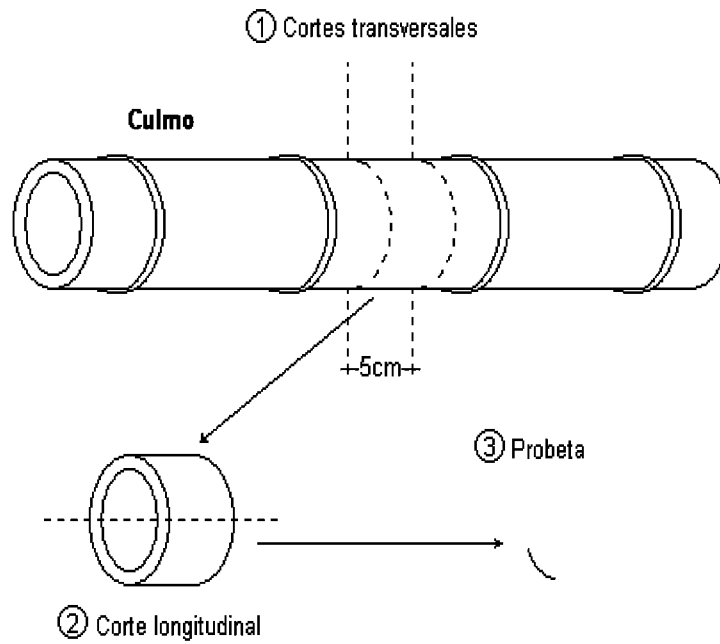
**D) ENSAYO DE VALOR EFICAZ PARA EL PRESERVANTE DE PRUEBA**

Consistió en determinar la concentración mínima efectiva de la solución preservadora a utilizar para proteger a la madera de la acción de organismos biológicos causantes de deterioro. Los organismos biológicos utilizados en el presente ensayo fueron termitas de la especie *Cryptotermes brevis*. El ensayo constó de los siguientes pasos:

**a. Preparación de probetas**

Se seleccionaron al azar 6 tallos o culmos de bambú para la extracción de 6 probetas de cada tallo.

Las probetas se obtuvieron por cortes transversales en la zona central de los culmos, con una longitud de 5cm y por corte longitudinal a través del diámetro del culmo, como se muestra en la figura N° 3



**Figura 3** Obtención de probetas de bambú.

Las probetas obtenidas fueron sometidas a un proceso de secado hasta alcanzar el 15% de contenido de humedad.

#### b. Preparación de soluciones a concentraciones gradientes

Se prepararon 5 soluciones de preservante a concentraciones gradientes, empleando agua destilada como solvente, siendo éstas las siguientes: a) 1%; b) 1,5%; c) 2%; d) 2,5%; y e) 3%. La cantidad de cada solución preservadora preparada fue de 1 litro.

#### c. Tratamiento de preservación

Las probetas de bambú fueron tratadas por inmersión en las soluciones a concentraciones gradientes de preservante, durante un periodo de 120 horas. En cada solución preparada se trataron 6 probetas de bambú.

Luego de realizar el tratamiento preservador, se obtendrá la retención calculada de cada probeta, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Ret. Calc.} = \frac{(\text{Pf} - \text{Pi}) \times \%C \times f}{100 \times \text{Vol. mad}}$$

Donde:

Ret. Calc: Retención Calculada (kg/m<sup>3</sup>)

Pf: Peso de la madera al finalizar el tratamiento (kg)

Pi: Peso de la madera al inicio del tratamiento (kg)

Vol. mad.: Volumen de madera tratada (m<sup>3</sup>)

%C: Concentración de la solución preservadora (%)

f: Factor tóxico expresado como H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>

d. Acondicionamiento de las probetas de bambú

Luego de realizar el tratamiento preservador, las probetas de bambú fueron sometidas a acondicionamiento en estufa a 40° C hasta alcanzar el 15% de contenido de humedad.

Finalmente, las probetas de bambú fueron acondicionadas en la incubadora a  $27 \pm 2^\circ \text{C}$  durante 72 horas.

#### e. Recolección de termites

Para cada probeta de bambú a ensayar, se recolectaron 30 individuos de la casta reproductora en estadio de ninfas de termites de la especie *Cryptotermes brevis*, teniendo como fuente madera infestada recolectada del área urbana de la ciudad de Lima.

#### f. Preparación de cámaras de ensayo

Se prepararon recipientes opacos de plástico con tapa porosa, con el objetivo de proteger a los termites de la radiación ambiental. El número de recipientes fue igual al número de probetas a ensayar.

#### g. Prueba de ingestión forzada

En cada cámara de ensayo se colocó una probeta de bambú tratada, sometiéndola a la acción de los termites durante 28 días en una incubadora a  $27 \pm 2^\circ \text{C}$ . De esta manera, el ensayo obedeció al siguiente diseño experimental.

- Diseño experimental

Para la prueba, se trabajó con 5 tratamientos de preservación a concentraciones gradientes, y un testigo sin tratamiento preservador. El número de repeticiones para cada tratamiento fue igual a 6, como se muestra en el cuadro N° 4.

**Cuadro 4** Diseño experimental para el ensayo del valor eficaz con el empleo de termitas de madera seca.

	<i>Testigo</i>	1%	1,5%	2%	2,5%	3%
	6	6	6	6	6	6
	30	30	30	30	30	30

#### h. Evaluación de la prueba

Se realizó una evaluación cualitativa del daño causado por las termitas sobre las probetas de bambú. El valor eficaz de concentración del preservante fue determinado por la satisfacción de dicho criterios de evaluación.

Siguiendo como referencia la norma técnica ASTM D 3345, se evaluó la intensidad del daño causado por las termitas en las probetas de bambú ensayada, tomando en cuenta la siguiente escala:

- 10 Roeduras superficiales
- 9 Ataque leve
- 7 Ataque moderado, penetración
- 4 Ataque fuerte
- 0 Fallas



La prueba fue considerada satisfactoria al alcanzarse el valor de 10 en la escala empleada.

Asimismo, se determinó la retención, mediante un análisis de espectrofotometría, en las probetas de bambú tratadas con el preservante de prueba a la concentración efectiva.

#### *E) TRATAMIENTO DE PRESERVACIÓN POR INMERSIÓN PROLONGADA*

El tratamiento consistió en sumergir probetas de bambú en una solución de pentaborato a la concentración efectiva determinada y, a diferentes periodos de tiempo con el objetivo de determinar el más adecuado. Para ello, se realizaron los siguientes pasos.

##### a. Preparación de las probetas

Las probetas de un (1) metro de longitud fueron sometidas a un proceso de secado artificial hasta alcanzar el 15 % de contenido de humedad.

##### b. Preparación del preservante

Empleando recipientes abiertos de 200 litros de capacidad se preparó una solución de “pentaborato” a la concentración efectiva determinada.

### c. Tratamiento de inmersión

Previamente, se realizó un ensayo preliminar (ver anexo 1) con cañas de bambú para estimar y probar los principales factores que pueden influir en la preservación de *Guadua angustifolia*, como: grado de madurez, contenido de humedad, concentración de solución, tratamientos de perforación de nudos y tiempo de inmersión. Con ello se estableció que el tratamiento de inmersión constaría de 4 periodos de tiempo, elaborándose el siguiente diseño experimental.

#### - Diseño experimental

Se realizaron 2 tratamientos de inmersión (bambú seco perforado y bambú seco sin perforar) a diferentes periodos de tiempo, empleándose 4 repeticiones para cada tratamiento y periodo de tiempo como se indica en el cuadro N° 5.

**Cuadro 5** Diseño experimental del ensayo de inmersión

	24	36	42	108
Tiempo (horas)				
Bambú seco perforado	4	4	4	4
Bambú seco sin perforar	4	4	4	4

#### d. Evaluación del tratamiento preservador

Se utilizaron los siguientes parámetros: absorción, penetración y retención calculada, para la evaluación de los resultados del tratamiento preservador, usando como referencia la NTP 251.028.

Para determinar la absorción, como primer paso se midieron las dimensiones de las probetas de bambú para fijar su volumen, considerando para ello la norma ISO 221571-1. Posteriormente las probetas se pesaron en una balanza tanto antes y después del tratamiento preservador. Contando con dichos datos la absorción se determinó utilizando la siguiente ecuación:

$$A = \frac{(pf - pi) * C}{V * 100}$$

Donde:

A: absorción (kg/m<sup>3</sup>)

pf: peso final de la probeta después del tratamiento (kg)

pi: peso inicial de la probeta antes del tratamiento (kg)

V: volumen de la probeta (m<sup>3</sup>)

C: concentración del preservante (%)

En concordancia con la NTP 251.026, para determinar la penetración del preservante en las probetas, se procedió de la siguiente manera:

- Se efectuó un corte transversal en la probeta.
  
- Se esparció, sobre la sección de la probeta expuesta por el corte, el reactivo Cúrcuma y se observó la reacción de la coloración que se produce.
  
- El obtener un color rojo oscuro determinó la penetración del ácido bórico en el material, al teñirse de color amarillo encendido estableció que no hubo penetración en esa zona.

En función de lo indicado por la NTP 251.032 se estableció para la presente tesis la siguiente escala de penetración:

Penetración Total: cuando la reacción de coloración es visible en toda la sección transversal.

Penetración parcial: cuando el preservante se distribuye parcialmente sin seguir un patrón definido.

Penetración nula: cuando el preservante no penetra en el bambú.

La retención fue determinada por espectrofotometría utilizando como referencia la norma AWPA A 11. Para tal efecto se extrajeron muestras de la zona media de las probetas de bambú tratadas, las cuales fueron analizadas en el laboratorio de suelos de la Universidad Nacional Agraria La Molina para obtener resultados promedios de cada tratamiento.

## F) ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para analizar los resultados obtenidos por el tratamiento de inmersión se empleó un Diseño Estadístico Completamente al Azar (DCA), con igual número de repeticiones; y luego, se realizó una prueba de Comparación (Tukey) para saber que resultados son diferentes y cuales son superiores. Para el cálculo de estas pruebas, se empleó un nivel de significación del 5% ( $\alpha=0.05$ ), que es el más recomendado teniendo en cuenta que el número de muestras es pequeño (Calzada, 1970).

Para la prueba estadística se consideraron los tratamientos que se indican en el cuadro número N° 6.

**Cuadro 6** Tratamientos para la prueba estadística

Probetas de bambú perforadas en 24 horas de inmersión	T1
Probetas de bambú sin perforar en 24 horas de inmersión	T2
Probetas de bambú perforadas en 36 horas de inmersión.	T3
Probetas de bambú sin perforar en 36 horas de inmersión	T4
Probetas de bambú perforadas en 72 horas de inmersión	T5
Probetas de bambú sin perforar en 72 horas de inmersión	T6
Probetas de bambú perforadas en 108 horas de inmersión	T7
Probetas de bambú sin perforar en 108 horas de inmersión	T8

Para demostrar que existen diferencias, en cuanto a la cantidad del preservante absorbido según los tiempos de inmersión de las probetas, y la aplicación de un tratamiento de perforación de nudos, se realizó las siguientes pruebas.

### **A) Requisitos previos DCA:**

**Representatividad**, los datos de los tratamientos que van a intervenir en el análisis de datos deben ser representativos de la población.

**Normalidad**, la población de datos debe tener una distribución normal. Para ello se empleó el programa estadístico SPSS versión 15.0, realizando la prueba de Anderson Darling, con un nivel de significancia de 0.05.

**Homogeneidad de variancias**, para evaluar el supuesto de homogeneidad de variancias, se planteó la siguiente hipótesis:

H<sub>0</sub>: Existe homogeneidad de variancias entre los tratamientos.

H<sub>1</sub>: No existe homogeneidad de variancias entre los tratamientos.

- Nivel de significación:

$\alpha = 0.05$

- Prueba estadística de Bartlett

- Criterio de decisión:

Si:

P valor  $> \alpha \rightarrow$  Se acepta  $H_0$ .

P valor  $< \alpha \rightarrow$  Se rechaza  $H_0$ .

**B) Diseño completamente al azar (DCA):**

Planeamiento de hipótesis:

$H_0: T_1 = T_2 = T_3 = T_4 = T_5 = T_6 = T_7 = T_8$

$H_a$ : al menos uno es diferente a los demás.

- Nivel de significancia:

$$\alpha = 0.05$$

Prueba estadística: Análisis de variancia

F cal = CM tratamiento

CM error

F tab [t-1; (t-1)(n-1)gl]

- Criterios de decisión:

Se acepta  $H_0$  si:  $F_{cal.}$  es  $\leq$  que  $F_{tab.}$

Se rechaza  $H_0$  si:  $F_{cal.}$  es  $>$  que  $F_{tab.}$

### C) Prueba de Tukey

Planeamiento de hipótesis:

$H_0$ : no existen diferencias significativas entre los promedios

$H_a$ : existen diferencias significativas entre los promedios

- Nivel de significación:  $\alpha = 0.05$

- Cálculo de A E S (tab):  $GL_{Error} = (n-1)(t-1)$

$$\alpha = 0.05$$

$$t = p$$

- Cálculo de A L S (tab) = A E S (tab)  $\times \sqrt{CM_{error}/n}$

- Comparación de promedios ordenados entre tratamientos.



- Criterios de decisión:

Se acepta  $H_0$  si:  $Y_i - Y_j \leq A L S$  tabular.

Se rechaza  $H_0$  si:  $Y_i - Y_j > A L S$  tabular.

### *G) TRATAMIENTOS DE PRESERVACIÓN POR VACÍO-PRESIÓN*

Se realizó el tratamiento de célula llena según la NTP 251.019, utilizando para el desarrollo de este procedimiento los siguientes valores:

- Vacío inicial: -10 psi, durante 10 minutos.

- Presión: 180 psi, durante 20 minutos.

El preservante utilizado para este tratamiento fue pentaborato al 2% de concentración, con el objeto de tener datos comparativos, se utilizaron cañas de bambú de 1 metro de largo en las siguientes condiciones:

- Perforadas longitudinalmente (3 repeticiones)

- Sin perforar (3 repeticiones)

- Cañas cortadas por la mitad (4 repeticiones)

## **4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **4.1 ENSAYO DE DURABILIDAD NATURAL**

El cuadro N° 7 muestra la clasificación de las probetas de *Guadua angustifolia* por su durabilidad natural sometidas a la acción de dos hongos de pudrición blanca *Schizophyllum commune* y *Polyporus sanguineus*. En este ensayo, para la clasificación del bambú por su durabilidad natural, se han considerado los resultados obtenidos con el hongo xilófago que causo mayor pérdida de masa a las probetas, es así que, se clasifica estas probetas de bambú en la categoría “C”: moderadamente resistente, lo que demuestra la vulnerabilidad de las muestras a la acción de estos agentes biológicos.

La variabilidad en la clasificación de las probetas por su durabilidad natural se debe a que, al ser los hongos seres vivos, actúan de manera diferente en cada una de las muestras, y al estar éstas en placas aisladas, pueden tomar comportamientos diferentes. Por lo anterior y por razones de seguridad se toma el menor valor de resistencia para la especie.

**Cuadro 7** Clasificación de las probetas de *Guadua angustifolia* por su durabilidad natural sometidas a la acción de dos hongos de pudrición blanca

<i>Schizophyllum commune</i>	p1	10,81	A
	p2	10,97	A
	p3	9,37	A
	p4	6,54	A
	p5	20,29	B
	p6	13,46	B
<i>Polyporus sanguineus</i>	p7	17,22	B
	p8	17,44	B
	p9	25,34	C
	p10	28,15	C
	p11	24,44	B
	p12	10,86	A
<i>Fuente: Elaboración propia</i>			
<i>Donde: A = Altamente resistente; B = Resistente; C = Moderadamente resistente; D = No resistente, según ASTM D 2017.</i>			

Estos resultados de durabilidad son similares con los obtenidos en el ensayo realizado con termitas de madera seca, como se muestra en la columna testigo del Cuadro N° 8, las probetas sufren un ataque moderado, reafirmando lo indicado por Liese (2004) que atribuye la baja resistencia del bambú a que este tiene un alto contenido de sustancias nutritivas como azúcares y almidones y no producen los componentes tóxicos que presentan la madera de duramen de muchos árboles.

## 4.2 ENSAYO DE VALOR EFICAZ PARA EL PRESERVANTE DE PRUEBA

El cuadro N° 8, muestra la intensidad del daño causado por termitas de madera seca en probetas de *Guadua angustifolia* preservadas. En él se observa que, a comparación de las probetas testigo, las probetas preservadas a partir de 1% de concentración no presentan daños, lo que significa que a estas concentraciones se alcanzan dosis tóxicas de preservante que protegen a las probetas de bambú del ataque de termitas. El valor eficaz se asigna a la concentración mínima efectiva que es 1%.

**Cuadro 8** Intensidad de daños causados por *Cryptotermes brevis* en probetas de *Guadua angustifolia* preservadas con Pentaborato a concentración gradiente.

	7	10	10	10	10	10
<i>Fuente: Elaboración propia</i>						
<i>Donde: 10 = roeduras superficiales; 9 = ataque leve; 7 = ataque moderado, penetración; 4 = ataque fuerte; 0 = fallas. Según ASTM D 3345</i>						

El cuadro N° 9 presenta la retención del compuesto activo en las probetas preservadas de *Guadua angustifolia*. Se observa una relación directa entre la concentración y la retención obtenida dentro del rango ensayado, esto debido a que las probetas estuvieron expuestas al preservante tanto por la sección transversal como longitudinal, lo cual permite una absorción alta. La dosis efectiva, determinada por espectrofotometría, que corresponde al valor eficaz de concentración determinado anteriormente es de 5,28 kg de ácido bórico / m<sup>3</sup> de bambú anhidro. Tomando en cuenta dichos valores (por las condiciones en las cuales las probetas han sido expuestas al preservante), para efectos de asegurar los resultados del tratamiento de inmersión prolongada en cañas de 1 metro de longitud, se estableció una concentración de 2%, ya que estas no se verán expuestas al preservante por su sección transversal.

**Cuadro 9** Retención del compuesto activo en probetas de *Guadua angustifolia* preservadas con pentaborato a concentraciones gradientes.

<b>1,0%</b>	0,92	5,28
<b>1,5%</b>	0,99	5,65
<b>2,0%</b>	1,09	6,21
<b>2,5%</b>	1,20	6,90
<b>3,0%</b>	1,24	7,09
<i>Fuente: Elaboración propia</i>		

#### 4.3 TRATAMIENTO POR INMERSIÓN PROLONGADA

El cuadro N° 10 muestra los resultados de retención calculada del ensayo de inmersión de cañas de bambú con diferentes tratamientos (ver cuadro N°5 de la Metodología). En él se observa que el tiempo de inmersión influye positivamente sobre la retención calculada, a medida que este aumenta. Así mismo se observa que con el tratamiento de perforación de los nudos se obtienen resultados más altos. Para determinar los tratamientos de mayor efectividad y la manera en que influyen en los resultados se realizó el Análisis Estadístico que se presenta a continuación.

**Cuadro 10** Retención calculada en probetas de *Guadua angustifolia* preservadas con Pentaborato.

<b>1</b>	1,89	0,96	3,10	1,75	5,88	4,56	4,26	3,47
<b>2</b>	2,54	1,51	3,30	1,93	5,06	2,21	5,58	4,71
<b>3</b>	1,53	0,99	3,02	2,05	5,08	3,73	5,08	4,34
<b>4</b>	1,68	1,14	2,69	2,46	4,32	1,95	5,39	4,92
<b>Promedio</b>	1,91	1,15	3,03	2,05	5,08	3,11	5,08	4,36
<i>Fuente: Elaboración propia</i>								

#### 4.3.1 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LSO RESULTADOS

Los resultados presentados en el cuadro N°11 son consecuencia del análisis estadístico elaborado, el cual se especifica en el anexo N°2.

En este cuadro se observan las comparaciones entre tratamientos según la metodología de análisis de Tukey, y se puede afirmar que existen diferencias significativas entre los promedios de los tratamientos: T5 y T2, T5 y T1, T5 y T4, T5 y T3 y T5 y T6; de los tratamientos T7 y T2, T7 y T1, T7 y T4, T7 y T3, T7 y T6; de los tratamientos T8 y T2, T8 y T1, T8 y T4, T8 y T3, T8 y T6; de los tratamientos T6 y T2, T6 y T1, T6 y T4, T6 y T3 y de los tratamientos T3 y T2, T3 y T1.

Esto significa que hay evidencias estadísticas para poder afirmar que el tratamiento de cañas perforadas a 72 horas de inmersión es similar a los tratamientos de cañas perforadas y sin perforar a 108 horas, y superior al resto de tratamientos.

**Cuadro 11** Comparación de promedios entre los tratamientos

VIII - I	3,93	1,04	*
VIII - II	3,17	1,04	*
VIII - III	3,04	1,04	*
VIII - IV	2,06	1,04	*
VIII - V	1,97	1,04	*
VIII - VI	0,73	1,04	NS
VIII - VII	0,01	1,04	NS
VII - I	3,92	1,04	*
VII - II	3,16	1,04	*
VII - III	3,03	1,04	*
VII - IV	2,05	1,04	*
VII - V	1,96	1,04	*
VII - VI	0,72	1,04	NS
VI - I	3,21	1,04	*
VI - II	2,45	1,04	*
VI - III	2,31	1,04	*
VI - IV	1,33	1,04	*
VI - V	1,25	1,04	*
V - I	1,96	1,04	*
V - II	1,20	1,04	*
V - III	1,07	1,04	*
V - IV	0,08	1,04	NS
IV - I	1,88	1,04	*
IV - II	1,12	1,04	*
IV - III	0,98	1,04	NS
III - I	0,89	1,04	NS
III - II	0,14	1,04	NS
II - I	0,76	1,04	NS
<i>Fuente: Elaboración propia</i>			

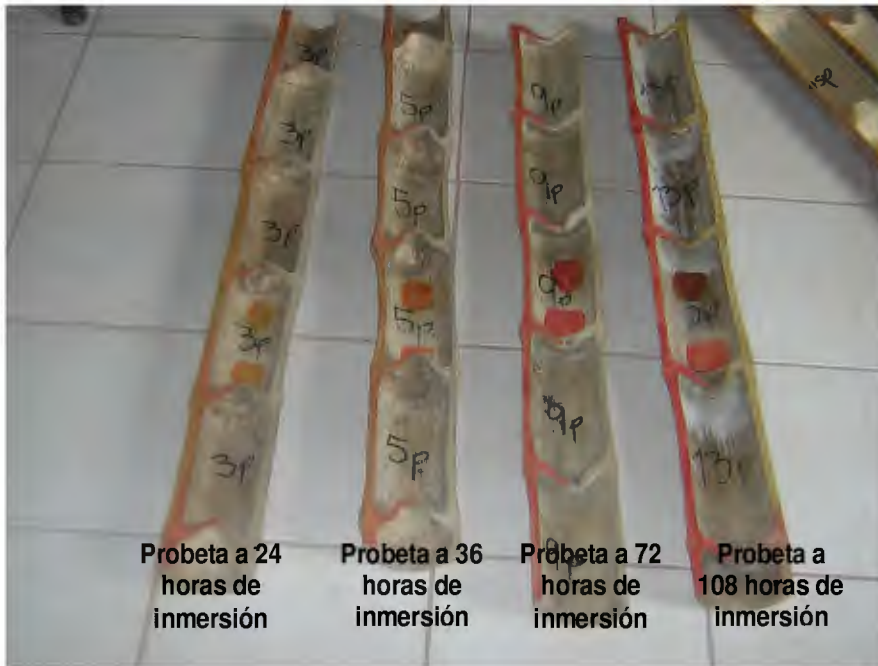
#### 4.3.2 DETERMINACIÓN DE LA PENETRACIÓN Y RETENCIÓN DEL BORO

El cuadro N° 12 muestra los resultados de penetración y retención promedio de boro a partir de los valores de retención de pentaborato anteriormente validados en las probetas de bambú perforadas y sin perforar. Como se puede observar en las figuras N° 4 y 5 la penetración del preservante es parcial a las 24 y 36 horas de inmersión tanto en cañas perforadas como sin perforar, y a las 72 y 108 horas en cañas sin perforar. La penetración total se alcanza a las 72 y 108 horas de inmersión en cañas perforadas.

**Cuadro 12** Parámetros de evaluación promedio en probetas perforadas y sin perforar de *Guadua angustifolia* por inmersión prolongada.

<b>T1</b>	1,91	1,58	0,89	0,26	Parcial
<b>T2</b>	1,15	0,95	0,54	0,17	Parcial
<b>T3</b>	3,03	2,49	1,41	0,44	Parcial
<b>T4</b>	2,05	1,69	0,95	0,30	Parcial
<b>T5</b>	4,28	3,53	1,99	0,73	Total
<b>T6</b>	3,70	3,05	1,72	0,45	Parcial
<b>T7</b>	4,29	3,53	1,99	0,73	Total
<b>T8</b>	4,36	3,59	2,02	0,63	Parcial
<i>Fuente: Elaboración propia</i>					





**Figura 4** Penetración en probetas de bambú perforadas (P) por el método de inmersión prolongada a 24, 36, 72 y 108 horas.



**Figura 5** Penetración en probetas de bambú sin perforar (SP) por el método de inmersión prolongada a 24, 36, 72 y 108 horas.

#### 4.3.3 DETERMINACIÓN DE LA RETENCIÓN POR ESPECTROFOTOMETRÍA

El cuadro N° 13 muestra la retención de Boro encontrado en las probetas extraídas de la zona media de las cañas de *Guadua angustifolia* preservadas. Con el objetivo de comparar estos resultados con los valores obtenidos por diferencia de peso (cuadro N°12), la retención es expresada al contenido de humedad inicial del ensayo de inmersión, que es de 15%.

**Cuadro 13** Calculo de la retención por espectrofotometría

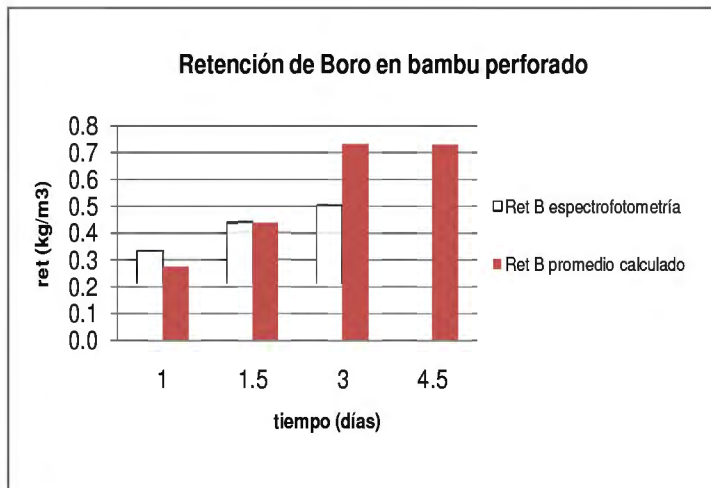
<b>T1</b>	0,36	0,34
<b>T2</b>	0,12	0,13
<b>T3</b>	0,48	0,44
<b>T4</b>	0,17	0,16
<b>T5</b>	0,55	0,50
<b>T6</b>	0,19	0,18
<b>T7</b>	0,49	0,46
<b>T8</b>	0,14	0,13
<i>Fuente: Elaboración propia</i>		

#### 4.3.4 COMPARACIÓN DE RESULTADOS DE RETENCIÓN DE BORO

La figura N°6 muestra la comparación de los resultados de retención de boro, en las cañas de bambú perforadas, calculados por diferencia de peso y por espectrofotometría. Como se puede observar, en un mismo periodo de tiempo, existen diferencias en las retenciones obtenidas con cada uno de los métodos utilizados. Estas diferencias se deben a la distribución del preservante en las piezas de bambú. Se observan menores resultados de retención por el método espectrofotométrico, lo cual se debe a la naturaleza de como fluyen los líquidos, lo que hace

que se presente más preservante en los extremos de las probetas que en el centro de la pieza. Los valores obtenidos por diferencias de peso serán siempre mayores, ya que se estima la retención promedio en toda la probeta.

En la misma figura, se observa una tendencia, la cual indica mejores retenciones del preservante a mayor tiempo de inmersión, sin embargo, se observa que luego de 72 horas de inmersión (3 días), en ambos casos, los resultados son constantes.



**Figura 6** Retención de boro en bambú perforado.

La figura N°7 muestra la comparación de los resultados de retención de boro, en las cañas de bambú sin perforar, calculados por diferencia de peso y por espectrofotometría. En ella, al igual que en el caso de las cañas perforadas, se observan diferencias en los resultados de retención obtenidos por ambos métodos y también se presenta una tendencia que indica mejores retenciones del preservante a mayor tiempo de inmersión, sin embargo, estos resultados son menores a los obtenidos en cañas perforadas. Se observa que luego de 72 horas de inmersión (3 días), los resultados arrojados por espectrofotometría son constantes.

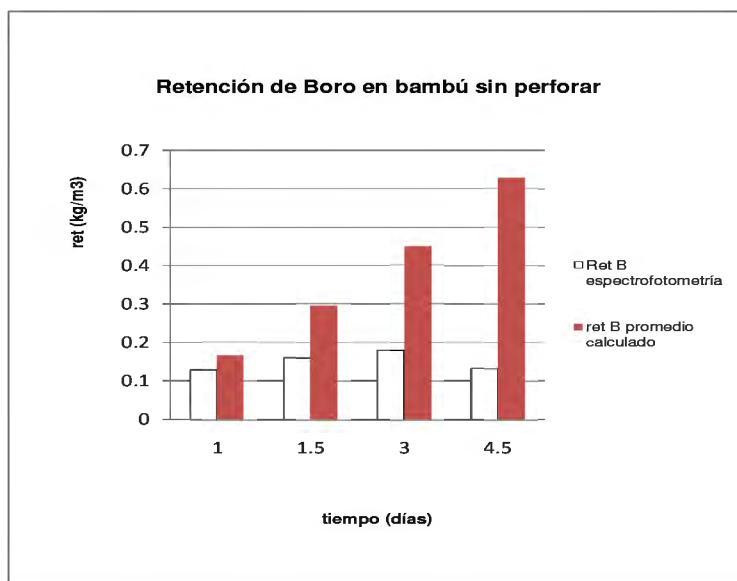


Figura 7 Retención de boro en bambú sin perforar.

#### 4.4 PRUEBA DE VERIFICACIÓN DE LA EFICACIA DEL TRATAMIENTO DE INMERSIÓN PROLONGADA

Con el objetivo de verificar la eficacia del tratamiento preservador, se extrajeron probetas de la zona media de las cañas de bambú con perforación de nudos para ser sometidas a un ensayo de durabilidad con termitas de madera seca. El cuadro N° 14, muestra la intensidad del daño causado por las termitas de madera seca en las probetas de *Guadua angustifolia* preservadas. En él se observa que, las probetas con un periodo de inmersión de hasta 36 horas presentan un ataque moderado, mientras que las probetas preservadas durante 72 y 108 horas no presentan daños, lo que significa que a este periodo de tiempo de inmersión con una concentración de 2% se alcanzan dosis tóxicas de preservante que protegen a las probetas de bambú del ataque de termitas, con una retención efectiva 0.547 kg de Boro/m<sup>3</sup> anhidro.

**Cuadro 14** Intensidad del daño causado por termitas en probetas de *Guadua angustifolia* preservadas al 2%.

	7	7	10	10
<p><i>Fuente: Elaboración propia</i></p> <p><i>Donde: 10 = roeduras superficiales; 9 = ataque leve; 7 = ataque moderado, penetración; 4 = ataque fuerte; 0 = fallas. Según ASTM D 3345.</i></p>				

#### 4.5 DETERMINACIÓN DE LA PENETRACIÓN Y RETENCIÓN EN PROBETAS DE BAMBÚ TRATADAS POR VACÍO-PRESIÓN

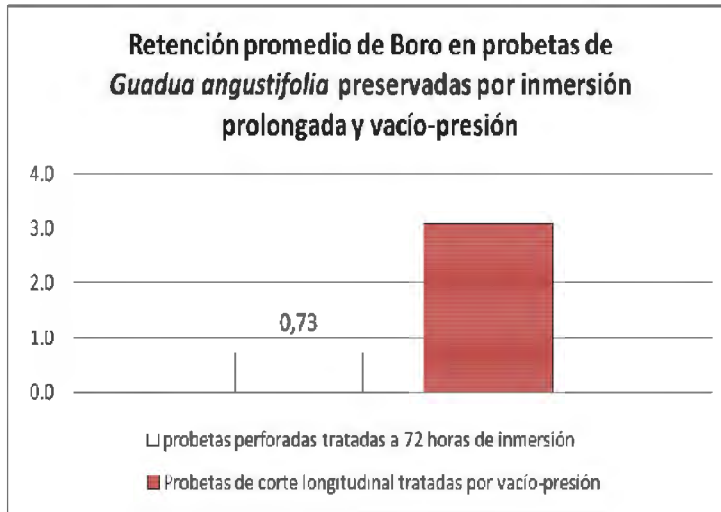
El cuadro N° 15 muestra los resultados de penetración y retención en las probetas de bambú perforadas, sin perforar y cortadas por la mitad (corte longitudinal), tratadas por el método de vacío-presión, notándose mejores resultados en aquellas probetas que fueron cortadas por la mitad y en las que se hicieron perforaciones.

Después de estos resultados se puede observar una mejor retención y penetración en aquellas probetas preservadas por vacío-presión que por inmersión prolongada, sin embargo, las cañas enteras perforadas y sin perforar expuestas al tratamiento de vacío-presión presentan defectos como grietas y rajaduras. Esto significa que éste tratamiento no es efectivo para la preservación de piezas redondas de *Guadua angustifolia*, pues estas fallan al ser sometidas a presiones altas.

**Cuadro 15** Parámetros de evaluación en probetas de *Guadua angustifolia* tratadas por vacío-presión.

<b>AM1</b>	7,28	5,98	3,37	Total
<b>AM2</b>	7,17	5,91	3,33	Total
<b>AM3</b>	5,46	4,49	2,54	Total
<b>AM4</b>	5,40	4,45	2,50	Total
<b>Ap1</b>	5,99	4,95	2,78	Total
<b>Ap2</b>	4,18	3,44	1,94	Total
<b>Ap3</b>	6,58	5,42	3,05	Total
<b>Asp1</b>	5,75	4,75	2,67	Total
<b>Asp2</b>	2,87	2,37	1,33	Total
<i>AM: Autoclave, mitad probeta de bambú</i>				
<i>AP: Autoclave, probeta de bambú perforada</i>				
<i>ASP: Autoclave, probeta de bambú sin perforar</i>				

La figura N°8 muestra una comparación entre la retención promedio obtenida en el tratamiento de inmersión durante 72 horas en probetas perforadas y el tratamiento de vacío-presión en piezas de corte longitudinal. Se observa que la retención promedio obtenida en el tratamiento de vacío-presión fue 3,2 veces mayor a la retención obtenida en el tratamiento de inmersión de probetas perforadas. Asimismo, las figuras del N°9 al N°13 muestran que la penetración del preservante fue total en todas las cañas de bambú tratadas por el método de vacío-presión. Esto significa que con el tratamiento de vacío-presión se protege suficientemente las piezas de corte longitudinal.



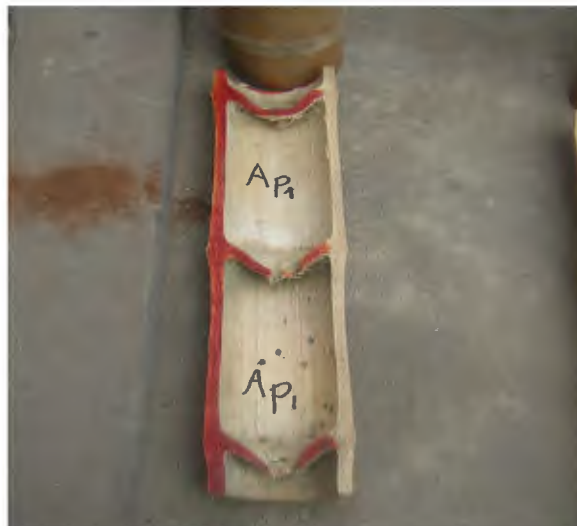
**Figura 8** Retención promedio de Boro en probetas de *Guadua angustifolia* preservadas por inmersión prolongada y vacío-presión.



**Figura 9** Penetración en probeta de bambú por la mitad (corte longitudinal) por vacío-presión.



**Figura 10** Penetración en probeta de bambú entera perforada tratada por vacío-presión.

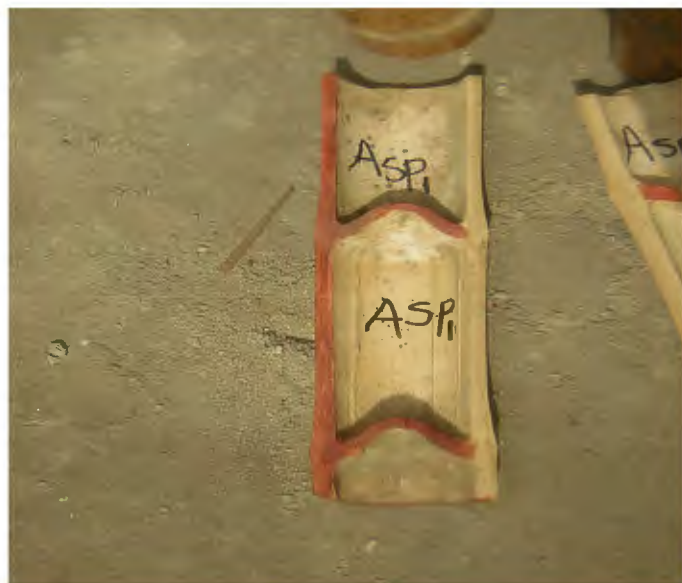


**Figura 11** Penetración en probeta de bambú entera perforada tratada por vacío-presión.





**Figura 12** Penetración en probeta de bambú entera sin perforar tratada por vacío-presión.



**Figura 13** Penetración en probeta de bambú entera sin perforar tratada por vacío-presión.

## 5. CONCLUSIONES

Las cañas de *Guadua angustifolia* son susceptibles al deterioro por acción de termitas y hongos xilófagos, siguiendo como referencia la norma técnica ASTM D 3345 y la norma ASTM D 2017.

El método de preservación por inmersión prolongada, en cañas maduras (mayores de 3 años), presenta mejores resultados al aplicar un proceso de secado.

La preservación por inmersión prolongada de cañas de bambú secas, no es efectiva sin un tratamiento de perforación de nudos.

La tratabilidad de *Guadua angustifolia*, por el método de inmersión prolongada con tratamiento de perforación de nudos es similar a la tratabilidad de maderas fáciles de preservar y es efectivo en periodos de tiempo similares.

El compuesto bórico Pentaborato, para el control del ataque de termitas de la especie *Cryptotermes brevis*, es efectivo.

El cálculo de la retención mediante métodos gravimétricos es sobrestimado con respecto a los métodos de determinación de la retención por espectrofotometría.

El tratamiento de preservación por vacío-presión en autoclave no es adecuado para preservar piezas redondas de *Guadua angustifolia*.

El tratamiento de preservación por vacío-presión en autoclave es adecuado para preservar piezas de corte longitudinal de *Guadua angustifolia*.

## 6. **RECOMENDACIONES**

Realizar estudios conducentes a la optimización de las variables del tratamiento de vacío-presión, como la magnitud de la presión, el periodo de aplicación de la presión y la concentración del preservante, en piezas redondas y de corte longitudinal de *Guadua angustifolia*.

Utilizando como base el presente estudio, se recomienda realizar investigaciones para determinar la tratabilidad de *Guadua angustifolia* con el empleo de preservantes de mayor fijación para su uso en condiciones de riesgo de lixiviación, como en el caso de piezas en contacto con el suelo.

## *BIBLIOGRAFÍA*

- ASTM. 2005. D 2017. Standard Method of Accelerated laboratory test of natural decay resistance of woods. EEUU.
- ASTM. 2007. D 1413. Standard Method of Testing Wood preservatives by laboratory soilblock cultures. EEUU.
- ASTM. 2008. D 3345. Standard Test Method for Laboratory Evaluation of Wood and Other Cellulosic Materials for Resistance to Termites. EEUU.
- AWPA 1993. A 11. Standard Method for Analysis of Treated Wood and Treating Solutions by Atomic Absorption Spectroscopy . EEUU.
- AWPA 2005. A 3. Standard Methods for Determining Penetration of Preservatives and Fire Retardants. EEUU.
- Ascencios D. y Takahashi J. 2004. Inventario de bambú en el Perú. Lima. Perú.
- Burgos. 2003. Revisión de las Técnicas de Preservación del Bambú. Rev. For. Lat. N° 33/2003.
- Calzada J. 1970. Métodos Estadísticos para la investigación. Editorial Jurídica S.A Tercera edición. Lima – Perú.
- Castaño F. y Moreno R. 2004. Guadua para todos. Cultivo y aprovechamiento. Proyecto Manejo Sostenible de Bosques de Colombia. Bogota-Colombia.
- Centro de Investigación de Bambú Madera (CIBAM). 1981. Manual de Construcción con Bambú. Universidad Nacional de Colombia. Estudios Técnicos Colombianos-Editores.
- Centro Nacional para el estudio del Bambú-Guadua (s.f). Corporación Autónoma Regional del Quindío (CRQ). Hojas informativas N° 1 al 15.
- Eaton, R y Hale, M 1993. Wood. Decay, pests an protection. London – UK.
- Encinas, O. 2005. Preservación de bambú y madera de plantaciones mediante desplazamiento de savia forzado. Revista Forestal Venezolana. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. 49(2):153-162

- Espinoza A. 2010. "Aptitud de *Guadua angustifolia* Kunth en la elaboración de tableros aglomerados con cemento". Tesis (Ing. Forestal).Lima, PE: Universidad Nacional Agraria La Molina. Sin publicar
- Giraldo E. y Sabogal A. 1999. Una alternativa sostenible: La Guadua. Técnicas de cultivo y manejo. Colombia.
- González, V. 1986. Preservación de Postes de Eucalipto para Líneas de Conducción de Energía. Revista Forestal del Perú. Vol II N°1 Y 2.
- Hidalgo O. 1974. Bambú, su cultivo y aplicaciones. Estudios Técnicos Colombianos Ltda. Cali-Colombia.
- INDECOPI 1974a. NTP 251.026. Penetración y retención de los preservadores en la madera. Perú.
- INDECOPI. 1974b. NTP 251.027. Valor tóxico y permanencia de preservadores de madera en condiciones de laboratorio. Perú.
- INDECOPI. 1979. NTP 251.032. Clasificación de maderas nacionales por sus características de preservación. Perú.
- INDECOPI. 2009. NTP 251.019. Tratamientos preservadores. Definiciones y Clasificación. Perú.
- Instituto Nacional de Estadística. 2002. Compendio Estadístico 2002. Cajamarca. Perú.
- ISO 22157-1. 2004. Bambú- Determinación de propiedades físicas y mecánicas.
- 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.
- Liese, W. 1985. Bamboos - Biology, silvics, properties, utilization. Publ. by: Ges, Für Techn. Zusammenarbeit (GTZ).
- Liese, W. 1993. Anatomía. In Memorias I Congreso Mundial de Bambú/Guadua. Pereira-Colombia.
- Liese, W. 1998. The Anatomy of Bamboo Culms. Technical Report. INBAR, Beijing, China.

- Liese, W. 2004. Conferencia: La preservación de un tallo de Bambú en relación a su estructura”. Simposio Internacional Guadua 2004 Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Londoño X. 1998. A decade of observations of *Guadua angustifolia* plantations in Colombia. The Journal of the American Bamboo Society.
- Londoño X. 2002. Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos de los bambúes del nuevo mundo. Cátedra Maestría en Construcción - Módulos Guadua, Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.
- Londoño X. et al. 2003. Caracterización anatómica del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth (Poaceae: Bambusoideae). Bamboo, science and culture: The journal of the American Bamboo Society.
- Morales T. 2006. Evaluación y ajuste del proceso de preservación de guadua por inmersión con sales de boro. Universidad Tecnológica de Pereira- Colombia.
- Moran Jorge A. 2002. Preservación del bambú en América Latina, mediante métodos tradicionales. Technical report N°25. Internacional Network for bamboo and ratan. Ecuador.
- Montoya J. 2008. Evaluación de métodos para la preservación de la *Guadua angustifolia* Kunth. Universidad Tecnológica de Pereira-Colombia.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador. 2004. Servicio de Información Agropecuaria. La caña de Guadua, proyecto SICA Banco Mundial. Ecuador
- Ministerio de Agricultura. 2008. Plan Nacional de Promoción. Fecha de consulta: 20 Agosto 2009. Disponible en: <http://www.minag.gob.pe/2008/minag-lanza-plan-nacional-de-promocion.html>
- Nieto F. (2008) Estudio anatómico de los culmos de “Bambú macho” (*Guadua angustifolia* Kunth) y “Bambú hembra” (*Bambusa vulgaris* Schard. Ex. J.C Wendl) del distrito de Santa Cruz de Flores, Cañete. Tesis (Ing. Forestal) Lima, PE: Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias Forestales. Sin publicar
- NTC 5301. 2007. Norma Técnica Colombiana Preservación y secado del culmo de *Guadua angustifolia* Kunth

- Vaca de Fuentes R.1998. Técnicas para la preservación de la madera-BOLFOR. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR. Universidad Autónoma Juan Misael Caracho. Bolivia.
- Vásquez M., Recabarren A. 2005. Preservación de la madera. Red Manufacturera de la Región del Maule. Programa ChileCalifica. Ministerio de Educación.
- Villegas, M. 2000. Sistema de secado y preservación de la guadua y la madera por medio de ahumado. *In* Memorias: Seminario guadua en la reconstrucción, Armenia, Quindío-Colombia.



## *ANEXO 1*

### **ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS CARACTERÍSTICAS DE PRESERVACIÓN DE *Guadua angustifolia* KUNTH EN TRATAMIENTOS DE INMERSIÓN PROLONGADA**

#### **JUSTIFICACIÓN:**

El bambú pertenece a un grupo de gramíneas de gran importancia económica a nivel mundial, ya que se emplean en la elaboración de una gran gama de artículos, desde artesanías hasta productos industriales y componentes estructurales de puentes y edificios.

Actualmente, son varias las especies identificadas de bambú en nuestro territorio, la mayoría de ellas son utilizadas en construcción, destacando entre ellas *Guadua angustifolia*. Sin embargo, por ser un material de naturaleza orgánica, es susceptible al ataque de organismos biológicos causantes de deterioro. Ello representa una limitante para su uso extendido, lo que implica el empleo de técnicas que ayuden a prolongar la vida útil de este material.

El presente estudio se realizó con el objetivo de establecer las variables de ensayo para la elaboración del proyecto de tesis titulado “Características de Preservación por el método de inmersión del tallo de *Guadua angustifolia* Kunth (Bambú), Proveniente Del Distrito De La Florida, Cajamarca”.

Los resultados que se generen con el estudio de tesis contribuirán al conocimiento sobre las técnicas adecuadas para la preservación del bambú, y de esta manera, generar alternativas para un aprovechamiento racional y eficiente del recurso.

## METODOLOGÍA:

Se realizaron ensayos de inmersión, probando los principales factores que pueden influir en la preservación de *Guadua angustifolia*, como: grado de madurez, contenido de humedad, concentración de solución, tratamientos de perforación de nudos y tiempo de inmersión. Los resultados obtenidos se evaluaron por medio de la determinación de la penetración y la retención calculada, según Norma Técnica Peruana INDECOPI (antiguamente ITINTEC) 251.026.

## Materiales y equipos:

Lugar de ejecución: Los ensayos de preservación se realizaron en el Laboratorio de Preservación de la Madera de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Las parcelas de extracción de las cañas de bambú, establecidas en plantaciones, se encuentran ubicadas en el caserío de Limoncito, distrito de La Florida, provincia de San Miguel, departamento de Cajamarca.

Materia prima: Se utilizaron probetas recién cortadas de *Guadua angustifolia* Kunth obtenidas por corte transversal del culmo de individuos en estado verde (con menos de 3 años de edad) y maduros (con más de 3 años de edad), con una longitud de 60 cm y de diámetro homogéneo.

Preservante: Se empleó un preservante inorgánico e hidrosoluble, conocido en el mercado con el nombre de “pentaborato”, cuya composición se muestra en el cuadro No 1.

### **Cuadro N°1: Formulación del preservante “Pentaborato”.**

Ácido bórico ( $H_3BO_3$ )	50%
Bórax ( $Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$ )	50%

**Reactivos:** Se utilizó el reactivo de coloración de polvo turmérico, según lo indicado en AWPA – A3, que determina la presencia de boro.

#### **Máquinas, equipos y herramientas:**

- \* Horno de secado Moore
- \* Estufa
- \* Sierra de portátil de disco
- \* Balanza de 0.05g. de precisión.
- \* Canteadora de disco.
- \* Despuntadora

#### **- Otros materiales:**

- \* Recipientes de inmersión
- \* Wincha de 3 metros.
- \* Varilla de metal puntiaguda.
- \* Martillo.

## **Procedimiento:**

\* **Obtención de probetas de bambú**, se seleccionaron aquellas cañas ubicadas en plantaciones diferenciando aquellas con más y menos de 3 años de establecidas, de diámetros similares, de aproximadamente 10 cm. y de más de 15 metros de altitud. El corte de dichas cañas se realizó por encima del primer entrenudo, luego, las cañas cortadas fueron trozadas a una longitud de 60 cm, las cuales presentaron la misma cantidad de entrenudos. Finalmente, se envolvieron las cañas con bolsas plásticas y se sellaron herméticamente para trasladarlas al Laboratorio de Preservación de la Madera.

\* **Tratamientos previos a la preservación**, se realizaron perforaciones a los nudos de las probetas seleccionadas para esta prueba. Posteriormente, la mitad de las probetas fueron sometidas a un proceso de secado artificial hasta alcanzar el 15 % de contenido de humedad.

\* **Preparación del preservante**, empleando recipientes abiertos de 200 litros de capacidad se preparó una solución de “pentaborato” a las concentraciones establecidas para el ensayo.

\* **Tratamiento de preservación por inmersión prolongada**, consistió en sumergir las probetas de bambú en una solución de pentaborato a la concentración establecida, durante diferentes periodos de tiempo, según el diseño experimental.

### **Diseño Experimental:**

Se realizaron 4 tratamientos de inmersión diferentes, considerando 02 niveles de prueba para las variables del ensayo, como se muestra en el cuadro No 2.

**Cuadro N° 2: Niveles de prueba para las variables de tratamiento de inmersión**

Grado de madurez	Menor a 03 años (verde)	Mayor a 03 años (maduro)
Contenido de humedad	Saturados	Secos al horno
Concentración de solución	2 %	4 %
Tratamiento de perforación	Sin perforación de nudos	Con nudos perforados

Con respecto a la variable tiempo (horas) de inmersión se probaron 07 factores: 24h, 48h, 96h, 116h, 120h, 165h y 192h.

Debido a la escasez de las muestras, se utilizó 01 repetición de manera alternada, de modo tal que se cubrieran las diferentes combinaciones de los factores descritos, como se muestra en el cuadro No 3.

**Cuadro N° 3: Distribución de las probetas para el ensayo de inmersión**

Verde	Húmedo	perforado	2%							
			4%							1
		sin perforar	2%	1			1		1	
			4%				1			1
	seco	perforado	2%							
			4%					1		
		sin perforar	2%	1	1					
			4%			1		1		
Maduro	Húmedo	perforado	2%						1	
			4%							
		sin perforar	2%	1			1		1	
			4%				1			1
	seco	perforado	2%							
			4%							
		sin perforar	2%	1	1					
			4%			1		1		

\* **Evaluación de resultados**, se determinó la penetración y la retención calculada, usando como referencia la NTP 251.026. La determinación de la retención calculada se realizó por diferencia de pesos de las probetas de bambú luego de realizado el tratamiento de preservación, utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Ret cal} = \frac{(pf - pi) * C}{V * 100}$$

$$V * 100$$

Donde:

Ret Cal: Retención calculada (kg/m<sup>3</sup>)

Pf: peso final de la probeta después del tratamiento (kg)

Pi: peso inicial de la probeta antes del tratamiento (kg)

V: volumen de la probeta (m<sup>3</sup>)

C: concentración del preservante (%)

En concordancia con la Norma NTP 251.026, para determinar la penetración del preservante en las probetas se procedió a seccionar las probetas por la mitad, exponiendo la sección transversal. Luego se aplicó el reactivo de coloración sobre la superficie cortada, evidenciando la presencia del preservante penetrado. Asimismo se determinó la penetración en la sección longitudinal.

## **RESULTADOS:**

En el cuadro No 4 se muestran los resultados de la evaluación de las probetas ensayadas. Se observa que la retención calculada es baja en aquellas probetas que no fueron sometidas al tratamiento de secado previo a la preservación, sin importar el grado de madurez, la concentración de la solución preservante, el tratamiento de perforación de nudos y el tiempo de inmersión.

Por otro lado se obtuvo mayores retenciones en las probetas en estado verde de maduración, sometidas a inmersión al 4% de concentración de solución preservante, con tratamiento de perforación de nudos y con mayores tiempos de inmersión.

**Cuadro N° 4: Retención calculada y tipo de penetración de pentaborato en probetas de bambú sometidas a inmersión prolongada con diferentes tratamientos**

Vsp1	saturado	2	24	3164,7	3180,9	0,0024	0,1353	Nula
Vsp2	saturado	2	116	3006,6	3026,6	0,0023	0,1769	Nula
Vsp3	saturado	2	165	3123,8	3132,8	0,0023	0,0799	Nula
Vsp4	saturado	4	192	2668,2	2668,9	0,0021	0,0136	Nula
Vsp5	saturado	4	116	2626,9	2626,9	0,0019	0,0000	Nula
Vsp6	seco	2	48	1668,8	1882,6	0,0017	2,4859	Parcial irregular
Vsp7	seco	2	24	1661,9	1835,0	0,0014	2,3887	Parcial irregular
Vsp8	seco	4	120	1895,0	2304,1	0,0021	7,7164	Total irregular
Vsp9	seco	4	96	1246,1	1644,5	0,0017	9,5672	Total irregular
Vp1	saturado	4	192	2726,3	2785,2	0,0020	1,1609	Parcial irregular
Vp2	seco	4	120	1240,8	1804,9	0,0017	12,9441	Total irregular
Msp1	saturado	2	165	2669,9	2669,9	0,0021	0,0000	Nula
Msp2	saturado	2	116	3037,9	3037,9	0,0022	0,0000	Nula
Msp3	saturado	2	24	3260,4	3270,3	0,0025	0,0805	Nula
Msp4	saturado	4	116	3317,6	3318,5	0,0024	0,0148	Nula
Msp5	saturado	4	192	3488,2	3488,2	0,0026	0,0000	Nula
Msp6	seco	2	24	2069,7	2216,6	0,0019	1,5841	Parcial irregular
Msp7	seco	2	48	2470,5	2700,4	0,0022	2,0666	Parcial irregular
Msp8	seco	4	120	2566,1	2736,8	0,0022	3,0959	Parcial irregular
Msp9	seco	4	96	2323,2	2517,8	0,0022	3,4647	Parcial irregular
Mp1	saturado	2	165	2533,8	2561,7	0,0022	0,2594	Nula

Donde:

M: probetas de bambú en estado maduro

V: probetas de bambú en estado verde

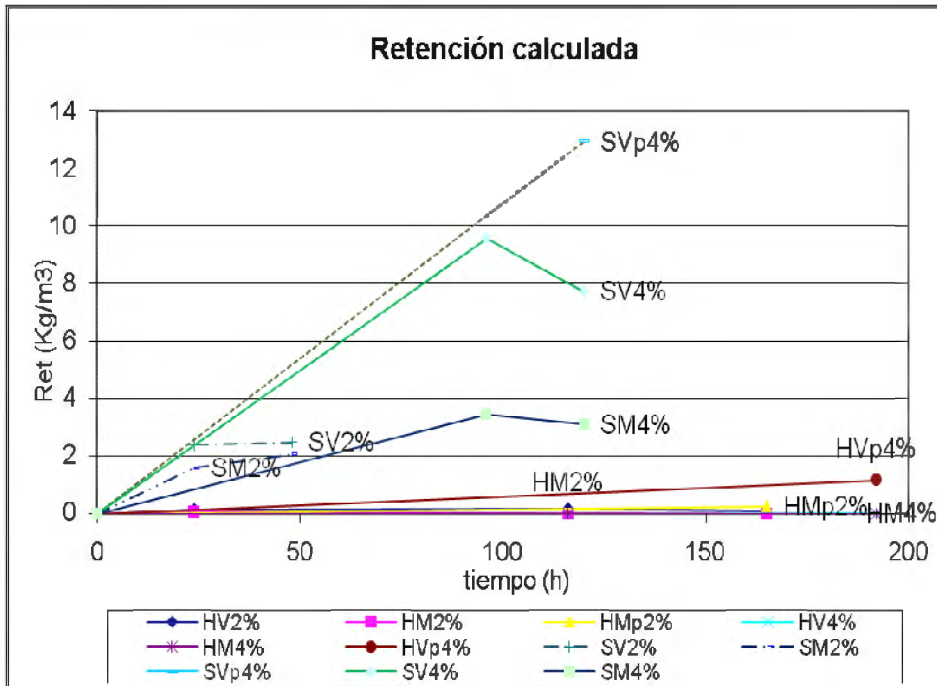
sp: sin perforación de nudos

p: con perforación de nudos



El tipo de penetración concuerda con los resultados de retención calculada, ocurriendo mejores penetraciones aquellas probetas en condición seca y con grado de madurez verde.

En la gráfica No 1 se observa que las probetas secas con grado de madurez verde tienen los resultados más altos, destacando la probeta con tratamiento de perforación de nudos. Asimismo, se observa que todas las probetas en condición húmeda tienen resultados bajos.



**Fig. N° 1: Curvas de retención calculada de los diferentes tratamientos de inmersión con pentaborato.**

**CONCLUSIÓN:**

Los mejores resultados de preservación se obtienen en probetas en condición seca, con grado de madurez verde y con un tratamiento de perforación de nudos. Asimismo, se observó que el incremento de la concentración y el tiempo de inmersión influyen favorablemente en estos resultados dentro de los rangos establecidos para el ensayo. Para definir la concentración más adecuada para el proyecto de tesis se requiere de un ensayo de valor eficaz, ya que se observó retenciones calculadas moderadas tanto al 2% como al 4%, según el tiempo de inmersión.

## *ANEXO 2*

### **ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS RESULTADOS**

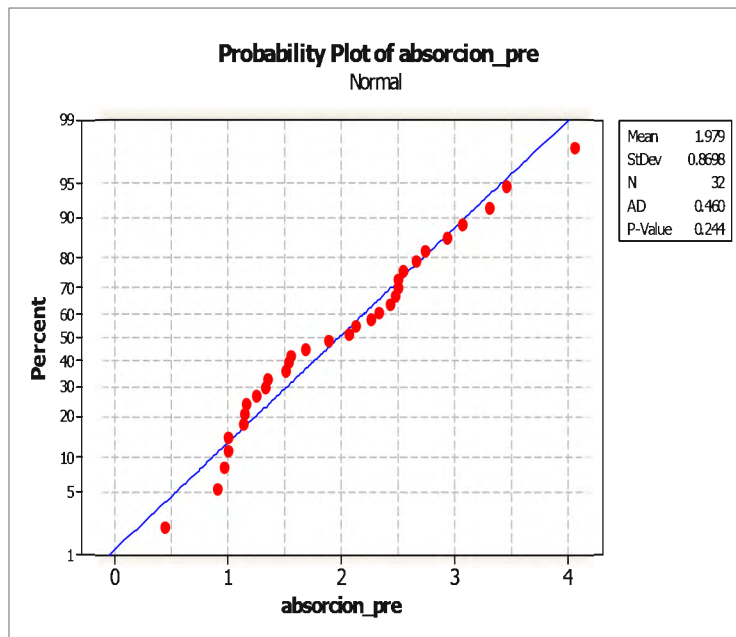
Requisitos previos DCA:

#### **Representatividad**

Los datos de los tratamientos que van a intervenir en el análisis de datos son una representación de la población, ya que las muestras de bambú fueron extraídas de una plantación.

#### **Normalidad**

Tal como se puede ver en la Figura N° 2, en la prueba de Anderson Darling (para probar normalidad), observamos que el p-value ha sido mayor a 0.05, por tanto se puede concluir que los resultados de absorción del preservante tienen una distribución normal en el ensayo.



**Fig. N° 2: Prueba de Normalidad (Anderson Darling) para la absorción**

c. Homogeneidad de variancias

El cuadro N° 5 muestra los resultados de la prueba de Bartlett empleando el programa SPSS versión 15.0, a un nivel de significación de 0,05. Del análisis se concluye que existe suficiente evidencia estadística para afirmar que las variancias son homogéneas entre los tratamientos.

### Cuadro N° 5: Prueba de Bartlett para la absorción

Test for Equal Variances: absorcion_pre versus trat				
95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations				
trat	N	Lower	StDev	Upper
p108	4	0.346773	0.74494	5.6460
p24	4	0.207456	0.44566	3.3777
p36	4	0.059634	0.12811	0.9709
p72	4	0.727707	1.56326	11.8481
sp108	4	0.215092	0.46206	3.5020
sp24	4	0.116166	0.24955	1.8913
sp36	4	0.070081	0.15055	1.1410
sp72	4	0.184430	0.39619	3.0028
Bartlett's Test (normal distribution)				
Test statistic = 24.39, p-value = 0.001				
Levene's Test (any continuous distribution)				
Test statistic = 1.35, p-value = 0.271				

Como se cumple el supuesto de homogeneidad de variancias y el de normalidad, entonces es posible realizar el DCA.

**B) DCA:**

**Hipótesis:**

Ho: Los ocho tratamientos son idénticos en términos de retención.

Ho: Al menos una de los ocho tratamientos es diferente en términos de retención.

**Nivel de significación:**

$$\alpha = 0,05$$

**Prueba estadística:**

En el análisis de variancia, que se presenta en el cuadro N°6, se observa que el F calculado es mayor que el F tabular (7,24), con lo cual se establece que existen evidencias estadísticas para rechazar la hipótesis planteada con un nivel de significación del 5%, es decir, que al menos uno de los tratamientos difiere de los demás.

**Cuadro N°6: Análisis de variancia**

Trat	62,50	7	8,93			
Error	9,36	24	0,39	22,9	2,43	*
Total	71,86	31	-			

Se ha obtenido que al menos uno de los tratamientos difiere del resto, sin embargo no se indica cual o cuales son dichos tratamientos. Dado que en este caso existe homogeneidad de variancias, se realizó la prueba de Tukey para la comparación de los tratamientos a un nivel de significación de 0.05, el cual se muestra en el cuadro N°7.

**Cuadro N°7: Prueba de significación de Tukey**

0,39	0,31	3,34	1,04

Para realizar la prueba de comparación entre los tratamientos, es necesario ordenar los promedios de tratamientos y asignar un número de orden de manera ascendente, como se muestra en el cuadro N° 8.

**Cuadro N° 8: Ordenamiento de promedios de los tratamientos**

tratamiento	T2	T1	T4	T3	T6	T8	T7	T5
promedio	1,14	1,91	2,05	3,03	3,11	4,36	5,08	5,08
Fuente: Elaboración propia								

## ANEXO 3

### CONSTANCIA DE ESTUDIOS ANATÓMICOS DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES: FAX: 340-2041, TEF: 340-5847 / 340-5889, Anexo .203  
APOD.456 - LA MOLINA LIMA PERU

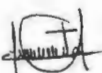


### CONSTANCIA

El que suscribe, JEFE DEL LABORATORIO DE ANATOMÍA DE LA MADERA, deja constancia que, de acuerdo con los estudios anatómicos efectuados, las muestras de bambú proporcionadas por la Bach. DORA LANDAURO PONCE, ex alumna de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional Agraria la Molina, empleadas en su trabajo de tesis titulado: "Características de preservación por el método de inmersión del tallo de *Guadua angustifolia* (Bambú), proveniente del distrito de la Florida, Cajamarca"; corresponden a:

<u>Nombres Comunes</u>	<u>Nombre Científico</u>	<u>Familia</u>
Bambú, Bambú macho	<i>Guadua angustifolia</i> Kunth	Poaceae

Atentamente,

  
Ing. Manuel Chavesta Custodio  
Lab. Anatomía de la Madera



La Molina, 26 de Agosto de 2010



## ANEXO 4

### INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN FOLIAR. CONTENIDO DE BORO. LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES.



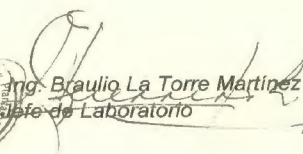
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



#### INFORME DE ANALISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : DORA LANDAURO PONCE  
PROCEDENCIA : CAJAMARCA  
MUESTRA : BAMBU  
REFERENCIA : H.R. 26961  
BOLETA : 6828  
FECHA : 17-06-10

Nº LAB	CLAVES	B Kg/m <sup>3</sup>
1368	1-P	0.363
1369	1-SP	0.139
1370	1 1/2-P	0.477
1371	1 1/2-SP	0.173
1372	3-P	0.547
1373	3-SP	0.194
1374	4 1/2-P	0.495
1375	4 1/2-SP	0.143

  
Ing. Braulio La Torre Martínez  
Jefe de Laboratorio

/ndf