

Universidad de Los Andes
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Química
Mérida-Venezuela

**ESTUDIO PRELIMINAR DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS
Y MECÁNICAS DE LAS ESPECIES *Guadua amplexifolia* y
Guadua angustifolia, TRATADAS QUÍMICAMENTE PARA
LA CONSTRUCCIÓN DE MUEBLES**

Proyecto de Grado II

Presentado por:
Nilda Elena Moreno

Tutor:
Aura Marina González

Asesor Industrial:
Styles Valero

Mérida, Mayo de 2009

Resumen

El bambú es una gramínea que se encuentra distribuida alrededor de todo el mundo, en este caso las especies *Guadua amplexifolia* y *Guadua angustifolia* son nativas de los países tropicales, caracterizándose por su flexibilidad y resistencia. Durante esta investigación se estudiaron ambas especies, provenientes del estado Yaracuy, con el fin de determinar su comportamiento físico-mecánico, en la aplicación específica de fabricación de muebles, en vista de ser una actividad que fomenta el desarrollo económico de la zona. En este caso las propiedades mecánicas escogidas para el estudio fueron dureza, para medir la resistencia que ofrecen ambas especies ante la acción de clavos o tornillos y compresión perpendicular a la fibra, para medir la resistencia cuando trabajan en posición durmiente. Durante el desarrollo experimental se emplearon dos tipos de soluciones inmunizantes: licor negro con 0,06 g sólidos/g solución y ácido bórico-bórax en relación 1:1 a 5% p/v. El tratamiento químico consistió en un proceso de inmersión durante cinco (05) días. Los resultados obtenidos indican que la absorción aumenta con la longitud del culmo para ambas especies, siendo mayor cuando se emplea ácido bórico-bórax como inmunizante. En cuanto a las propiedades físicas, se observó que la densidad permanece constante a lo largo de la longitud del culmo, además el contenido de humedad decrece desde la condición verde a la condición seca al aire. Por otro lado, el tratamiento químico disminuye la resistencia a la dureza de ambas especies, mientras aumenta la resistencia a la compresión perpendicular, alcanzándose esfuerzos similares con ambos tratamientos. La dureza para *Guadua amplexifolia* fue: tratada con ácido bórico-bórax, $245,3 \pm 15,50$ kg/cm², tratada con licor negro, $239,2 \pm 17,23$ kg/cm² y sin tratar, $287,39 \pm 40,02$ kg/cm². La *Guadua angustifolia*, luego de tratada soportó $278,12 \pm 17,93$ kg/cm². Finalmente, la resistencia a la compresión perpendicular registrada para la *Guadua amplexifolia* tratada con ácido bórico-bórax fue $27,96 \pm 4,42$ kg/cm², para la tratada con licor negro, $32,56 \pm 5,31$ kg/cm² y sin tratar $22,93 \pm 5,79$ kg/cm². Mientras, para la especie *Guadua angustifolia* tratada con ácido bórico-bórax es $15,51$ kg/cm² y sin tratar es $9,51$ kg/cm². Los resultados permiten inferir que especie más resistente es la *Guadua amplexifolia*. Finalmente, se determinó el tiempo óptimo de inmersión en la solución de ácido bórico- bórax mediante un análisis espectrofotométrico, la curva obtenida indica que sólo 26,5 h son suficientes para que el bambú alcance la saturación máxima, por lo tanto es innecesario inmersiones más prolongadas.

Dedicatoria

A mi madre, Carmen Contreras, que hasta el último día de su vida me enseñó responsabilidad, además de luchar todos los días como si fuera el último.

A mi hermana, Miranda Moreno, por hacerme más fuerte y enseñarme a ver la vida diferente.

Las amo con todo mi corazón.

Agradecimiento

A Dios, por permitirme culminar este trabajo con éxito.

A mis tutores, Prof. Aura Marina González y Prof. Styles W. Valero, más que orientadores, representaron una mano amiga en el duro camino que debí enfrentar para culminar este proyecto. Muchas gracias por guiarme y apoyarme en todo momento.

A la Prof. Amarilis Burgos, quien represento una luz a final de este recorrido.

Al Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LABONAC), sección de carpintería y sección de ensayos, por haber sido el hogar de esta investigación.

Al CDCHT por su apoyo financiero, que permitió el desarrollo de esta investigación

A los Técnicos, Antonio Fernández y Deisy Sosa de la Escuela de Ingeniería química y al Técnico Superior Forestal del LABONAC, Rolando Betancourt, por ayudarme a solventar dudas y problemas durante la fase experimental. Muchas gracias.

Al Lic. Rogelio Quijada, por representar la ventana para descubrir un mundo desconocido por mí, en mi propia tierra. Muchas Gracias.

A la Fundación Danac, Cooperativa Robisora y Cooperativa Azafrán por ser quienes proporcionaron los tallos utilizados durante el desarrollo de esta investigación, la cual se espera sea de gran ayuda para mejorar la calidad de sus productos.

A mis hermanos, Arlanda y Francisco Moreno, quienes me brindaron las herramientas para finalizar esta investigación. Los amo.

Tabla de contenido

	Pág.
Resumen	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
I. Introducción	7
II. Objetivos	8
2.1. Objetivo general	8
2.2. Objetivos específicos.....	8
III. Justificación	9
IV. Marco teórico	10
4.1. Generalidades	10
4.2. Clasificación	11
4.3. Descripción.....	12
4.3.1. Sistema rizomático	12
4.3.2. Culmo o tallo aéreo	14
4.3.3. Ramas	15
4.3.4. Hojas.....	16
4.4. Anatomía del culmo	16
4.5. Características del culmo según la edad.....	18
4.6. Edad de corte	19
4.7. Época de corte	20
4.8. Recolección del bambú.....	20
4.9. Agentes destructores del bambú.....	21
4.9.1. Agentes destructores de origen vegetal: hongos	21
4.9.2. Agentes destructores de origen animal: insectos.....	22
4.10. Preservación del bambú.....	23
4.10.1. Curado	24

4.10.2. Métodos de preservación mediante tratamiento químico	26
4.10.2.1. Requisitos de un inmunizante.....	27
4.10.2.2. Clasificación de inmunizantes	27
4.10.2.3. Métodos de tratamiento para el bambú verde.....	31
4.10.2.4. Métodos de tratamiento para el bambú seco	34
4.10.2.5. Grado de protección	37
4.11. Usos del bambú	38
4.12. Propiedades físicas y mecánicas.....	39
4.12.1. Propiedades físicas	40
4.12.1.1. Contenido de Humedad	40
4.12.1.1. Densidad	40
4.12.1.2. Peso específico básico	41
4.12.2. Propiedades mecánicas	41
4.12.2.1. Resistencia a la dureza de lado.....	42
4.12.2.2. Resistencia a la compresión perpendicular.....	42
V. Antecedentes.....	43
VI. Metodología experimental.....	50
6.1. Materiales y reactivos empleados.....	50
6.1.1. Reactivos	50
6.2. Equipos	51
6.3. Maquinaria.....	52
6.4 Diagrama de procedimiento	53
6.5. Selección de los culmos de <i>Guadua angustifolia</i> y <i>Guadua amplexifolia</i>	54
6.6. Determinación de propiedades físicas de probetas sin tratar.....	56
6.7. Acondicionamiento de los culmos.....	58
6.8. Tratamiento por inmersión con compuestos de boro	58
6.9 Tratamiento por inmersión con licor negro	59
6.10. Determinación de propiedades físicas de probetas tratadas	60
6.11. Determinación de parámetros de protección: absorción y retención.....	60
6.12. Determinación del tiempo óptimo de inmersión	61

6.12.1 Pasos para la determinación colorimétrica	61
6.13. Determinación de propiedades mecánicas.....	64
6.13.1 Resistencia a la dureza de lado	65
6.13.2 Resistencia Compresión perpendicular	66
6.13.3 Verificación de contenido de humedad	68
6.14 Ajuste de resultados.....	68
VII. Discusión de resultados.....	70
7.1 Diferenciación cualitativa entre probetas tratadas y no tratadas	70
7.2 Propiedades físicas	73
7.3 Absorción y retención de los compuestos químicos.....	76
7.4 Propiedades mecánicas.....	79
7.4.1 Comprobación de contenido de humedad de probetas empleadas para los ensayos mecánicos	79
7.4.2 Resistencia a la dureza de lado	80
7.4.3 Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra	83
7.5 Tiempo óptimo de inmersión: Análisis espectrofotométrico	86
VIII. Conclusiones	89
IX. Recomendaciones	91
X. Referencias.....	92
XI. Anexos	98

Índice de Figuras

	Pág.
Figura 4.1. Hábitos del culmo: (a) arqueados, (b) decumbentes, (c) trepadores, (d) erectos.	15
Figura 4.2. Grados de madurez de la especie <i>Guadua angustifolia</i> Kunth.....	19
Figura 4.3. Procedimiento de curado en la mata.....	24
Figura 4.4. Curado por inmersión.....	25
Figura 4.5. Cámara de ahumado.....	26
Figura 4.6. Equipo utilizado en tratamiento vacío presión.....	37
Figura 6.1. Prensa universal.....	51
Figura 6.2. Estufa.....	51
Figura 6.3. Deflectómetro.....	52
Figura 6.4. Corte y seccionamiento del culmo.....	54
Figura 6.5. Secciones del culmo.....	56
Figura 6.6. Probetas utilizadas para la determinación de propiedades físicas.....	56
Figura 6.7. Tratamiento químico de <i>Guadua</i>	59
Figura 6.8. Muestra luego de secar.....	62
Figura 6.9. Muestra luego de la adición del reactivo de curcumina.....	62
Figura 6.10. Muestra luego de la adición de solución ácida.....	62
Figura 6.11. Muestra luego de la primera adición de agua.....	63
Figura 6.12. Proceso de extracción.....	63
Figura 6.13. Extracto.....	64
Figura 6.14. Probetas empleadas para ensayos mecánicos.....	65
Figura 6.15. Ensayo de dureza.....	66
Figura 6.16. Placa utilizada en el ensayo de compresión perpendicular.....	67
Figura 6.17. Ensayo de compresión perpendicular.....	67
Figura 7. 1. Probetas de <i>Guadua amplexifolia</i> sin tratar.....	70
Figura 7.2. Probetas tratadas con ácido bórico y bórax de <i>Guadua amplexifolia</i>	71
Figura 7.3. Probetas tratadas <i>Guadua amplexifolia</i> con licor negro.....	72
Figura 7.5. Absorción de con ácido bórico-bórax para especies (a) <i>Guadua amplexifolia</i> - (b) <i>Guadua angustifolia</i>	77

Figura 7.6. Retención de ácido bórico-bórax para ambas especies	77
Figura 7.7. Absorción de licor negro para el especie <i>Guadua amplexifolia</i>	78
Figura 7.8. Retención de licor negro para la especie <i>Guadua amplexifolia</i>	78
Figura 7.9. Dureza probetas de <i>Guadua amplexifolia</i> tratadas con ácido bórico-bórax.....	80
Figura 7.10. Comparación de dureza entre probetas de <i>Guadua amplexifolia</i> preservadas con licor negro y con ácido bórico-bórax	81
Figura 7.11. Dureza probetas <i>Guadua angustifolia</i> tratadas con ácido bórico-bórax	82
Figura 7.12. Compresión perpendicular <i>Guadua amplexifolia</i> tratadas con ácido bórico-bórax y sin tratar	84
Figura 7.13. Comparación entre resistencia a la compresión perpendicular de la especie <i>Guadua amplexifolia</i> tratada con licor negro y con ácido bórico-bórax.....	85
Figura 7.14. Compresión perpendicular <i>Guadua angustifolia</i> tratadas con ácido bórico-bórax .	86
Figura 7.15. Curva de calibración.....	87
Figura 7.16 Variación de la absorbancia con respecto a tiempo de tratamiento.....	87

www.bdigital.ula.ve

Índice de tablas

	Pág.
Tabla 6.1. Metodología utilizada para la identificación de las secciones	55
Tabla 6.2. Normas para algunas propiedades mecánicas.....	64
Tabla 7.1. Contenido de humedad de <i>Guadua amplexifolia</i> tratada (ácido bórico-bórax) y testigo	73
Tabla 7.2. Densidad de <i>Guadua amplexifolia</i> tratada (ácido bórico-bórax) y testigo	74
Tabla 7.3. Peso específico básico de <i>Guadua amplexifolia</i> tratada (ácido bórico-bórax) y sin tratar	74
Tabla 7.4. Contenido de humedad de probetas <i>Guadua angustifolia</i> tratadas con ácido bórico-bórax y probetas testigo	75
Tabla 7.5. Densidad de probetas <i>Guadua angustifolia</i> tratada ácido bórico-bórax y probetas testigo.....	75
Tabla 7.6. Peso específico básico de probetas <i>Guadua angustifolia</i> tratada con ácido bórico-bórax) y probetas testigo.....	76
Tabla 7.7. Contenido de humedad de probetas empleadas para los ensayos mecánicos.....	79

I. Introducción

Los bambúes son gramíneas propias de ambientes húmedos como selvas bajas tropicales y nubladas, con excepción de algunas especies que se desarrollan en climas fríos. Generalmente se les asocia con el mundo asiático, pero en realidad se distribuyen alrededor del todo el mundo. Estructuralmente, no tienen un eje principal o tronco central y están constituidas por un sistema ramificado de ejes vegetativos segmentados, diferenciados en rizoma, culmo (tallo) y ramas (McClure, 1966).

Debido a sus propiedades físicas y mecánicas, el bambú tiene cientos de aplicaciones diferentes, de tal manera que se le conoce como la planta de los mil usos, se puede emplear de forma tradicional en construcción, fabricación de muebles y obtención de papel, o en fines un poco más innovadores, como fabricación de carcasas para computadoras. También representa una vía para tratar aguas residuales y para la reforestación, debido a su rápido crecimiento. No obstante, por ser un material orgánico, esta gramínea es susceptible a la degradación biológica, por la acción de agentes animales o vegetales, por tanto es necesaria la aplicación de algún método de preservación, para aumentar su durabilidad natural y así poder garantizar un producto final de buena calidad (Mejía, 2002).

En nuestro país existen varias especies de la supertribu Bambusodae, distribuidas en los bosques de los llanos occidentales, especialmente en las márgenes de ríos, aunque existen plantaciones en el estado Yaracuy (Sanint, 1996); en esta localidad, las especies nativas son *Bambusa vulgaris* (amarilla) y *Guadua amplexifolia*, aunque se pueden encontrar macollas de *Guadua angustifolia*. El aprovechamiento de este recurso se ha enfocado, hasta ahora, en la fabricación de artesanías. Sin embargo, actualmente, se está explorando la posibilidad del uso de estas especies de bambú en la elaboración de muebles, por tanto es necesario realizar un estudio acerca de las propiedades físicas y mecánicas de *Guadua amplexifolia* y *Guadua angustifolia*, con el objetivo de conocer el potencial que tienen ambas especies dentro de esta rama y, así, poder determinar si es posible su utilización para la fabricación de muebles.

II. Objetivos

2.1. Objetivo general

Determinar las propiedades físicas y mecánicas de las especies *Guadua amplexifolia* y *Guadua angustifolia*, tratadas químicamente con una solución de licor negro y ácido bórico-bórax para la construcción de muebles.

2.2. Objetivos específicos

a. Determinar las siguientes propiedades físicas de las especies *Guadua amplexifolia* y *Guadua angustifolia*: densidad (en condición de humedad: verde, seca al aire y seca al horno), peso específico básico y contenido de humedad.

b. Preservar la especie *Guadua amplexifolia* mediante inmersión en solución de ácido bórico y bórax y en solución de licor negro. Asimismo, preservar la especie *Guadua angustifolia* con ácido bórico y bórax.

c. Estimar el tiempo óptimo de inmersión durante el tratamiento en solución ácido bórico y bórax

d. Determinar algunas propiedades mecánicas (resistencia a la compresión perpendicular a las fibras, resistencia a la dureza de lado) de las especies *Guadua amplexifolia* y *Guadua angustifolia*:

e. Comparar las propiedades físicas y mecánicas obtenidas de las especies *Guadua angustifolia* y *Guadua amplexifolia* tratadas químicamente con muestras sin tratar.

III. Justificación

El bambú representa uno de los materiales de mayor potencial presente en el mundo vegetal, sin embargo son pocos los países que han aprovechado o intentado aprovechar las infinitas cualidades que posee esta gramínea. En nuestro país, es recientemente que se inicia el proceso de investigación para conocer cuales son las capacidades de las especies presentes en esta región. Sin embargo la mayoría de las investigaciones han sido enfocadas en estudios de propiedades físicas y mecánicas, sin tomar en cuenta la preservación como vía para incrementar la durabilidad del bambú y su resistencia. Allí radica la importancia de esta investigación, porque se analizan los dos aspectos en conjunto, permitiendo profundizar acerca del comportamiento del bambú luego de la preservación.

Además, mediante este trabajo se espera conocer el potencial de las especies *Guadua angustifolia* y *Guadua amplexifolia* para la fabricación de muebles, lo que ayudaría a impulsar el uso de este recurso, propiciándose la expansión económica de las comunidades que lo poseen, y así colaborar con el desarrollo sustentable de las mismas, en especial de la comunidad de San Javier del estado Yaracuy.

Por otro lado, una de las especies estudiadas, *Guadua amplexifolia*, es prácticamente desconocida por la comunidad científica de Venezuela, por ello se espera que esta investigación encienda el interés de muchos, para lograr valorizar cualquier producto obtenido a partir de esta especie de bambú. Finalmente, con los resultados obtenidos se podría establecer de manera preliminar las diferencias de comportamiento entre *Guadua angustifolia* proveniente del estado Yaracuy y muestras de la misma especie oriundas de otros lados del país, anteriormente estudiadas.

IV. Marco teórico

4.1. Generalidades

El bambú es una gramínea gigante, tradicionalmente relacionada al mundo oriental, específicamente con la cultura China, India y Japonesa, en donde su uso se remonta a 5.000 años. Por muchas generaciones fue empleado como: medicina, alimento, vivienda, complemento para agricultura, instrumentos de arte, ceremonias, entre otros (Deras, 2003).

Según Hidalgo (1974) se han encontrado escritos de bambú en estas sociedades, que se remontan al año 1563, por ejemplo existen escrituras sobre el “Tabashir”, una droga que se extraía del MAMBÚ en la India. Recht y Wetterwald (citados en Deras, 2003), señalan que culturalmente el bambú forma parte de proverbios populares tales como, “el bambú es mi hermano” en Vietnam; en China es símbolo de amabilidad, nobleza y se considera “el camino a la vida China”. Mientras que en India es considerado como “oro verde”.

Las cualidades del bambú le permiten ser utilizado en un sin número de aplicaciones, fabricación de palillos para los dientes, diseño y construcción de muebles, elaboración de cerveza, fabricación de papel y utilización en la armadura de pequeños aviones. Además se emplea en la fabricación de viviendas tradicionales y como material de construcción de viviendas residenciales (“Usos”, s.f).

Estas plantas representan a las gramíneas más grandes del mundo. Están distribuidas no solo en Asia, sino también en América, Oceanía, y África. Estructuralmente están constituidas por un sistema ramificado de ejes vegetativos segmentados. Estos ejes pueden ser diferenciados como rizoma, culmo (tallo) y ramas, no existe un eje principal o tronco central. Se caracterizan por tener hábito perenne, hojas pecioladas, rizomas bien desarrollados, culmos lignificados y fuertes, haces vasculares en diferente proporción y cuerpos silicios orientados verticalmente. Algunas especies son de muy corta vida, y su longitud puede variar desde 0,15 a 45 m,

igualmente son de hábitos diversos: erectas, reclinadas, trepadoras o enredaderas (Vela, 1976; McClure, 1966; Soderstrom y Ellis, 1987).

4.2. Clasificación

De acuerdo a las características de su tallo, Hidalgo (1974) señala que los bambúes pertenecen a las angiospermas¹, específicamente a las monocotiledóneas².

Desde el punto de vista taxonómico, Londoño (2002) explica que los bambúes pertenecen a la familia Poaceae y a la subfamilia Bambusoideae, la cual está dividida en dos grandes supertribus: Bambúes herbáceos u Olyrodae y Bambúes leñosos o Bambusodae.

La supertribu Olyrodae en América reúne un total de 20 géneros y aproximadamente 130 especies de bambúes herbáceos, lo que equivale a 80% de la diversidad genérica mundial. Este grupo se caracteriza por crecer en el estrato herbáceo de la selva tropical y subtropical por debajo de 1.000 m, donde son polinizados por insectos. Generalmente se usan como plantas ornamentales y su importancia radica en el estudio de la evolución del bambú (Calderón y Soderstrom, 1973). La Olyreae representa a la tribu más numerosa de esta supertribu, se distribuye en nuestro continente desde México hasta Argentina, se caracteriza por poseer rizomas cortos, cuerpos silicios y formar plantas cespitosas (Londoño, 2002).

La supertribu Bambusodae reúne a los bambúes leñosos, compuestos por 61 géneros y de 800 a 900 especies agrupados en una tribu, Bambuseae, y en nueve subtribus, cuatro exclusivas del Viejo Mundo, Bambusinae, Nastinae, Shibataeinae y Schizostachydinae, cuatro únicas de América, Arthrostylidiinae, Chusqueinae, Guaduinae y Neurolepidinae, y una subtribu,

¹ Las angiospermas son plantas que producen flores.

² Una planta monocotiledónea posee un embrión con una sola hoja primordial constitutiva de la semilla y haces vasculares esparcidos

Arundinariinae, que se distribuye en los dos hemisferios. Nuestro continente aporta 23 géneros y aproximadamente 380 especies (Soderstrom y Ellis, 1987).

Los bambúes leñosos (Bambusodae) se caracterizan por tener tallos lignificados, sistemas complejos de ramificación y de floración, además de crecer en hábitats abiertos donde son polinizados por el viento (Sanint, 1996). Igualmente, poseen rizomas bien definidos y fuertes; presentan brotes nuevos cubiertos por hojas especializadas (hojas caulinares) y tienen cuerpos silicios verticalmente alargados (Londoño, 2002).

En Venezuela, los bambúes se encuentran distribuidos en los bosques de los llanos occidentales, especialmente en las márgenes de ríos, aunque existen algunas plantaciones en el estado Yaracuy. Las especies más importantes son: *Arundinaria amabilis*, *Bambusa vulgaris* y *Guadua angustifolia* (Paredes, 1991).

4.3. Descripción

Los ejes segmentados de los bambúes forman una serie de nudos y entrenudos que varían en su morfología según corresponda al rizoma, al tallo o a las ramas. Los nudos son los puntos de unión entre los entrenudos. Los entrenudos representan a la porción del bambú ubicada entre dos nudos, tanto nudos como entrenudos son diferentes en cada especie (Hidalgo, 1974).

4.3.1. Sistema rizomático

El sistema rizomático es un eje segmentado generalmente subterráneo que representa la base estructural de la planta, está compuesto por el cuello del rizoma, el rizoma en sí y las raíces de tipo filamentosos en su parte inferior (Sanint, 1996).

El cuello del rizoma es basal a éste y es la parte que primero se desarrolla, carece de yemas y generalmente es corto aunque también puede ser elongado. Las raíces cumplen la función de absorción (agua y nutrientes), de soporte y de anclaje de la planta, son delgadas, rústicamente cilíndricas y aparentemente no crecen con la edad (Londoño 2002).

Por su parte, el rizoma en sí es una especie de tallo modificado de desarrollo horizontal. Funciona como órgano de almacenamiento para los nutrientes y como un elemento básico para la propagación del bambú asexualmente, además de servir como anclaje principal (Hidalgo, 1974).

El sistema rizomático asume distintas formas y hábitos de crecimiento de acuerdo a la especie y al género. McClure (1966), lo dividió en dos formas básicas, paquimorfo y leptomorfo, aunque existe una forma intermedia denominada anfipodial.

- Rizoma paquimorfo (caimán, alacrán)

Los rizomas paquimorfos son cortos, gruesos, sólidos, de entrenudos más anchos que largos, asimétricos, generalmente casi fusiformes; más o menos curvos (raramente esféricos y rectos), con un espesor normalmente algo mayor que el del culmo, nodos no elevados o inflados (McClure, 1966). Además tienen yemas laterales solitarias en forma de domo o semiesfera que sólo se desarrollan en nuevos rizomas y subsecuentemente en nuevos tallos, sin embargo la mayoría de éstas permanecen inactivas (Hidalgo, 1974).

Los bambúes del tipo paquimorfo al manifestarse de manera cespitosa o aglutinada, desarrollan cada tallo en forma circular alrededor de la planta madre, con mayor separación de los tallos hacia la periferia, a medida que aumenta el número de nuevas plantas (Sanint, 1996). Generalmente a este sistema rizomático pertenecen las especies tropicales, las cuales no se desarrollan bien a temperaturas heladas (Montiel & Morillo, 1998).

- Rizoma leptomorfo

Se caracterizan por ser largos y delgados, así como por tener forma cilíndrica o casi cilíndrica, con diámetros menores que los del culmo que generan. Simétricos, raramente sólidos, típicamente huecos con entrenudos más largos que anchos y con nudos casi siempre poco elevados o inflados. En cada nudo existe una yema generalmente inactiva la cual al activarse

genera un tallo, aunque en algunos casos puede producir un rizoma. Los rizomas se ramifican lateralmente o monopodialmente recorriendo grandes distancias, por tanto los tallos se presentan en forma aislada y difusa (McClure, 1966). Los bambúes de este grupo son resistentes a temperaturas heladas y se desarrollan mejor en climas con inviernos o extremadamente fríos (Montiel & Morillo, 1998).

• Rizoma anfipodial

En este caso una misma planta tiene una ramificación de tipo paquimorfo y leptomorfo, las yemas del segmento paquimorfo dan origen a otro rizoma mientras que las del segmento leptomorfo dan origen a más culmos, es característico del género *Chusquea* y de algunas especies tales como *Sasapeniculata* en el Japón (Hidalgo, 1974).

4.3.2. Culmo o tallo aéreo

El término culmo generalmente es empleado cuando se hace referencia a especies leñosas, se define como el eje segmentado que emerge del rizoma, tiene forma cilíndrica y está constituido secuencialmente por nudos y entrenudos. Ambos modifican su tamaño y longitud de acuerdo a la sección de la planta donde se encuentren ubicados. Los nudos son cóncavo-convexos, asimismo cumplen con la función de dar rigidez, flexibilidad y resistencia a los culmos. Los entrenudos en la mayoría de los casos son huecos, aunque pueden encontrarse completamente sólidos. El culmo se divide en tres secciones principales basal, media y apical, a través de las cuales el diámetro va disminuyendo con la altura. La sección basal representa la parte del culmo que le sigue al rizoma, se caracteriza por tener el máximo diámetro de todo el tallo, el extremo más alto de la vara es la sección apical, cuyo diámetro puede llegar a ser menor de 1 cm, finalmente la sección media, es la porción del culmo entre la base y el ápice (Sanint, 1996; Londoño, 2002).

En cuanto a la forma de desarrollo (hábito del culmo), se pueden agrupar en: estrictamente erectos difusos o cespitosos, decumbentes, erectos pero arqueados en la punta, estrictamente escandentes y trepadores, erectos en la base y escandentes en la parte superior.

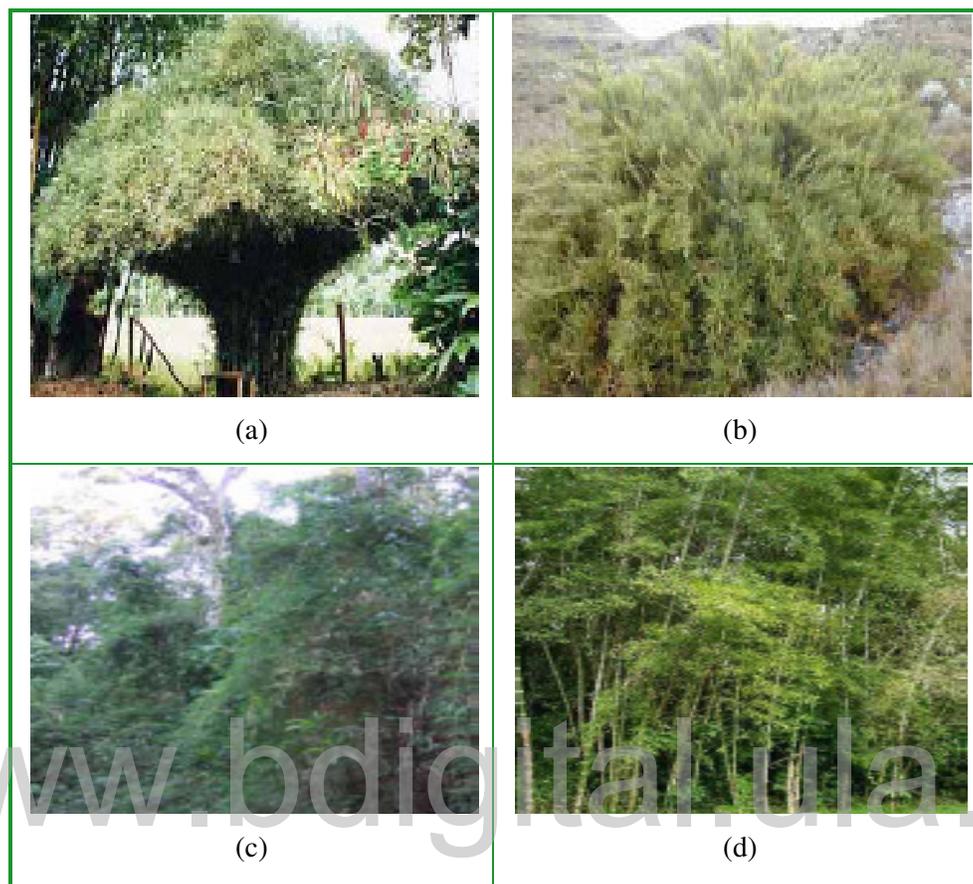


Figura 4.1. Hábitos del culmo: (a) arqueados, (b) decumbentes, (c) trepadores, (d) erectos.
(Londoño & Botero, 2006)

4.3.3. Ramas

Las ramas se originan en la línea nodal, por encima de ésta o sobre un promontorio. La cantidad y la manera como se organizan dependen de la especie. Existe desde una rama hasta más de 100 ramas por nudo, dispuestas en forma de abanico (*Rhipidocladum* y *Merostachys*), con una rama central dominante (*Atractantha*) o sin ella (algunas especies de *Chusquea*). La ramificación de los bambúes varía durante el desarrollo de la planta, sin embargo, la forma más típica de ramificación se observa en la parte media de los culmos adultos. En algunos bambúes las ramas basales se modifican y llegan a transformarse en espinas, como sucede en la mayoría de las especies de *Guadua* (Londoño, 2002).

4.3.4. Hojas

Las hojas en los bambúes se dividen en dos tipos debido a la función que cumplen: Hojas caulinares y hojas típicas o follaje.

- Hojas caulinares

También conocidas como brácteas, estas hojas nacen en cada nudo del culmo y tienen como función proteger la yema que da origen a las ramas y al follaje, pueden ser persistentes o deciduas, aunque pueden existir mezclas de ambas, tienen forma triangular y son de consistencia fuerte, están constituidas por dos partes: la vaina o parte basal y la lámina o parte distal (Londoño, 2002).

- Hojas típicas o follaje

Sanint (1996), considera al follaje como: “Los órganos vegetativos más importantes porque elaboran las sustancias nutritivas de la planta” (p.82). En la mayoría de las gramíneas, la hoja está constituida por vaina, lámina, y apéndices como aurículas y fimbrias. La lámina es una estructura que varía mucho en tamaño y forma, hay muy pequeñas hasta muy grandes (*Guadua amplexifolia*), y desde lineares hasta triangular-lanceolada (Londoño, 2002).

4.4. Anatomía del culmo

La anatomía del tallo determina las propiedades físico-mecánicas del bambú y los factores que influyen en la variación de las mismas. Todo bambú posee una epidermis dura y cutinizada, constituida por sílice, lignina y cutina, cubierta por una capa cerosa (pectina y celulosa) que evita la evaporación del agua contenida en sus células. La cutinización incrementa la resistencia al desgarramiento (Paredes, 1991; Sanint, 1996).

Montoya (2005a), señala que el bambú posee los mismos componentes orgánicos de la madera y su composición aproximada es la siguiente:

- Celulosa 40%.
- Lignina 25%.
- Hemicelulosa 25%.
- Sílice (SiO_2) 1-5%, localizado en la parte externa del diámetro cerca de la corteza.
- Almidones 2-6%. La cantidad de esta sustancia determina la vulnerabilidad del bambú ante el ataque de insectos.
- Menor cantidad de azúcares, taninos y sales orgánicas.

También carece de tejido de cámbium³ y por eso no presenta crecimiento secundario o incremento en diámetro, solamente tienen crecimiento primario o apical. En los entrenudos, las células están axialmente orientadas, mientras que los nudos proveen la interconexión transversal. Al realizar un corte transversal del culmo se observan haces vasculares (vasos conductores), que están rodeados por grupos de células esclerenquimáticas (fibras) en forma de escudos, los cuales se encuentran en una masa de tejido parenquimático (tejido esponjoso, turgente). La proporción de parénquima para el culmo es 50%, de fibra 40% y de vasos conductores 10% (Liese, 1987).

Por su parte, los haces vasculares están compuestos por el floema y el xilema. El floema transporta desde las hojas a toda la planta los nutrientes y los productos de la fotosíntesis. Hacia el lado y el centro del floema se ubica el xilema, que a su vez transporta desde la raíz, el agua y las sales disueltas (Sanint, 1996).

El parénquima y las haces vasculares de mayor tamaño se ubican en la parte interior del tallo, y en la parte exterior las fibras. La cantidad de éstas aumenta de la base al ápice y el tejido parenquimático disminuye, aunado a esto los vasos se hacen más pequeños (Liese, 1987).

³ Estrato celular de las plantas leñosas, responsable del engrosamiento de tallos y raíces.

Finalmente, Gutiérrez (1990), considera que entre un 40-70% de las fibras se concentran en la parte externa y entre un 15-30% en la parte interna del culmo. La longitud de éstas es variable, siendo más cortas cerca del nudo y más largas en el centro transversalmente, además alcanzan un máximo en el centro y decrecen hacia el interior del tallo.

4.5. Características del culmo según la edad

Para un mejor aprovechamiento del bambú es importante conocer las características de los diversos grados de madurez, los cuales pueden diferir un poco en cada especie, pero en general se encuentran los siguientes:

- Brote o renuevo: Se refiere a la primera etapa de desarrollo, desde el momento que el culmo emerge del suelo hasta el final de su crecimiento longitudinal, generalmente está cubierto, en su totalidad, por hojas caulinares, aunque algunas pueden estar caídas. Las ramas durante esta etapa comienzan a diferenciarse.
- Joven o viche: Las ramas se empiezan a desarrollar y el color del culmo es verde intenso.
- Adulto: Las hojas caulinares pueden estar completamente desprendidas, siempre y cuando, sean deciduas. Las ramas están completamente desarrolladas con denso follaje, además se observan manchas liquenosas o plaquetas de color blanco. La presencia de líquenes le da al culmo un color verde más pálido o un poco grisáceo.
- Hecho: Es un estado adulto avanzado, el follaje es menos denso y su color cambia a verde pálido-amarillo, aunado a esto puede estar cubierto con gran cantidad de líquenes. Los culmos han adquirido su mayor grado de resistencia por la compactación de los haces vasculares, por tanto es la fase de mayor aprovechamiento del tallo.
- Viejo o seco: El tallo se torna amarillo o verde blanzco con apariencia seca y pierde su resistencia mecánica (Castaño, 1986; Sanint, 1996).



Figura 4.2. Grados de madurez de la especie *Guadua angustifolia* Kunth

(Londoño y Botero, 2006)

4.6. Edad de corte

La edad de corte se determina teniendo en cuenta la especie, su producción dentro del bambudal y el uso que se le dará al culmo. Generalmente la edad más apropiada para cortar los tallos es de 2 a 6 años, aunque sí las especies son muy grandes se requiere mayor tiempo (Hidalgo, 1974).

De acuerdo al uso del bambú, el tallo puede ser cortado a diferentes edades (Londoño, 2002; Sanint, 1996):

- Brotes y renuevos: En algunos países de oriente se emplean como alimento humano, se consumen frescos, ahumados, encurtidos o en salmuera.
- Culmos jóvenes: El material obtenido es de gran flexibilidad, además no se quiebra; se utiliza en tejidos, canastas y artesanías.
- Culmos adultos: Se utiliza para propagación y artesanía.
- Culmos hechos: Se emplean como material de construcción (vivienda, puentes), en labores agropecuarias (corrales, cercos), fabricación de muebles y artesanías, producción de carbón vegetal, de textiles; de pulpa para papel, y de productos industrializados tales como paneles y aglomerados.

- Culmos viejos: Se utilizan como material de combustión en los fogones domésticos, en los trapiches paneleros y en las fábricas de ladrillos.

4.7. Época de corte

Es recomendable realizar el corte cuando existe menor contenido de humedad; esto ocurre en la noche y durante la época seca, ya que el agua contenida en el culmo es transferida al suelo. El procedimiento se debe llevar a cabo en la mañana antes que comience la influencia del sol en el proceso fotosintético y, por tanto, el ascenso del agua. Sí se toma en cuenta el comportamiento del sistema vascular, es mejor cortarla a finales de invierno comienzo de verano, ya que en ese momento el contenido en los haces vasculares de almidones, azúcares y demás sustancias alimenticias no es tan alto, lo cual no atrae gran cantidad de agentes destructores de la madera (Sanint, 1996).

Aunado a esto, existe una creencia sobre la influencia de las fases de la luna en el corte. Los trabajadores consideran que la época más adecuada para cortar es en menguante, ya que el bambú, según ellos, es menos susceptible al ataque de insectos, pero estudios realizados al respecto en Puerto Rico e India no encontraron suficiente evidencia para aseverar si una fase lunar es más favorable para cortar el bambú que otra (Hidalgo, 1974).

4.8. Recolección del bambú

Durante la recolección del bambú se debe tener cuidado en no perjudicar el desarrollo del bambudal, por ello se deben seguir los siguientes pasos (Salazar y Díaz, s.f.; Sanint, 1996):

- Selección previa de los tallos.
- Corte de los tallos seleccionados en la primera hora de la mañana. Es recomendable para el corte el uso de machetes bien afilados o motosierras, ya que éstas generan un mejor corte y menores posibilidades de dañar el tallo. El corte debe hacerse 15 ó 30 cm por encima del suelo al ras del nudo, para evitar que el agua se acumule y el rizoma se pudra.

- Desrame y limpieza de los tallos cortados.
- Corte de los tallos en trozos, de acuerdo con su aplicación final.
- Clasificación de acuerdo a su uso.
- Colocación vertical por grupos para drenar la savia.

4.9. Agentes destructores del bambú

El bambú por ser un material orgánico es susceptible a la degradación producida por la acción de organismos biológicos provenientes del reino vegetal o animal (Mejía, 2002).

4.9.1. Agentes destructores de origen vegetal: hongos

Los hongos al ser incapaces de producir su propio alimento, se alojan en la madera y viven en ésta de forma parásita, ocasionando daños en su estructura, cambios de color o de textura. Los factores que influyen en el desarrollo de estos organismos son: humedad, temperatura, oxígeno, alimento y valor del pH (Mejía, 2002).

La humedad puede estar a disposición del hongo en dos formas: en el sustrato y en el medio ambiente. Debe oscilar entre 35 y 50% para propiciar el desarrollo de los hongos, por tanto, al estar por debajo de 35%, se restringe el crecimiento de estos organismos. Sin embargo es más recomendable mantener un valor inferior a 20%, ya que con estos valores de contenido de humedad, no se producen ataques. En cuanto a la temperatura, el rango favorable para el aumento de estos agentes es el comprendido entre 3 y 42 °C, proceso que se inhibe cuando se está cerca de cualquiera de los extremos (Mejía, 2002).

Los hongos son organismos aeróbicos, que requieren cantidades relativamente bajas de aire disponible, para que la madera sea atacada debe contener una cantidad de aire cercana a 20% de su volumen. En un medio saturado de humedad los hongos no se pueden desarrollar debido a la falta de oxígeno, por tanto la inmersión es un método efectivo para evitar su desarrollo (Mejía, 2002).

Los hongos se pueden dividir en dos grupos:

- Hongos xilófagos.
- Hongos cromógenos y mohos.

Los hongos xilófagos destruyen las paredes celulares ya que disuelven la celulosa, la hemicelulosa o la lignina en sustancias nutritivas, afectando sus propiedades físicas y químicas, provocando pudriciones severas. La pudrición se clasifica en pudrición blanda, blanca y parda (Hidalgo, 1974; Mejía, 2002).

En cambio, los hongos cromógenos y mohos no afectan la estructura de la célula, por tanto no disminuyen la resistencia del bambú. Los cromógenos generan cambios de coloración en los tejidos o manchas al alimentarse. Por su parte, los mohos producen proliferaciones algodonosas en la superficie del área afectada, que van desde color blanco al negro, pasando por todas las tonalidades (Hidalgo, 1974; Mejía, 2002).

4.9.2. Agentes destructores de origen animal: insectos

Los insectos xilófagos se sienten atraídos por la presencia de celulosa o de algunas sustancias de reserva tales como: el almidón y los azúcares contenidos en la célula parénquima de la planta, así que la pueden atacar estando viva o luego de cortada. El desarrollo de los insectos destructores del bambú está influenciado por factores tales como: cantidad de alimento, temperatura y humedad del sustrato (Sanint, 1999; Mejía, 2002).

Estos organismos dependen de la temperatura que posea el ambiente donde habitan, ya que no pueden regular la de su cuerpo y la temperatura máxima a la cual sobreviven es de 30 °C. En cuanto al contenido de humedad, la cantidad presente en el tallo provoca el ataque de un determinado grupo de insectos; existen los que dañan al bambú verde, es decir, plantas de pie o

recién cortadas; y los que la atacan seca. Al primer grupo pertenecen las familias de Isópteros (termitas), Coleópteros⁴, Lepidópteras (mariposas) e Hymenópteras (abejas, hormigas, avispas, entre otros). Asimismo, la madera seca sólo es atacada por individuos de las familias de los isópteros y los coleópteros (Hidalgo, 1974; Mejía, 2002).

- Daños causados por insectos en bambúes verdes: generalmente los tallos en crecimiento son atacados por larvas o gusanos, ocasionando tallos mal desarrollados, torcimiento de los mismos o estancamiento del crecimiento. Dentro de este grupo destaca el *Podischnus agenor*, que ataca principalmente a los rebrotes. Otras especies pueden alimentarse a partir de la hojas, tales como la hormiga *Atta cephalis*, el daño más importante producido por este insecto es en plantaciones nuevas o en viveros (Hidalgo, 1974; Mejía, 2002).

- Daños causados por insectos en bambúes secos: formación de galerías. En este caso uno de los barrenadores más destructores es el *Dinoderus minutus*, muy abundante en el mundo ya que tiene una gran capacidad de adaptación climática, se caracteriza por atacar principalmente a las especies de bambú con mayor contenido de almidón, tales como la *Bambusa Vulgaris* y la *Guadua* (Hidalgo, 1974; Mejía, 2002).

4.10. Preservación del bambú

El bambú, por ser tan susceptible al ataque de insectos y hongos, debe ser tratado para aumentar su durabilidad, con este fin puede ser curado, secado o tratado químicamente (Sanint, 1996).

⁴ Los coleópteros son considerados como una de las plagas más destructoras. Gracias a sus piezas bucales masticadoras, forman galerías dentro de la madera, dejando los tallos inservibles; en algunos casos estas galerías son hechas por el insecto en estado larva (Mejía, 2002).

4.10.1. Curado

El curado es un procedimiento físico-natural que se hace con el fin de disminuir el contenido de humedad y disminuir o descomponer el contenido de almidón en el culmo. Es muy usado debido a su bajo o ningún costo, aunque no es tan efectivo como otros procedimientos. Según diversos autores (Hidalgo, 1974, 1981; Burgos, 2003; Montoya, 2005a, Salazar y Díaz, s.f.; Morán, s.f), las diferentes formas de curar al bambú son: curado en la mata, curado por inmersión y curado al calor.

1. Curado en la mata: Se inicia con la selección del tallo adecuado (A). Al cortar el tallo (B), el tallo es aislado del suelo y recostado con hojas y ramas sobre otros bambúes de la manera más vertical posible (C). Los culmos deben permanecer en esta posición de 4 a 8 semanas. Mediante este procedimiento los tallos conservan su color y no se manchan. La posición vertical y la presencia de las hojas y las ramas fomentan el proceso de transpiración el cual, junto con la gravedad, produce pérdida de humedad. Además los almidones se reducen a azúcares que luego se fermentan convirtiéndose en alcohol, el cual actúa como un inmunizante natural.

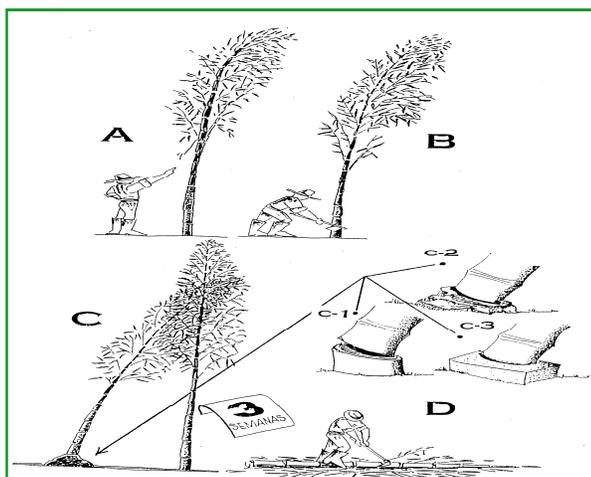


Figura 4.3. Procedimiento de curado en la mata
 (“Construir”, s.f.)

2. Curado por inmersión: Los tallos recién cortados se sumergen en agua ya sea en estanque o río, de esta manera los carbohidratos contenidos en el parénquima se reducen. El lapso de inmersión

puede variar de 4 a 12 semanas, aunque es recomendable dejarlo menos de cuatro, ya que con el aumento del tiempo de inmersión los tallos se hacen más livianos y quebradizos. Además de esto los tallos se manchan.



Figura 4.4. Curado por inmersión
(“Construir”, s.f)

3. Curado al calor: Consiste en colocar el tallo sobre brasas a una distancia apropiada para que no se queme, girándolo constantemente. Por esta vía se mata cualquier insecto que se encuentre en su interior y se endurece la pared exterior, haciéndolo más resistente al ataque de insectos, ya que se descomponen o se reducen los almidones contenidos en las células parénquimas. Este método se lleva a cabo a cielo abierto, siendo también empleado para secar y enderezar tallos torcidos.

En los países orientales, los culmos son colocados en cámaras con temperaturas que oscilan entre 120 y 150 °C durante 20 minutos, se considera muy efectivo pero existe el riesgo de que el calor produzca contracciones y se generen agrietamientos y fisuras.

Una variante de este tipo de curado es el ahumado, el cual consiste en introducir el bambú en una cámara de funcionamiento cíclico por un período de 15 a 30 días. El ciclo se inicia con un calentamiento directo mediante una llama y continua solo con suministro de calor, de esta manera los culmos pueden llegar a ser incomedible para los insectos. La desventaja de este método es el olor a humo adquirido por los tallos.

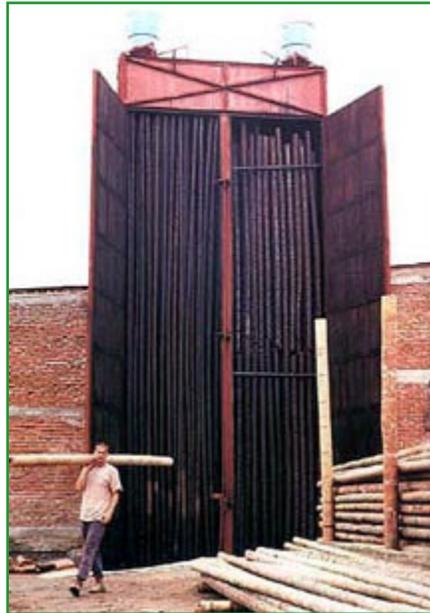


Figura 4.5. Cámara de ahumado
(“Construir”, s.f.)

4.10.2. Métodos de preservación mediante tratamiento químico

La preservación con químicos retarda el proceso de degradación o de putrefacción de la madera y se puede aplicar tanto en el bambú verde como seco. La función del inmunizante es proteger la madera ante la acción de agentes destructores, proporcionándole mayor durabilidad. Generalmente, esta sustancia se suministra por los extremos de la vara, debido a que la impermeabilidad de la parte externa del bambú impide una adecuada penetración del compuesto a través de la epidermis (Mejía, 2002; Burgos, 2003).

La penetración del preservante va a depender de la orientación de los haces vasculares y sólo se realiza en sentido axial debido a la ausencia de células centrales o radiales en el culmo. En el caso de las ramas, sus vasos están unidos a los vasos nodales, por tanto el transporte de líquido se hace en sentido horizontal (Zerpa, 1987).

4.10.2.1. Requisitos de un inmunizante

Mejía (2002) afirma que un inmunizante para madera debe cumplir con las siguientes características:

- Debe ser fungicida e insecticida, además de ser soluble en los líquidos celulares de los organismos de destrucción, para que su acción sea más rápida.
- Debe ser estable, por tanto tiene que mantener su grado de toxicidad a través del tiempo.
- No debe alterar las propiedades físico-mecánicas de la madera.
- Debe ser inocuo para el hombre.
- No combustible, ni corrosivo, además debe permitir acabado.
- Tiene que tener un costo razonable y existir en el mercado.

Por su parte, Hidalgo (1974; 1981) considera las siguientes cualidades como las de mayor importancia para escoger un buen preservante:

- Actividad suficientemente alta para impedir el desarrollo de microorganismos interiores y exteriores.
- Su composición no debe afectar los tejidos del bambú, de tal manera que se modifiquen o perjudiquen sus propiedades físico-mecánicas.
- Debe tener buena solubilidad en agua para que pueda usarse a diferentes concentraciones, pero si es muy alta puede que sea lavado por la lluvia o la humedad.
- Su estado debe ser líquido al momento de la impregnación.
- Debe poseer un olor agradable, o por lo menos que pase desapercibido para que pueda ser empleado en objetos usados en interiores.
- No debe modificar el color del bambú.

4.10.2.2. Clasificación de inmunizantes

● Inmunizantes tipo aceite

Se utilizan principalmente en bambúes que van a permanecer en contacto con agua o con la humedad del suelo. Hidalgo (1974) y Mejía (2002) consideran que los inmunizantes más utilizados son:

- a. Creosota alquitranada: Es un aceite negro o café, derivado del alquitrán de hulla, compuesto principalmente por hidrocarburos aromáticos en 9% de volumen total, ácidos de alquitrán en 5% (fenoles, naftoles, cresoles) y bases de alquitrán, también a 5%, tales como piridinas, acrilinas quinolinas. Se caracteriza por ser de baja volatilidad, soluble en benzol y altamente tóxico para los hongos e insectos. Cambia el color del bambú a café, haciendo difícil un posterior proceso de pintado. Aunado a esto, genera un olor muy fuerte, por tanto no se recomienda para aplicaciones donde haya contacto con humanos, ni en lugares cerrados. Se emplea básicamente en postes, pilotes y muelles. Por su alta viscosidad no es aplicado por brochado, aspersión o inmersión, se limita a tratamiento en baño caliente o frío.
- b. Aceite de antraceno: Es similar a la creosota, pero se evapora menos durante calentamiento.
- c. Soluciones de creosota: Consiste en mezclas de alquitrán de hulla y de 50 a 80% de creosota. Es menos efectiva que la creosota pura.
- d. Pentaclorofenol: Es una mezcla de aceites de petróleo y pentaclorofenol, que se caracteriza por generar alta protección contra hongos y termitas, permite pintar el bambú y no tiene olor desagradable.
- e. Naftenato de cobre: Es un compuesto ceroso, no cristalino, soluble en aceite, el cual consiste en una mezcla de aceite de petróleo y cobre metálico. Le otorga a la madera un color verdoso, ocasionando que el bambú sea difícil de pintar. Es altamente tóxico para los hongos.

● Inmunizantes solubles en agua

Son generalmente soluciones acuosas de sales metálicas, las cuales se emplean principalmente para conservar bambúes a la intemperie, sin embargo, algunas pueden ser utilizadas dentro de ambientes húmedos. En este caso, su efectividad dependerá de la disminución de su solubilidad al penetrar la madera, ya que deben quedar fijadas de manera definitiva, para evitar el arrastre por lluvia, agua o humedad. La fijación de la solución inmunizante aumenta cuando se añaden cromatos alcalinos (Hidalgo, 1974; Mejía, 2002).

Además de ser excelentes insecticidas y fungicidas, se pueden transportar en forma sólida, no generan olores desagradables y no manchan el bambú permitiendo su posterior tratamiento (Mejía, 2002).

Mejía (2002) los divide en sales múltiples y compuestos de boro. Las **sales múltiples** son fungicidas debido al cobre, insecticidas por el boro o el arsénico y además tienen un elemento fijador como lo es el cobre. Su nivel de toxicidad viene dado por el factor óxido, que representa la sumatoria de los pesos porcentuales de sus componentes considerados como óxidos. Dentro de este grupo se encuentran (Hidalgo, 1974; Mejía, 2002):

- a. Cromato de zinc clorado: está compuesto por cloruro de zinc (77,5%) y dicromato de sodio dihidratado (17,5%). Puede pintarse, no expide olor desagradable y proporciona protección contra hongos, insectos y fuego. Es lavado al estar en contacto con agua, por tanto no puede usarse a la intemperie. Puede ser resistente al fuego si se mezcla con ácido bórico y sulfato de amonio, en una solución de 80% de cromato de zinc clorado, 10% de ácido bórico y 10% de sulfato de amonio.
- b. Cromato de zinc clorado cobrizado: muy similar al anterior, pero es de mayor permanencia.
- c. Sales de Wolman: están compuestas por fluoruro de sodio (25%), arseniato disódico hidrogenado (25%), cromato de sodio (35%) y dinitrofenol (12,5%). Proporciona protección contra insectos y hongos, puede ser pintado pero es lavable.
- d. Cromato de cobre ácido: es una mezcla 1:1 de sulfato de cobre y dicromato sódico en ácido acético o crómico. No tiene mal olor y puede ser utilizado en bambúes que tienen contacto con el suelo o el agua.

- e. Marseniato de zinc: compuesto de 60 partes de ácido arsénico, 40 de óxido de zinc en ácido acético. El bambú puede pintarse y no debe usarse si está en contacto con el suelo o agua.
- f. Arseniato de cobre amoniacal: solución de hidróxido de cobre (57,7%), trióxido de arsénico (40,7%) y ácido acético disuelto en una solución acuosa de amonio. Puede usarse en contacto con el suelo y el agua.
- g. Arseniato de Cobre cromado: también conocida como sal cupro-cromo arsenical (CCA), puede usarse en contacto con el suelo pero no con agua, está compuesta por dicromato de potasio, sulfato de cobre y pentóxido arsénico.
- h. Sales cupro-cobre-boro (CCB): se caracterizan por formar una solución insecticida y fungicida, además de poseer un fijador, sin embargo el proceso de fijación es muy lento, por tanto se recomienda que el bambú tratado se deje secar por un periodo de cuatro a seis semanas, antes de iniciar con su uso.
- i. Arseniato de zinc cromado: Similar al anterior.

Los **componentes de boro** son inocuos al hombre y no tiñen la madera. Generalmente se emplea una solución acuosa de ácido bórico y bórax denominada pentaborato, la cual se prepara con un kilogramo de cada sustancia disueltos en 50 litros de agua, a una concentración de 4% en relación 1:1. Esta solución no es tóxica y su efecto es de tipo físico, ya que el bórax destruye el estómago del insecto al formar cristales dentro de él. (Mejía, 2002; Burgos, 2003; “Construir”, s.f.).

Hidalgo (1974), incluye como inmunizantes a las **resinas sintéticas** y a la **sosa cáustica**. Las primeras pueden obtenerse a partir de compuestos fenólicos o de urea con un reactivo aldehído, generalmente la reacción de polimerización se lleva a cabo parcialmente para permitir que la resina sea soluble en agua, ya que el bambú se sumerge en una solución, agua y resina. El tratamiento con resinas mejora las cualidades físicas del bambú (Hidalgo, 1974).

El procedimiento con sosa cáustica consiste en sumergir el bambú en una solución acuosa a 0,3% de (NaOH), calentada previamente a una temperatura de 90 °C. El tiempo de tratamiento es de suma importancia, ya que si se excede se puede cambiar el color del bambú y modificarse su flexibilidad y resistencia (Hidalgo, 1974).

Existen otros tipos de inmunizantes utilizados en la cultura popular, Morán (s.f.) señala que en Ecuador se emplea aguardiente para preservar objetos pequeños y que algunas etnias indígenas de Brasil usan derivados de la corteza de algunos árboles para inmunizar piezas para la construcción de casas.

La hipótesis planteada por Morán (s.f) explica que el aguardiente por su alto contenido de alcohol destruye hongos y microorganismos, además solubiliza el almidón provocando que los insectos no se sientan tan atraídos por el bambú como fuente de alimento. Se emplea en la preservación de instrumentos musicales e implementos de pesca.

En el caso de la corteza de los árboles, generalmente se obtiene un extracto con alto contenido de tanino, el cual al combinarse con el almidón presente en el bambú, forma compuestos resistentes a la putrefacción, según Morán (s.f.), no existen trabajo de investigación al respecto por tanto esta teoría necesita ser estudiada.

4.10.2.3. Métodos de tratamiento para el bambú verde

Los bambúes verdes generalmente son fáciles de tratar especialmente por difusión, ya que el inmunizante se transporta por los vasos, diseminándose hasta las células parenquimatosas (Zerpa, 1987). Las técnicas empleadas para preservar a los bambúes verdes son las siguientes:

1. Tratamiento aprovechando la transpiración de las hojas: Se realiza el mismo proceso usado para curado en la mata, pero la base del tallo se coloca dentro de un recipiente con inmunizante, éste es succionado hacia arriba por la transpiración de las hojas. Generalmente, en este caso se emplea una solución de 5% (1:20) de DDT y talco (Hidalgo, 1974).
2. Desplazamiento de savia: algunos autores le otorgan este nombre al método *boucherie*, pero Burgos (2003) considera que este método consiste en introducir el tallo verticalmente en una solución de 5 a 10% de un inmunizante hidrosoluble, quien citando a Singh & Tewari (1980) explica que “la solución preservante sube por capilaridad a medida que la savia es desplazada” (p.16).

3. Proceso de difusión: la difusión necesita humedad para llevarse a cabo exitosamente, por tanto este tratamiento se aplica generalmente a bambúes recién cortados o con altos contenidos de humedad (50%). Los preservantes empleados son hidrosolubles y la preservación se puede realizar sumergiendo los tallos o llenándolos con la solución. En el primer caso, el tallo redondo o cortado longitudinalmente es sumergido durante 15 ó 20 días en el inmunizante. Cuando se trata un tallo redondo, es recomendable perforar en el nudo o cerca de él para mejorar la penetración y la retención (Burgos, 2003).

El proceso de llenar los culmos con el inmunizante se denomina método de difusión vertical y comprende varias etapas, primeramente se limpia bien la superficie de los tallos; luego con una cabilla se perforan todos los nudos, exceptuando el último; seguidamente se colocan en posición vertical y en la parte superior se conecta una manguera, la cual está unida al tanque que suministra la solución, llenándose el culmo por completo. Durante los 12 días siguientes el llenado se repite diariamente, ya que el tallo va absorbiendo aproximadamente 1% de líquido por día. Finalmente, el día 13 no se añade más solución para evitar se derrame al romper el último nudo. El día 14 se rompe el nudo y se vacía el culmo, luego se somete a secado (Garland, 2003).

4. Método *boucherie*: Según Sanint (1996), este método “consiste en introducir a presión, por un extremo del tallo, un preservativo que arrastra las soluciones líquidas contenidas en su interior, ocupando el lugar de éstas, las cuales son expulsadas por el otro extremo del tallo” (p. 172). Este procedimiento se aplica a bambúes recién cortados, a los cuales previamente se les han quitado las hojas y las ramas (Hidalgo, 1974; 1981).

El inmunizante utilizado, generalmente, es de naturaleza hidrosoluble y se suministra por gravedad o por presión. En el *boucherie* por gravedad, un tanque elevado con el inmunizante se conecta a uno de los extremos del bambú mediante una manguera o tubo flexible, la presión hidrostática del líquido obliga al preservante a moverse dentro de la vara, desplazando la savia por el otro extremo. Por este método se pueden tratar varias varas a la vez si se acondiciona una salida múltiple a la tubería. Los tallos se pueden colocar verticales, para que el bambú se comporte como una columna de líquido o ligeramente inclinados con desnivel hacia el extremo

de salida (Sanint, 1996). Es muy importante que el extremo de donde se va colocar el tubo este cortado al ras del nudo, además se deben cubrir las zonas donde existieron las ramas con asfalto, para evitar el escape de preservativo (Hidalgo, 1981).

Una variante del *boucherie* por gravedad, consiste en colocar verticalmente la caña del bambú y llenar el entrenudo superior con el preservativo. Antes de realizar el tratamiento, se debe perforar el tabique inferior del entrenudo superior, tratando de llegar a la mitad de la pared del entrenudo siguiente, con el fin de que el líquido pase del primer entrenudo al resto de las paredes del tallo (Hidalgo, 1981; Sanint, 1996).

En el método *boucherie* por presión, se puede colocar una bomba hidroneumática conectada al tanque con preservante o un compresor de aire, en este caso “el tanque debe ser hermético, llevar en su parte superior una válvula de bicicleta, un medidor de presión y un tapa con rosca por donde se llena con el preservativo hasta las $\frac{3}{4}$ partes. Posteriormente se aplican de 10 a 15 libras de aire” (Hidalgo, 1974, p.5). Pasados dos o tres minutos de introducir el aire, comienzan a salir por el extremo opuesto gotas de savia. Luego de cinco minutos sale una mezcla de savia con preservativo, la cual se va haciendo más oscura a medida que el inmunizante sale. El tratamiento se completa cuando la concentración, del color del líquido saliente, es igual a la del depósito (Hidalgo, 1981).

Mediante esta modificación el tiempo de tratamiento se reduce de varios días a un lapso de 3 a 8 horas (Burgos, 2003), es necesario tener en cuenta la edad del bambú a tratar, porque a medida que aumenta la edad, la savia disminuye, lo cual hace más difícil el flujo del inmunizante. Otro factor importante es la entrada de aire a los poros, ya que ésta causa obstrucción al flujo de líquido (Sanint, 1996). Los métodos por presión sólo pueden ser aplicados a especies de pared gruesa, ya que los bambúes de pared delgada tienden a agrietarse y colapsar (Zerpa, 1987).

Purushothan y Sagar (1970) citados en Hidalgo (1974; 1982), destacan que el inmunizante a utilizar para el método *boucherie* por presión, generalmente se escoge de acuerdo al uso final, además recomienda que la concentración de soluciones a utilizar sean las siguientes:

- a) Pentóxido de arsénico, sulfato de cobre cristalizado, dicromato de sodio.
Relación en peso: $\rightarrow 1:3:4$
- b) Sales de bolinden
- c) Sulfato de cobre, dicromato de sodio, ácido acético $\rightarrow 5,6:5,6:0,25$
- d) Ácido bórico, sulfato de cobre cristalizado, dicromato de sodio $\rightarrow 1,5:3:4$
- e) Cloruro de zinc y dicromato de sodio $\rightarrow 1:1$
- f) Cloruro de zinc y dicromato de sodio $\rightarrow 5: 1,5$
- g) Ácido bórico, bórax y dicromato de sodio $\rightarrow 2:2:0,5$
- h) Ácido bórico y bórax $\rightarrow 1:1$
- i) Pentaclorofenato de sodio
- j) Ácido bórico, sulfato de cobre, cloruro de zinc y dicromato de Sodio.
Relación en peso $\rightarrow 3:1:5:6$

4.10.2.4. Métodos de tratamiento para el bambú seco

Se considera al bambú “seco” cuando el tallo posee un contenido de humedad menor a 20% y se caracteriza por tener los vasos conductores llenos de aire, lo que dificulta el proceso de preservación, debido aumento de la tensión superficial y de la fricción. Aunado a esto el proceso de difusión se complica, como consecuencia del cubrimiento de las paredes celulares por compuestos que reducen la permeabilidad (Zerpa, 1987). Burgos (2003) considera las siguientes técnicas como las más destacadas:

1. Inmersión: consiste en sumergir total o parcialmente los bambúes en un depósito con inmunizante. La inmersión se puede realizar colocando los tallos horizontalmente o verticalmente por un lapso no menor de 12 horas, sin embargo el tiempo de tratamiento va a depender de la especie, del espesor del culmo y de la absorción requerida (Hidalgo, 1981; Burgos, 2003).

El procedimiento se inicia dejando drenar y secar los tallos, luego se introducen en el tanque lleno con la solución, cuyo volumen está dado por el número de varas a tratar. Generalmente, los bambúes se preservan en las dimensiones que se usaran posteriormente para

ahorrar solución. El tanque puede ser metálico o frisado e impermeabilizado, sin embargo en ausencia de estos, se puede hacer un hueco en el suelo y cubrirlo con un plástico de calibre grueso, para que no lo rompan las partes cortantes de los tallos. El borde del plástico debe ser pisado con piedras o algo similar para impedir que le caiga tierra o basura al depósito. Finalmente se debe colocar un peso encima de los tallos para evitar su flotación mientras están vacías y se deben girar con frecuencia para facilitar el llenado (Sanint, 1996).

El proceso aprovecha el principio de capilaridad, debido al drenaje de los vasos conductores, pero como la epidermis del culmo está cutinizada, el paso del preservante al sistema vascular se realiza sólo a través del tejido blando, por tanto al preservar tallos enteros es necesario perforar los tabiques introduciendo una cabilla de 3/8” o de 1/4” a lo largo de toda la vara, permitiendo de esta manera el llenado de todas las oquedades. Para evitar la pérdida de resistencia y facilitar la penetración de los preservantes, se recomienda otro procedimiento que consiste en realizar dos perforaciones entre cada entrenudo, cada una cerca del tabique (Sanint, 1996; Burgos, 2003).

Los inmunizantes empleados en este método son generalmente soluciones salinas tales como CCA, CCB o compuestos de boro, aunque para los bambúes que permanecerán total o parcialmente enterrados, se usan soluciones a 5% de pentaclorofenol y petróleo o diesel (Hidalgo, 1974; Burgos, 2003).

2. Baño Caliente: Consiste en sumergir el bambú en una solución inmunizante 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” (Burgos, 2003, p.18). La duración de cada baño depende de la especie, del tipo de solución y de las dimensiones del bambú a tratar; usualmente el tiempo empleado durante el baño frío duplica al del caliente, pero se sabe que por cada centímetro de pared se requiere una hora de calentamiento (Burgos, 2003).

Los preservantes tipo aceite, al calentarse, permiten alcanzar temperaturas de 70 a 90 °C, en cambio los hidrosolubles se descomponen por encima de 45 °C, por tanto los primeros son

más adecuados para este tipo de tratamiento (Burgos, 2003). Al usar pentaclorofenol, los bambúes son sumergidos completamente en una solución a 5% durante una hora de calentamiento a 93 °C, luego se traspasan a una solución fría de la misma composición, dejándose ahí durante 12 horas (Hidalgo, 1974).

Cuando se emplea creosota, los bambúes son colocados verticalmente dentro de un depósito abierto provisto de serpentines de vapor para mantener el calor, la mezcla caliente de creosota (80 partes) y diesel (20 partes) se vierte en el recipiente, tratando siempre de mantener un nivel adecuado que asegure el tratamiento de toda la vara. El proceso se lleva a cabo durante por lo menos 6 horas manteniendo la temperatura del baño entre 110 °C y 115 °C. Luego las piezas se pasan a un baño frío (32-38° C) y se conservan ahí por lo menos durante 2 horas (Zerpa, 1987; Hidalgo, 1974).

3. Tratamiento a vacío-presión: Mediante este método se regulan las condiciones de tratamiento, tales como retención y penetración. Se recomienda para preservar grandes cantidades de bambú seco al aire, pero necesita de instalaciones especiales y los equipos empleados son de alto costo, por tanto no es económico para un material tan barato como el bambú. Esta metodología es aplicada en algunos países, utilizando preservantes hidrosolubles o creosota (Mejía, 2002; Burgos, 2003).

Los métodos por presión sólo pueden ser aplicados a especies de pared gruesa, ya que los bambúes de pared delgada tienden a agrietarse y colapsar (Zerpa, 1987). Cuando se utilizan los culmos redondos, generalmente, la solución preservante penetra lateralmente por los cortes y nudos, y en menor proporción a través de las paredes, mientras que en el bambú cortado longitudinalmente, muestran una mayor absorción y penetración (Burgos, 2003).

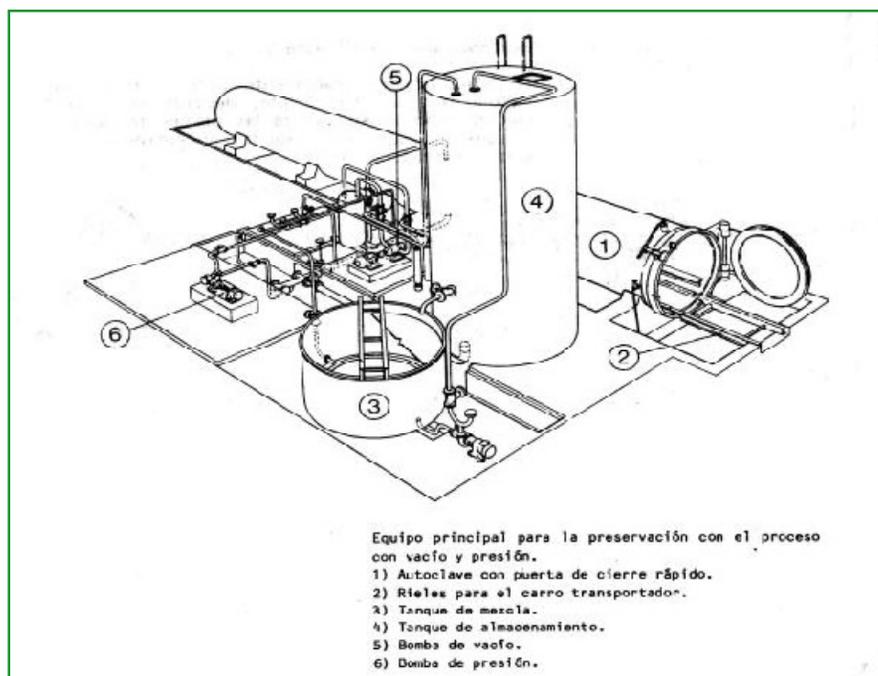


Figura 4.6. Equipo utilizado en tratamiento vacío presión

(Mejía, 2002)

4. Método de inyección: consiste en tratar los tallos secos, efectuando dos perforaciones en cada entrenudo, cada una cerca del tabique, con una broca o mecha de 1/8 pulgadas y con una inyectora colocarle determinada cantidad de preservante por entrenudo, tapando los orificios con una mezcla de goma y aserrín para evitar que la solución se saliera por los orificios perforados, luego se procede a dar vueltas a cada vara para que impregnar las paredes internas de del bambú con la solución, el proceso de dar vuelta a las varas debe realizarse durante una semana (Lobo, 2004).

4.10.2.5. Grado de protección

La evaluación del grado de protección proporcionado por el inmunizante se puede hacer mediante los siguientes parámetros: absorción y retención.

- ✿ Absorción: Es la cantidad de protector líquido o sólido absorbido por la madera después del tratamiento químico. Depende del sistema de preservación utilizado, del contenido de

humedad y características de la madera a tratar y de la naturaleza del producto químico que vaya a ser empleado. Se obtiene al relacionar la masa de la muestras antes y después de tratamiento químico con el volumen de la muestra

- Retención: Se define como la cantidad neta de protector sólido introducido en la zona realmente impregnada de la madera.

En ambos casos, los grados de protección más altos generalmente son proporcionados por inmunizantes hidrosolubles (Mejía, 2002).

4.11. Usos del bambú

Debido a las propiedades físico-mecánicas y características anatómicas que posee el bambú, se considera como un material muy versátil, siendo posible usarlo en una amplia gama de aplicaciones, como ya se ha mencionado antes, entre estas: construcción, diseño y producción de muebles, artesanía, chapas, tableros de fibras, parquet, fabricación de cañas de pescar, instrumentos musicales, vasos, carrocería para carros, bicicletas, carcasas para computadores, pulpa para papel, rayón, entre otros (Paredes, 1991; “Construir”, s.f).

En construcción, el bambú es el único material vegetal que se puede emplear en la construcción completa de una estructura, tanto como refuerzo, en lugar de varillas de acero, como en la construcción total de la estructura secundaria (encofrado y apuntalado) (Hidalgo, 1974). Paredes (1991) indica que las especies más utilizadas en esta rama son: *Bambusa guadua*, *Chusquea spencei*, *Bambusa vulgaris* y *Bambusa arundinacea* (p. 122). En Latinoamérica, son México y Colombia los países con mayor experiencia en el uso del bambú como material de construcción; en Colombia se emplea principalmente la *Guadua angustifolia*, denominado comúnmente como “acero vegetal”.

Como alimento, es un muy importante en la dieta de chinos, japoneses y taiwaneses. Las especies más utilizadas debido a su alto poder nutritivo y suavidad en países como Filipinas, Birmania, India, son *Bambusa vulgaris* y *Bambusa arundinacea* (Paredes, 1991).

En medicina, se utiliza el exudado que se obtiene de los nudos de los tallos del bambú, ya que es rico en silicio. Su principio activo es el bambosil que posee una acción regenerativa sobre las articulaciones. Estimula la síntesis de colágeno por el tejido óseo y conjuntivo, facilitando la reconstrucción del cartílago destruido por la artrosis.

La fabricación de papel a partir de bambú también es una práctica milenaria. Actualmente, 70% del papel fabricado en India es de bambú, igualmente se usa en Indonesia, Brasil y otros países. Beltzer y Persoz señalan (citados en Paredes, 1991) que este tipo de papel se caracteriza por ser altamente resistente y por poseer muchos elementos fibrosos, vasculares y parenquimáticos. La fabricación de muebles y artesanía es una aplicación de gran interés para el consumidor. Generalmente son producidos por pequeñas comunidades, lo que impulsa el desarrollo económico de estos sectores y requieren de un tratamiento de preservación, para aumentar la vida útil del producto.

El uso del bambú no sólo se limita a la fabricación de productos elaborados, Paredes (1991) citando a White y Childers señala su utilización en el control de la erosión, ya que el complejo sistema rizomático estabiliza la ribera de los ríos, carreteras y terraplenes en quebradas. También se emplea para tratar agua residual, sobretodo la proveniente de establos, ya que el estiércol le sirve para su crecimiento. Además, tiene la ventaja de desarrollarse rápidamente, por tanto permite reforestación en un tiempo más corto, que si siembran árboles, ayudando así a filtrar el aire contaminado (Gib,s,f).

4.12. Propiedades físicas y mecánicas

El estudio de las propiedades físico-mecánicas del bambú permite, además de conocer las características de la especie, saber si éste constituye la materia prima adecuada para una aplicación específica, ya que estas propiedades determinan el comportamiento del bambú como producto elaborado. Este estudio se realiza a partir de una adaptación de conceptos y normas establecidos para madera. Las propiedades físicas de cualquier especie de bambú, influyen en la tolerancia del material frente a los distintos factores que intervienen en el medio natural, sin producir ninguna modificación mecánica o química (“Propiedades”, s.f.a). Por su parte, las

propiedades mecánicas son la expresión del comportamiento del material bajo aplicación de fuerzas y cargas, este comportamiento se modifica de acuerdo a los tipos de fuerzas o cargas aplicadas, y depende de la organización estructural de la madera (Gutiérrez y Velásquez, 2005).

4.12.1. Propiedades físicas

En términos generales, Gutiérrez y Velásquez (2005) citando a Arroyo (1983) señalan que las propiedades físicas de la madera dependen de cantidad de sustancia y de agua en la pared celular, proporción, cantidad y naturaleza de las sustancias extrañas en la pared celular y finalmente, al tipo, tamaño, proporción y arreglo de las células. Dentro de este grupo se encuentra: el contenido de humedad, el peso específico y la densidad.

4.12.1.1. Contenido de Humedad

El contenido de humedad es la cantidad de agua en una porción del material. En las especies leñosas es un factor muy importante por la manera como ésta afecta las propiedades mecánicas. Una característica del bambú, es que contiene una gran cantidad de agua, distribuida tanto en las cavidades celulares, como en la parte constitutiva de las células (Uribe y Durán, 2002).

4.12.1.1. Densidad

La densidad de la madera se define como la relación entre su masa y su volumen. Determina el comportamiento probable de la madera frente a la absorción y pérdida de agua y su correspondiente grado de variación dimensional bajo el punto de saturación de las fibras (PSF)⁵. Una misma muestra tiene tres densidades: en condición de humedad verde (ρ_v), en condición de

⁵ Estado de humedad de la madera, en el cual las paredes celulares se encuentran saturadas de agua y los vasos conductores vacíos, es decir que no contiene agua libre. Generalmente se encuentra por encima de 28%.

humedad seco a al aire (ρ_{sa}) y en condición de humedad anhidra (ρ_{sh}). La densidad verde corresponde a la madera con contenido de humedad por encima de 30% y la seca al aire corresponde la que tiene un contenido de humedad cerca de de 15%. Los valores mínimos de densidad ocurren en la condición seca al horno y los máximos cuando está completamente saturada (Mejía, 2002; Propiedades, s.f.b).

4.12.1.2. Peso específico básico

El peso específico básico de la madera se define como la relación entre su peso seco al horno y el peso del volumen verde de las probetas. En el caso de bambú, su valor depende principalmente del contenido de fibra, del diámetro de la fibra y del espesor de la pared de las células, por lo tanto varía considerablemente dentro de un mismo culmo y entre especies y generalmente oscila entre 0,5-0,9. Además, se incrementa considerablemente en los primeros tres años durante el proceso de maduración del culmo debido al engrosamiento de la pared de la fibra, sin embargo, durante los siguientes años, este incremento se da de manera ligera. La parte externa del culmo, con su mayor densidad de fibra, tiene una gravedad específica más alta que la parte interna. Asimismo, este valor aumenta a lo largo, desde la base hacia el ápice, debido a la reducción de la pared del culmo y al incremento en la concentración de haces vasculares (Londoño, 2002). El peso específico es más pequeño que la densidad seca al horno.

4.12.2. Propiedades mecánicas

Según se ha estudiado, la *Guadua* es un material cuyas propiedades mecánicas dependen de la especie botánica, la edad de corte, la sección del culmo que se utilice y de las propiedades físicas, especialmente del contenido de humedad (Uribe y Durán, 2002). Existen tres tipos de esfuerzo primarios: de tensión, de compresión y cortante o de cizallamiento, y uno secundario que es la combinación de los otros tres llamado esfuerzo de flexión (Gutiérrez y Velásquez, 2005).

En el bambú, los nudos tienen una gran influencia en la resistencia mecánica del culmo, ya que presentan un peso específico mayor y una menor resistencia tensil que los entrenudos, por tener fibras más cortas y haces vasculares distorsionados (Londoño, 2002).

4.12.2.1. Resistencia a la dureza de lado

Se define como la resistencia que opone la madera a la penetración de cuerpos extraños como ciertas herramientas (clavos, tornillo, entre otros) y contra la abrasión y desgaste (cepillo, sierra). La dureza está relacionada con la densidad y tiene una marcada importancia en su relación con la dificultad de su trabajo. Depende de la abundancia de fibras, escasez de vasos y su valor es inversamente proporcional con la humedad. Las maderas se clasifican como: blandas, semiduras y duras (Gutiérrez y Velásquez, 2005; “Propiedades”, s.f.b).

4.12.2.2. Resistencia a la compresión perpendicular

La resistencia a la compresión se define como la facilidad que tiene la madera a ser comprimida al aplicarle un esfuerzo, el cual puede darse en dos direcciones: paralela y perpendicular a la fibra, siendo máxima la resistencia para la dirección paralela y mínima para la perpendicular. Varía en forma inversa al contenido de humedad por debajo del punto de saturación de las fibras (30%), no obstante, a partir de este valor, la resistencia es prácticamente constante. El esfuerzo que es capaz de soportar la madera al someterla a una fuerza que actúa perpendicular a sus fibras se denomina, esfuerzo al límite proporcional (ELP) (Gutiérrez y Velásquez, 2005).

V. Antecedentes

El interés del ser humano por conocer el comportamiento y la durabilidad del bambú ha existido desde la antigüedad, de tal manera que alrededor del mundo, se han realizado una gran cantidad de estudios acerca de esta gramínea. En Asia las especies de mayor interés son la *Bambusa* y *Dendrocalamus*. Mientras que en Latinoamérica, la mayoría de los análisis sobre las propiedades físico-mecánicas del bambú se enfocan en los géneros *Guadua*, en las zonas por debajo de los 1.500 metros, y *Chusquea*, por encima de los 2.000 metros. La *Guadua* se distribuye desde México hasta Argentina, dentro de este grupo se le da especial importancia a la especie *Guadua angustifolia*, debido a sus conocidas y alabadas propiedades de resistencia, sin embargo, en México se han hecho análisis sobre *Guadua amplexifolia* y *Guadua aculeata* (Londoño, 2002). La mayoría de las investigaciones realizadas se enfocan en un solo tópico, en la preservación o en las propiedades físico-mecánicas, siendo éstas últimas generalmente analizadas con respecto a la funcionalidad de la *Guadua* como material de construcción.

En 1991, Janssen realizó una recopilación de varias investigaciones sobre las propiedades físicas y mecánicas de bambúes nativos de diferentes partes del mundo. Janssen (1991) hace referencia al estudio realizado por Taludar y Sattar (1982) sobre merma, densidad y contenido de humedad en las porciones basal, media y apical de 12 tallos de *Bambusa vulgaris* y *Bambusa Tulsa* con diferentes grados de madurez. Los resultados no demuestran ninguna correlación entre contenido de humedad por un lado y madurez, sección del culmo o especie, por el otro (p.12). Este autor también remite a la investigación de Chiang (1973) sobre propiedades físicas en diferentes especies de bambú en Taiwan. La densidad fue medida en condición verde, seca al aire y seca al horno, siendo esta última, menor a las demás en todos los casos (p.15).

En cuanto a las propiedades mecánicas, Janssen (1991) muestra investigaciones sobre pandeo, compresión, tensión y cizallamiento. En el caso de compresión perpendicular, Janssen (1991) citando a Atrops (1969), explica que este autor aplicó una fuerza perpendicular a los ejes de muestras de culmos macizos sin nudo, con un nudo y con dos nudos. El más resistente fue la sección de un nudo, debido a la oposición del nudo a la fuerza, le siguió la sección con dos

nudos, finalmente las muestras sin nudo fueron las más débiles (p.91). Por otro lado, también se ha estudiado la resistencia al cizallamiento perpendicular de diferentes muestras verdes y maduras, en el nudo y el entrenudo. Los resultados obtenidos indican que en ambos casos son más resistentes los bambúes maduros (Meyer y Ekeland, 1922-1923, citados en Jassen, 1991).

Yahya y Laftif (1992) realizaron un estudio sobre la variación de las propiedades físicas con respecto a la altura y la edad de las especies *Bambusa blumeana* y *Bambusa vulgaris*, Los resultados demuestran que el contenido de humedad disminuye con la altura y con la edad, lo primero se debe a la disminución del contenido de parénquima con la altura, lugar donde se aloja el agua. Además, el peso específico básico es mayor en la zona apical. Por otro lado, las densidades se incrementan con la madurez del culmo y no varían mucho con la altura pero tienden a tener un valor más alto en el tope, esto ocurre como consecuencia de la disminución del número y tamaño de los haces vasculares, los cuales se van juntando con las delgadas paredes del culmo hasta llegar al ápice.

Por su parte, Amada y Untao en 2001, llevaron a cabo pruebas para evaluar la resistencia a la fractura. Los resultados indican que el bambú posee mayor resistencia que las aleaciones de aluminio, asimismo señala la dependencia de ésta al volumen de fibras en el culmo. Chung y Yu (2002), presentan una investigación sobre las propiedades mecánicas de dos especies de bambú, *Bambusa pervariabilis* y *Phyllostachys pubescen*, que son de uso común en la construcción de andamios en el sudeste de Asia, en particular en Hong Kong y el sur de China. Se encontró que a pesar de las variaciones en diámetro, densidad y espesor en la pared; es el contenido de humedad quien determina los valores de compresión y tensión a lo largo del culmo. En el caso de la primera especie, ambos tipos de propiedades son prácticamente constantes en todo el tallo. En cambio, para la segunda, se producen bastantes variaciones. Por tanto para su aplicación como elemento estructural debe tenerse en cuenta la diversidad en su comportamiento.

En Latinoamérica, Uribe y Durán (2005), estudiaron propiedades físico-mecánicas tales como: densidad, contenido de humedad, compresión y pandeo en uniones de tres varas de *Guadua angustifolia* colombiana, en su variedad macana. Los resultados indican que la propiedad física más influyente en la resistencia axial a la compresión es el contenido de

humedad (CH). En tanto que el esfuerzo máximo a compresión, es proporcional a la densidad básica, a mayor densidad, mayores esfuerzos soportará el material. También en Colombia, Ciro, Osorio y Vélez (2005) estudiaron la resistencia mecánica a tensión y de cizalladura de *Guadua angustifolia* forma cebolla, determinando que valores promedios estas propiedades fueron de 190,70 MPa (1945,92 kgf/cm²) y 5,57 MPa (56,84 kgf/cm²), respectivamente, en dirección paralela a las fibras.

Ordoñez (s.f.) en México, estudio algunas propiedades mecánicas de *Guadua amplexifolia*, tales como compresión paralela a la fibra, tensión y flexión, tanto en su condición verde como en seca. Los resultados indican que en el caso de la compresión, el material seco en cualquier sección del culmo, soporta una carga máxima mayor que si estuviera verde.

En Venezuela, una de las especies más estudiadas ha sido la *Guadua angustifolia*. Briceño (2005a, 2005b), realizó un estudio sobre propiedades físicas y mecánicas de esta especie proveniente del municipio Pedraza del estado Barinas. Las propiedades físicas analizadas fueron: densidad, contracción, peso específico básico y relación T/R. En cuanto a las mecánicas, se estudiaron resistencias a la flexión estática, a la dureza, al corte paralelo, al impacto, a la compresión paralela y perpendicular a las fibras. En todos los casos se sometieron a prueba muestras de las tres secciones de tallo. Los resultados obtenidos no demuestran un patrón uniforme en cuanto a la variación de la densidad de acuerdo a la sección del culmo, pero si en cuanto al contenido de humedad. En cuanto a la contracción, los cambios dimensionales experimentados en este material lignocelulósico no son iguales a lo largo de las tres direcciones estructurales.

Asimismo, la autora destaca, con respecto a las propiedades mecánicas, que no hubo un comportamiento regular en cada una de las diferentes secciones. En el caso particular de la resistencia a la flexión estática y resistencia a la compresión paralela a la fibra, donde a mayor altura los valores de resistencia aumentaron, esto podría estar ligado en principio a la disposición de los nudos y al tipo de esfuerzo al cual es sometida la caña. Caso contrario sucedió para las propiedades mecánicas como resistencia a la compresión perpendicular a la fibra, dureza de lado,

cizallamiento y tenacidad; los resultados obtenidos corresponden a lo esperado, a mayor altura menores son los valores de resistencia (Briceño, 2005b).

Gutiérrez y Velásquez (2005) realizaron un estudio similar a la *Guadua angustifolia*, proveniente del municipio Antonio José de Sucre del estado Barinas. Las autoras, llegaron a la conclusión que los resultados obtenidos no presentan, para ninguno de los casos, un patrón o comportamiento definido, por tanto recomiendan seguir con el estudio de la especie. Además indican que por sus propiedades, éste tipo de bambú pueden ser empleado como elemento constructivo o en fabricación de muebles y artesanía.

Por su parte, Zerpa (1987) realizó un estudio de propiedades físicas a cañas de bambú ubicados en los márgenes del río Albarregas en Mérida. Se determinó contenido de humedad y contracción. El contenido de humedad promedio obtenido fue de 107,46%, lo que indica que las muestras, luego del proceso de secado, todavía estaban en condición verde. En cuanto a la contracción, se observó que la longitudinal era mínima con respecto al transversal.

En cuanto a estudios acerca de preservación, Lahiry en 1997 realizó una investigación en Bangladesh, sobre inmunización mediante tratamiento a presión, empleando CCA en muestras verdes y secas de *Bambusa tulda Roxb*. El bambú seco dio mayor absorción de carga que verde bajo las mismas condiciones de tratamiento. Lo mismo ocurre en los nudos, donde se presenta mayor absorción que en entrenudos.

Sulaiman, Hashim, Wahab, Ismail, Samsi & Mohamed (2006) evaluaron la influencia de diferentes tratamientos térmicos con aceite de palma (V-sawit) en la adhesión de laminados de bambú (*Gigantochloa scortechinii*) mediante pruebas de cizallamiento. Los tratamientos térmicos se realizaron a diferentes temperaturas y tiempos de calentamiento, encontrándose que aquellas muestras sometidas a tratamientos más severos tuvieron menor resistencia. Los autores explican que a medida que el tratamiento es más severo, el aceite se aloja en mayor proporción en las paredes celulares; reduciendo, por consiguiente, la humectación de la superficie, lo que lleva a una disminución de la absorción de adhesivo a la superficie.

Ahora en Latinoamérica, Montoya (2005b) preservó tallos de *Guadua angustifolia* por el método *boucherie* empleando una solución preservante a 3%, compuesta por ácido bórico y bórax, en una concentración de 2% y 1% respectivamente. Durante el proceso se estudio la influencia de la inmersión en agua sobre la permeabilidad de los tallos de *Guadua*, previa a la preservación. Obteniéndose que luego de una inmersión de 24 horas, esta propiedad física aumenta, durante la inmunización. Este investigador junto a González en 2006 publicó una metodología para el tratamiento de muestras de *Guadua angustifolia* Kunth. En éste señalan, la importancia del tratamiento químico para la desinfección contra insectos, recomiendan la preservación por inmersión en una solución de ácido bórico y bórax a 4%, por un lapso de 4 a 5 días. Posterior a este procedimiento, se debe extraer el material y envolverlo en plástico para lograr que la concentración de inmunizante sea homogénea a lo largo de la vara (González y Montoya, 2006).

Por su parte, Salazar y Díaz (2000) aplicaron tres métodos de preservación a diferentes grupos de secciones basales, medias y apicales de guaduas secas (16% CH) de tres y cinco años. Los métodos empleados fueron baño frío, baño caliente-baño frío y vacío-presión. En los dos primeros casos se usaron dos soluciones, una de bórax, ácido bórico, dicromato de sodio, en relación 1: 1: 0,5; y otra de sulfato de cobre, ácido bórico y dicromato de sodio, en proporción 2: 1: 1 respectivamente.

Finalmente, se suministraron sales CCA por el método de vacío y presión, el cual consistió en introducir la guadua seca introduce en un autoclave en donde se realiza un vacío inicial de aproximadamente 80 kPa para disminuir el aire del interior del autoclave y luego van introduciéndose las sales a presiones de 783 kpa a 1370 kPa hasta que el material no absorba más inmunizante; luego se hace un vacío leve para extraer el exceso de preservante (Salazar y Díaz, 2000).

En cada caso se calculó la absorción del inmunizante. Al emplear la primera solución, el bambú absorbe menos debido a la dificultad para solubilizar el bórax en agua. Observaron que la parte media-alta de la guadua es la que más inmunizante absorbe; incluso llegó hasta triplicar la cantidad del producto en comparación con las partes basales (Salazar y Díaz, 2000).

En nuestro país, Encinas durante el 2005 empleó el método *boucherie* para preservar *Guadua angustifolia* proveniente del estado Barinas. En esta investigación, se realizaron tres ensayos con diferentes soluciones preservantes hidrosolubles; en el primer ensayo se utilizó una solución de bórax y ácido bórico (40:60), calculado para contener una concentración de 12,73 %, puesto que la solución es incolora y para observar el desplazamiento de la savia se coloreó el preservante con anilina roja. En el segundo ensayo se emplearon sales CCA a 2,5 % de sustancias activas, concentración recomendada para maderas en contacto con el suelo, por último se empleó otra solución preservante conteniendo oxima de cobre y clorpirifós, catalogadas como compatibles con el ambiente.

El tratamiento fue más rápido y homogéneo en los tallos verdes que en los secos al aire. En este último caso, la aparición de la solución preservante en el extremo libre de la vara de bambú fue más irregular, en comparación con las varas verdes. Los resultados obtenidos indican excelente capacidad de absorción de las varas de bambú: sales de Boro 125,55 L/m³, sales CCA 140,30 L/m³ y FRK 99,65 L/m³ (Encinas, 2005)

Finalmente, Lobo (2004) realizó pruebas para preservar *Guadua angustifolia* mediante tres métodos diferentes: *boucherie*, inyección e inmersión. Primero se seleccionaron previamente los tallos, descartando aquellos que estuvieran atacados por plaga. Luego se dejó secar los tallos, para lograr mejor penetración de los preservantes. En los tres métodos se empleó como inmunizante, una solución de ácido bórico y boráx, en los dos primeros a 4% p/v y en el caso de la inmersión a 3% p/v. En el caso del tratamiento por método *boucherie*, se colocó un tinte en la solución inmunizante para corroborar la impregnación de las paredes. Observando que en las piezas de menor longitud, la penetración del preservante era más rápido que en las de mayor longitud, así como la absorción podía ser mayor con el aumento del grosor de la pared, pero el proceso se hacía más lento.

Por su parte las piezas tratadas por inyección, se estuvieron girando aproximadamente una semana para que la penetración fuera adecuada, observando que el preservante salía por los cortes de las guaduas. El método por inyección duró dos semanas y media debido a la cantidad

de material que se preservó. La preservación por inmersión no se aplicó a tallos completos sino a esterillas de guadua, las cuales se introdujeron en un tanque durante 24 horas con el fin de que el preservante se absorbiera. El tanque fue cubierto con un plástico para evitar que se contaminara la solución. Al sacarlas, la solución se reemplazaba para introducir nuevas muestras. En todos los casos, las muestras luego del tratamiento se dejaron secar durante tres meses antes de ser usadas (Lobo, 2004).

www.bdigital.ula.ve

VI. Metodología experimental

El desarrollo de esta investigación se dividió en: selección de culmos, corte, clasificación, traslado, acondicionamiento, tratamiento químico, obtención de probetas y realización de ensayos. El tratamiento químico consistió en un proceso de inmersión con licor negro y solución de ácido bórico-bórax a 5% en relación 1:1. Es importante destacar que tanto para los ensayos físicos como mecánicos, se estudiaron probetas sometidas a tratamiento y probetas testigo (sin tratamiento).

6.1. Materiales y reactivos empleados

6.1.1. Reactivos

Compuesto	Características	Fórmula molecular
Ácido bórico	Grado técnico	H_3BO_3
Bórax	Grado técnico	$Na_2B_4O_7 \cdot 10H_2O$
Hidróxido de sodio	Sólido	NaOH
Licor negro	Contenido de sólidos Totales 0,1215 g / g de solución	
Curcumina	Sólido	$C_{21}H_{20}O_6$
Ácido acético	Glacial	CH_3COOH
Ácido sulfúrico	Concentrado	H_2SO_4
Metil-etil-cetona	Grado reactivo	C_4H_8O
Cloroformo	Grado reactivo	CCl_4
Fenol	Grado cromatográfico	C_6H_7O

6.1.2. Materiales

A nivel de laboratorio se emplearon, vasos de precipitado, embudos de decantación, balones aforados, tubos de ensayo, buretas y pipetas. En campo: cinta métrica, bolsas plásticas, cinta plástica y machete.

6.2. Equipos

- Balanza marca Mettler PE 2000 con precisión de 0,01 gramos
- Vernier eléctrico marca Mitutoyo con precisión de 0,01 milímetros
- Balanza marca Mettler con precisión 0,0001 gr.
- Espectrofotómetro Spectronic Genesys 5
- Prensa universal marca Baldwin-Lima-Hamilton modelo 12-H



Figura 6.1. Prensa universal

- Estufa marca Heraus



Figura 6.2. Estufa

• Deflectómetro



Figura 6.3. Deflectómetro

• Cuarto de acondicionamiento con condiciones de aclimatación preestablecida:

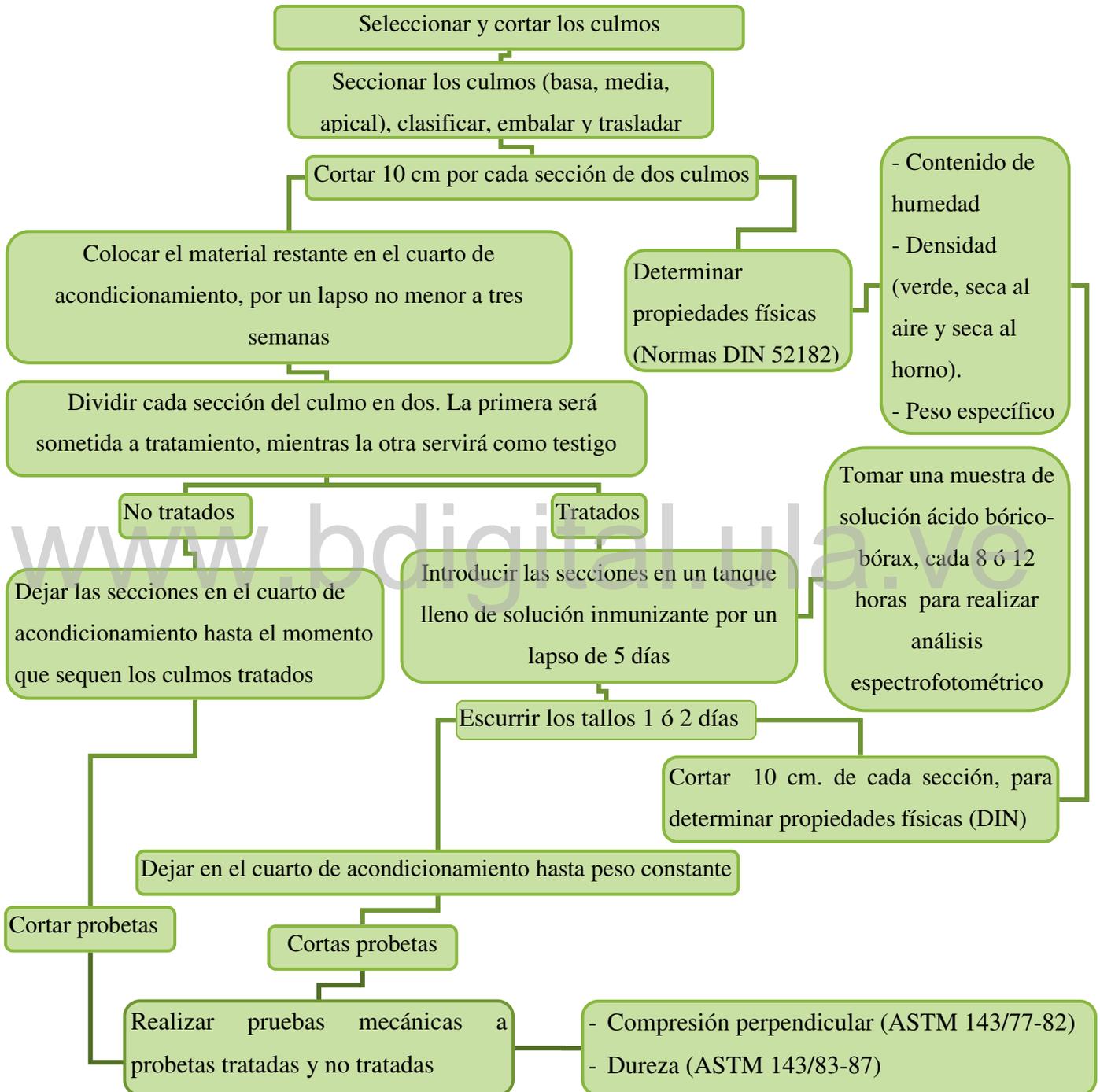
- ✓ Temperatura: $20\text{ °C} \pm 1\text{ °C}$.
- ✓ Humedad relativa: $65\% \pm 2\%$.
- ✓ Estantes para el acondicionamiento de las probetas

www.bdigital.ula.ve

6.3. Maquinaria

- Sierra de disco marca Invicta con motor de 5 Hp y 220 voltios
- Sierra circular marca Ulmia con motor de 2H y 220 voltios

6.4 Diagrama de procedimiento



6.5. Selección de los culmos de *Guadua angustifolia* y *Guadua amplexifolia*

Se seleccionaron tres culmos (3) de *Guadua angustifolia* y cuatro (4) de *Guadua amplexifolia* en dos visitas a campo. Ambas visitas se realizaron a la población de San Javier, municipio San Felipe, estado Yaracuy. Todos los culmos de la especie *Guadua angustifolia*, se cortaron de una misma macolla, mientras los de *Guadua amplexifolia* se cortaron de tres macollas.

Luego se tomaron porciones de 150 a 180 cm aproximadamente de cada sección del culmo; basal, media y apical. Sin embargo, para la especie *Guadua angustifolia*, debido a la poca cantidad de material, se cortó de uno de los tres culmos, dos porciones de cada sección. Luego se procedió a clasificar y trasladar las secciones hasta el Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Sección de Ensayos.



Corte

Seccionamiento

Figura 6.4. Corte y seccionamiento del culmo

La identificación se realizó de la siguiente manera, a cada sección se le asigno un número correspondiente al culmo, seguido por una letra que indica la zona a la que pertenece, “B” para zona basal, “M” para zona media y “A” para zona apical.

Tabla 6.1. Metodología utilizada para la identificación de las secciones

Especie	Culmo	Sección
<i>Guadua amplexifolia</i>	1	1B
		1M
		1A
	2	2B
		2M
		2A
	3	3B
		3M
		3A
	4	4B
		4M
		4A
<i>Guadua angustifolia</i>	5	5B
		5M
		5A
	6	6B
		6M
		6A
	7	7B
		7M
		7A

Luego se procedió a tomar un testigo para la especie *Guadua angustifolia* y cuatro testigos para la especie *Guadua amplexifolia*. La nomenclatura se conserva, solo se antecede la palabra testigo al número de culmo.

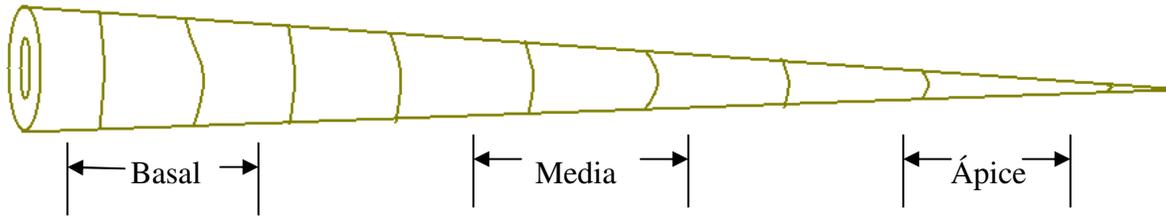


Figura 6.5. Secciones del culmo

6.6. Determinación de propiedades físicas de probetas sin tratar

El procedimiento seguido para el estudio de las propiedades físicas es el establecido por la Normas de la Industria Alemana (Deustcher Industrie Normen), en este caso la norma DIN-52182 para madera, en ésta se establece que las probetas a emplear deben tener las siguientes dimensiones: $10 \times 3 \times 3 \text{ cm}^3$. Sin embargo para el bambú, se realiza una adaptación, las probetas siguen teniendo 10 cm de longitud pero se mantienen en forma cilíndrica (véase Figura 6.6.).



Figura 6.6. Probetas utilizadas para la determinación de propiedades físicas

Para este estudio sólo se emplearon dos culmos de cada especie, tomándose una probeta por sección, alcanzándose un total de doce (12) probetas. Inicialmente, las probetas verdes se pesan y posteriormente se determina su volumen, mediante inmersión en agua, esto se denomina, volumen por desplazamiento. Luego son colocadas en el cuarto de acondicionamiento durante un mes, de esta manera se repite el procedimiento, y se obtienen

datos en condición seca al aire. Finalmente, se introducen en la estufa durante 48 horas a 60°C para precisar estos datos en condición seca al horno.

Las propiedades físicas estudiadas fueron:

- Densidad (g/cm^3):

$$\rho_i = \frac{P_i}{v_i} = \text{g/cm}^3$$

Donde: ρ_i = Densidad de la probeta en condición i

P_i = Peso de la probeta en condición i

v_i = Volumen por desplazamiento en condición i

i = condición verde (v) ó condición seca al aire (sa) ó condición seca al horno (sh)

De está ecuación se obtiene:

- ✓ Densidad en condición verde (ρ_v)
- ✓ Densidad en condición seca al aire (ρ_{sa})
- ✓ Densidad en condición seca al horno (ρ_{sh})

- Contenido de humedad en la condición verde y en la condición seca al aire, obtenida mediante la siguiente ecuación:

$$C.H. (\%) = \frac{P_h - P_s}{P_s} * 100$$

Donde: $CH (\%)$ = Porcentaje de contenido de humedad

P_h = Es la masa en condición húmeda, ya sea verde o seco al aire

P_s = Es la masa de la muestra seca al horno (P_{sh})

- Peso específico básico (Peb)

$$P.e.b = \frac{Psh}{Vv \cdot \rho_{H_2O}}$$

Donde: *P.e.b.* = Peso específico básico

Psh = Peso seco al horno = g

Vv = Volumen verde por desplazamiento = cm³

ρ_{H_2O} = Densidad del agua = 1 g/cm³

6.7. Acondicionamiento de los culmos

Las secciones restantes se colocaron dentro del cuarto de acondicionamiento a una temperatura de 20 °C ± 1 °C y una humedad relativa de 65% ± 2%, durante aproximadamente dos meses; de esta manera el contenido de humedad disminuye mediante el drenaje de los vasos. Al momento del tratamiento, esto permite una mejor absorción de la sustancia inmunizante.

6.8. Tratamiento por inmersión con compuestos de boro

Previo a la inmersión, se determina la masa de cada sección, dato que es utilizado al calcular los parámetros de protección. En este caso se empleó una solución de ácido bórico y bórax a 5% p/v en relación 1:1, ya que esta es la concentración empleada por los artesanos de la localidad. Con esta mezcla se trataron dieciséis (16) secciones de la especie *Guadua amplexifolia* y nueve (9) secciones de la especie *Guadua angustifolia*. El tratamiento, en ambos casos, consistió en un proceso de inmersión por un lapso de cinco días.



Figura 6.7. Tratamiento químico de *Guadua*

6.9 Tratamiento por inmersión con licor negro

De igual manera se realizó la inmersión de doce (12) pequeñas secciones de la especie *Guadua amplexifolia* en una solución de licor negro, por un lapso de cinco días. La solución empleada se preparó empleando volúmenes iguales de licor negro con 0,12 g sólidos/g de solución e hidróxido de sodio 0,1N; obteniéndose una solución de 0,06 g sólidos/g de solución. El pH de la solución antes del proceso de inmersión fue de 10,3. Las secciones tratadas conservaron el método de identificación establecido anteriormente, solo se incorporó la letra “L” para señalar que la sección está preservada con licor negro, por ejemplo para el culmo 2, se tienen tres secciones: 2BL, 2ML y 2AL.

Luego de ambos tratamientos se dejó escurrir las secciones por un lapso de dos días, una porción fue colocada en el cuarto de acondicionamiento, hasta peso constante, para luego realizarse las pruebas mecánicas, mientras la otra se utiliza para determinar las propiedades físicas en condición verde.

6.10. Determinación de propiedades físicas de probetas tratadas

El procedimiento se realiza de la misma manera que para las probetas sin tratamiento, obteniéndose contenido de humedad en condición verde y seca al aire, además de densidad en condición verde, seca al aire y seca al horno, finalizando con el peso específico básico. Se considera como condición verde al bambú luego que ha perdido el exceso de solución inmunizante, es decir, después de escurrir. Posteriormente las probetas se colocan en el cuarto de acondicionamiento, y se repite el procedimiento explicado anteriormente (véase ítem 6.6, determinación de propiedades físicas sin tratar). El número de probetas estudiadas fueron dieciocho (18).

6.11. Determinación de parámetros de protección: absorción y retención

Antes de colocar las secciones tratadas restantes en el cuarto de acondicionamiento para que alcanzaran la condición de equilibrio, se determino la masa de cada una. De esta manera se puede calcular tanto la absorción como la retención de la solución de sales de boro y licor negro.

El cálculo se realiza mediante las siguientes ecuaciones:

$$\text{Absorción} = \frac{(P_F - P_I)}{V} = \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Donde:

P_F = Masa de la muestra después del proceso de inmersión.

P_I = Masa de la muestra antes del proceso de inmersión.

V = Volumen de la muestra.

$$\text{Retención} = \text{Absorción} * \text{Concentración}$$

6.12. Determinación del tiempo óptimo de inmersión

Durante el tratamiento químico con la solución de ácido-bórax, se tomó una muestra cada 4 u 8 horas con el objetivo de conocer el cambio de concentración durante la inmersión. En este caso el estudio se realizó mediante un análisis colorimétrico del boro en solución, mediante el método modificado de la curcumina (Golman, Taormina y Castillo, 1975).

6.12.1 Pasos para la determinación colorimétrica

- ✿ Diluir las muestras. La concentración de la solución resultante debe oscilar entre 0,05 mg/L y 0,02 mg/L
- ✿ Preparar los siguientes reactivos
 - ✓ Reactivo de curcumina (0,003% p/v): Disolver 3mg de curcumina en 100 ml de ácido acético mediante un ligero calentamiento. Luego la solución resultante es filtrada y almacenada en una botella oscura
 - ✓ Solución básica: Hidróxido de sodio a 10% p/v
 - ✓ Solución ácida (1:1,100% v/v): en este caso se mezclan 50ml de ácido sulfúrico y 50 ml de ácido acético. La adición debe realizarse lentamente debido al calor generado durante la reacción.
 - ✓ Solución extractante: preparar una mezcla de metil-etil-cetona con cloroformo, en relación de volumen 5:2. Luego agregar 10 mg de fenol a 100 ml de esta solución. La preparación debe realizarse diariamente.

- Tomar 5ml de la solución diluida, añadirle 1 ml de la solución básica y calentarla hasta sequedad.



Figura 6.8. Muestra luego de secar

- Agregar 3 ml del reactivo de curcumina y colocarla en la estufa durante 10 min a 10 °C. Agitar ocasionalmente.



Figura 6.9. Muestra luego de la adición del reactivo de curcumina

- Dejar enfriar a temperatura ambiente y añadir 3 ml de la solución ácida. Mezclar bien y luego esperara por 20 min.



Figura 6.10. Muestra luego de la adición de solución ácida

- Agregar 20 ml de agua destilada y lavar con 80 ml más en un embudo de decantación.



Figura 6.11. Muestra luego de la primera adición de agua

- Realizar el proceso de extracción, para ello añadir 10 ml de solución extractante, agitar durante 1 min. Posteriormente realizar adiciones de 6 ml de la misma solución.



Figura 6.12. Proceso de extracción

- Todo el extracto obtenido es colocado en una celda, y se mide a 555 nm.



Figura 6.13. Extracto

- Se realizó el mismo procedimiento para patrones de ácido bórico y bórax.

6.13. Determinación de propiedades mecánicas

Luego que los culmos alcanzaron la condición de equilibrio, se procedió a cortar las probetas, siguiendo las dimensiones especificadas por las normas de la Asociación Americana de Ensayos de Materiales (American Society for Testing Materials, ASTM) para madera.

Tabla 6.2. Normas para algunas propiedades mecánicas

Propiedades Mecánicas	Dimensiones de las probetas del genero <i>Guadua</i> (cm)	Dimensiones para madera (cm)	Normas ASTM
Compresión Perpendicular	5,00 x vp x 15,00	5,00 x 5,00 x 15,00	ASTM-D-143/77-82
Dureza	5,00 x vp x 15,00	5,00 x 5,00 x 15,00	ASTM-D-143/83-87

vp: Espesor de probeta en cm, ésta varía a lo largo del culmo



Figura 6.14. Probetas empleadas para ensayos mecánicos

Obtenidas las probetas, fueron colocadas en el cuarto de acondicionamiento, para ser llevadas a la condición de humedad seca al aire (12 % de CH.). Se ensayaron ciento cincuenta (150) probetas tratadas de *Guadua amplexifolia* (103 ácido bórico-bórax y 46 Licor negro), setenta y ocho (78) de *Guadua angustifolia* y ciento siete (107) testigos (77 de *Guadua amplexifolia* y 30 de *Guadua angustifolia*). Antes de cada ensayo, cada una se pesó y se le midió ancho, espesor y largo.

Es importante destacar que no existe una metodología estandarizada en bambú, para la determinación de las propiedades físicas y mecánicas; por tanto las pruebas se realizan mediante una adaptación de las Normas DIN y Normas ASTM para ensayos de madera.

6.13.1 Resistencia a la dureza de lado

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia que la madera ofrece a la penetración de una semiesfera metálica de 11,284 mm de diámetro, equivalente a un cm² de área. La carga se aplica continuamente a la probeta con una velocidad de la cabeza móvil de 6 mm/min hasta penetración completa de la semiesfera, controlando la penetración por medio de un collar móvil (Figura 6.15.). En cada probeta se realizaron dos penetraciones, una de cada lado. Inmediatamente después del ensayo se determinó el contenido de humedad de la probeta.

La carga necesaria para que penetre la semiesfera representa la dureza de la madera, calculándose el promedio entre los lados.



Figura 6.15. Ensayo de dureza

6.13.2 Resistencia Compresión perpendicular

El objetivo de este ensayo es determinar la resistencia que la madera ofrece cuando trabaja en forma durmiente, como por ejemplo en pisos y muebles. La carga se aplica con una velocidad de 0,03 cm/min sobre la cara externa de la probeta, por medio de una placa de metal de de 5,05 de ancho (Figura 6.16.), perfectamente centrada. El procedimiento consistió:

- Se acciono la máquina hasta que la placa presionó la muestra, en este instante se ajustó el deflectómetro a cero (Figura 6.3.)
- Luego se registraron los valores de deformación para cada incremento de carga (generalmente de 100 kg) hasta que se perdió la proporcionalidad entre carga y deformación. Inmediatamente después del ensayo se determina el contenido de humedad de la probeta.



Figura 6.16. Placa utilizada en el ensayo de compresión perpendicular



Figura 6.17. Ensayo de compresión perpendicular

Con los datos del obtenidos se trazó la curva Carga vs. Deformación, en donde se ubicó el límite proporcional, que representa el punto donde la recta se separa de la curva. Con este dato se calculo el esfuerzo de las fibras al limite proporcional

$$\sigma_{Lim\ pro} = \frac{P_1}{A} = \frac{kg}{cm^2}$$

Donde:

$\sigma_{Lim\ pro}$ = Esfuerzo al límite proporcional en compresión perpendicular a la fibra

P_1 = Carga al límite proporcional (kg)

A = Área de compresión=Ancho de la probeta *Ancho de la placa de metal (cm²)

En los casos en donde las probetas se rompieron, se utilizó la carga máxima soportada para el cálculo del esfuerzo.

6.13.3 Verificación de contenido de humedad

Luego de la realización de las pruebas mecánicas se procedió a determinar el contenido de humedad de las probetas:

$$C.H.(%) = \frac{Ph - Ps}{Ps} * 100$$

Donde:

Ph = Peso verde o actual de la probeta = g

Ps = Peso de la probeta en condición seca al horno = g

6.14 Ajuste de resultados

Finalmente, si el contenido de humedad de la probeta es diferente a 12%, se procede a determinar un valor de ajuste establecido por las normas ASTM. Con este valor se ajusta el esfuerzo calculado con los datos experimentales a un contenido de humedad de 12%.

El valor de ajuste se calcula de la siguiente manera

$$V.A = \frac{Esf. cal. \times F ajuste \times Diferencia CH(\%)}{100}$$

Donde: V.A = Valor a ajuste a contenido de humedad de 12%

Esf. cal. = Esfuerzo calculado a partir de datos experimentales

Fajuste = Factor de ajuste. Este factor es diferente para cada tipo de ensayo, en el caso de resistencia a la dureza en un lado es 4% y para resistencia a la compresión perpendicular es 5,5%

Diferencia CH (%) = Diferencia entre Contenido de humedad de la probeta y 12% de humedad

Finalmente:

$$\text{Esf. ajustado} = \text{Esf. cal.} \pm \text{V.A}$$

Donde: Esf. ajustado = Esfuerzo ajustado a 12% de humedad en k/cm^2

www.bdigital.ula.ve

VII. Discusión de resultados

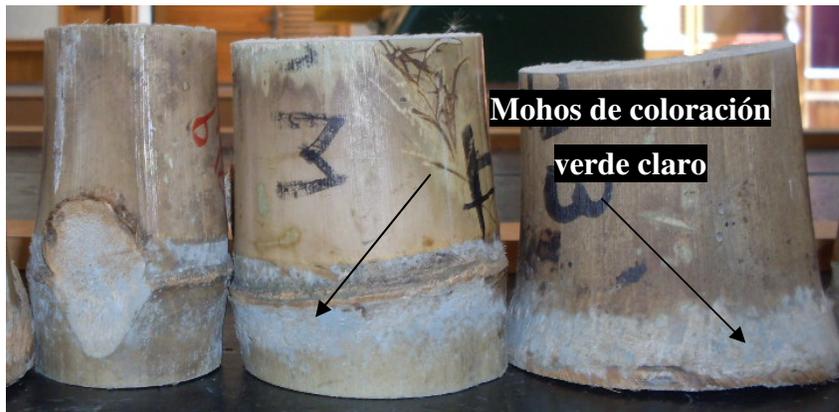
7.1 Diferenciación cualitativa entre probetas tratadas y no tratadas

La *Guadua*, como cualquier otra planta, luego de ser cortado, empieza a degradarse debido a la acción de microorganismos. Esta degradación provoca cambios de aspecto, e incluso, cambios desde el punto de vista de resistencia, ya que estos organismos pueden ocasionar pudrición. Es allí donde el tratamiento químico interviene. En este caso se comparó, la apariencia de las probetas tratadas con probetas no tratadas. En la figura 7.1, se puede observar el aspecto de probetas sin tratar.



a) Vista superior

b) Vista interior



c) Vista lateral

Figura 7. 1. Probetas de *Guadua amplexifolia* sin tratar

En general, se nota la presencia de pelusilla de diversos colores en la superficie externa (a y c), además de manchas color negro en la superficie interna de la probeta (b). A simple vista no pareciera haberse producido ningún tipo de pudrición, por tanto se descarta la acción de hongos

xilófagos. Sin embargo, las pequeñas manchas negras (c), ubicadas en la cara interior del culmo, demuestran la acción de hongos cromógenos. Estos se alojan en la célula parenquimática, dando lugar al cambio de coloración (Mejía, 2002). Además, las proliferaciones algodonosas de diferentes colores, que van desde verde claro a negro (a y c), se deben a diversos tipos de mohos que se proliferan en la superficie cuando existe alta humedad en el ambiente.

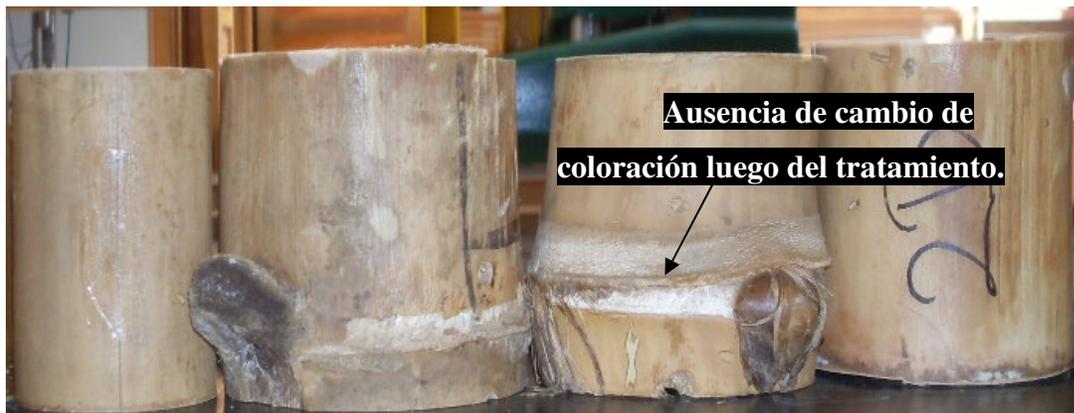
Por otra parte, en las probetas tratadas con ácido bórico y bórax (Figura 7.2) se evidencia la ausencia de manchas, de mohos y de signos de pudrición (a y b). Lo que indica la efectividad del tratamiento químico, como vía para inhibir la degradación propia de cualquier material orgánico. Además de esto, se observa que la solución inmunizante, no modifica la coloración propia del material, lo que permite su uso en cualquier tipo de aplicaciones (c).



a) Vista superior



b) Comparación entre probetas tratadas y no tratadas



c) Vista lateral

Figura 7.2. Probetas tratadas con ácido bórico y bórax de *Guadua amplexifolia*

En contraparte, en las probetas tratadas con licor negro, aún y cuando no se observa la acción de ningún tipo de microorganismos, la coloración propia de la *Guadua*, cambia ligeramente, tanto externamente (a) como internamente (b), alcanzando un color ligeramente más oscuro (véase Figura 7.3 y 7.4).



Figura 7.3. Probetas tratadas *Guadua amplexifolia* con licor negro

En la Figura 7.4, se observan dos probetas, la primera (izquierda) tratada con ácido bórico mientras la segunda (derecha) se trató con licor negro. Entre ambas probetas, se evidencia que el licor, le da una coloración ligeramente más oscura a la característica del bambú.



7.4. Comparación entre probetas tratadas, ácido bórico (izquierda) y licor negro (derecha)

7.2 Propiedades físicas

• *Guadua amplexifolia*

En la tabla 7.1. se muestra el contenido de humedad correspondiente a las probetas de la especie *Guadua amplexifolia* tratadas con ácido bórico bórax y de probetas testigo, en condición verde y seca al aire. En el caso de la condición verde, tanto para probetas tratadas como testigo, la zona basal tiene un contenido de humedad más alto que la otras zonas del culmo, lo cual es de esperarse debido a la gran cantidad de células parenquimáticas existentes en esta sección (Liese, 1987).

En el caso de la condición seca al aire, el contenido de humedad registrado para las probetas tratadas de todas las secciones es muy similar, esto se debe a la condición de equilibrio alcanzado por las probetas en el cuarto de acondicionamiento. Por otra parte, en las probetas testigo, el contenido de humedad disminuye con la altura, comportamiento esperado debido a la disminución de haces vasculares (Liese, 1987).

Tabla 7.1. Contenido de humedad de *Guadua amplexifolia* tratada (ácido bórico-bórax) y testigo

Sección	C.H. (%)			
	Condición verde		Condición seca al aire	
	Tratadas	Testigos	Tratadas	Testigos
B (Basal)	104,55±23,29	67,61±15,42	11,11±0,36	18,443±2,84
M (Media)	68,13±12,22	55,921±1,28	11,50±0,17	14,394±2,44
A (Apical)	80,57±5,07	58,87±4,97	14,26±4,06	15,434±11,46

Para estas mismas probetas, se determinó la densidad en condición verde, seca al aire y seca al horno (véase Tabla 7.2.). En todos los casos, se observa que la densidad disminuye desde la condición verde hasta la condición seca al horno, lo cual es de esperarse debido a la pérdida de humedad. Por otra parte, la densidad de las probetas testigo es siempre es mayor que en el caso de las probetas sometidas a tratamiento, esto puede atribuirse a la anatomía de las probetas, ya que las probetas del testigo tenían paredes más gruesas, además que para esta experiencia las probetas eran no pareadas.

Tabla 7.2. Densidad de *Guadua amplexifolia* tratada (ácido bórico-bórax) y testigo

Sección	Densidad (g/cm ³)					
	Condición verde		Condición seca al aire		Condición seca al horno	
	Tratadas	Testigos	Tratadas	Testigo	Tratadas	Testigos
B	1,04±0,05	1,12±0,02	0,61±0,07	0,97±0,01	0,57±0,06	0,94±0,4
M	1,06±0,03	1,17±0,01	0,73±0,06	0,96±0,01	0,70±0,05	0,88±0,04
A	1,00±0,08	1,15±0,02	0,70±0,06	0,98±0,02	0,65±0,03	0,88±0,01

En la tabla 7.3., se observan los resultados obtenidos para el peso específico básico. En todas las secciones, los valores más altos lo poseen las probetas testigo, posiblemente producto de ser probetas no pareadas, por tanto es de esperarse que estas tengan mejor desenvolvimiento mecánico, ya que a medida el peso específico crece, mayor es la resistencia del material (Arroyo, 1983). Además de esto, se observa que el peso específico de las zona apicales es mayor que en la zona basal, esto se debe al aumento de la concentración de los haces vasculares con la altura (Londoño, 2002).

Tabla 7.3. Peso específico básico de *Guadua amplexifolia* tratada (ácido bórico-bórax) y sin tratar

Sección	P.e.b	
	Tratadas	Testigos
B	0,57±0,07	0,67±0,05
M	0,71±0,07	0,75±0,01
A	0,64±0,07	0,72±0,01

• *Guadua angustifolia*

Para la especie *Guadua angustifolia* (Tabla 7.4.), el contenido en humedad en condición verde se encuentra por encima del punto de saturación de la fibra (>30%); tanto para probetas tratadas como sin tratar. Además se observa que el mayor contenido de humedad lo posee la zona apical, esto contradice lo mencionado por Liese (1987), disminución del contenido de humedad con la altura, producto del decremento de haces vasculares.

En cuanto a la condición seca al aire, ambos tipos de probetas, tienen valores similares entre probetas del mismo grupo, observándose que en el caso de las probetas tratadas, el

contenido de humedad aumenta con la altura del culmo, mientras para las no tratadas se da un comportamiento inverso.

Tabla 7.4. Contenido de humedad de probetas *Guadua angustifolia* tratadas con ácido bórico-bórax y probetas testigo

Sección	C.H. (%)			
	Condición verde		Condición seca al aire	
	Tratadas	Testigo	Tratadas	Testigo
B (Basal)	108,83±0,00	71,89±33,31	10,01±0,00	17,07±1,86
M (Media)	90,40±0,00	62,61±15,06	12,89±0,00	11,79±0,09
A (Apical)	121,18±0,00	73,90±5,74	13,53±0,00	12,58±0,61

Por otra parte, la densidad de las probetas (Tabla 7.5.), disminuye de acuerdo a la pérdida de humedad, desde la condición verde a la condición seca al horno, observándose que la densidad es mayor en las probetas sin tratar, esto puede ser una consecuencia de una posible diferencia de edad entre las probetas, además de ser muestras no pareadas.

Tabla 7.5. Densidad de probetas *Guadua angustifolia* tratada ácido bórico-bórax y probetas testigo

Sección	Densidad (g/cm ³)					
	Condición verde		Condición seca al aire		Condición seca al horno	
	Tratadas	Testigo	Tratadas	Testigo	Tratadas	Testigo
B	0,96±0,00	1,09±0,02	0,57±0,00	0,80±0,00	0,55±0,00	0,73±0,33
M	1,01±0,00	1,08±0,01	0,75±0,00	0,79±0,01	0,73±0,00	0,77±0,00
A	1,06±0,00	1,00±0,02	0,61±0,00	0,78±0,05	0,57±0,00	0,74±0,05

Además, se observa, para las tres condiciones, que las densidades de las probetas testigo se comportan de manera similar, ligera disminución de la densidad con altura del culmo, esto atribuible a vasos más vacíos. Mientras que las probetas tratadas presentan un patrón inverso. Sin embargo, en el caso de la densidad seca al aire y seca al horno, la probeta de la sección media alcanzó valores más altos que las probetas de las otras secciones.

Por último, el comportamiento del peso específico básico es similar, al caso de la especie *Guadua amplexifolia*, aumento del peso con la altura, siendo mayor el peso de las probetas no

tratadas, de allí se puede inferir una posible mayor resistencia mecánica, debido a una mayor cantidad de sustancia en la pared celular (Arroyo, 1983).

Tabla 7.6 Peso específico básico de probetas *Guadua angustifolia* tratada con ácido bórico-bórax) y probetas testigo

Sección	P.e.b	
	Tratadas	Testigo
B	0,46±0,00	0,63±0,01
M	0,53±0,00	0,67±0,01
A	0,48±0,00	0,58±0,03

7.3 Absorción y retención de los compuestos químicos

Al analizar la figura 7.5., se observa que la absorción de la solución ácido bórico-bórax, en el caso de la especie *Guadua amplexifolia* (a), aumenta a medida que se incrementa la altura del culmo. Esto se debe al tamaño de los haces vasculares, por ejemplo en la zona apical, como son tan pocos y tienen diámetros pequeños, la solución inmunizante llena de manera más rápida todos los espacios vacíos en el mismo lapso de tiempo que tardaría llenando parcialmente los vasos de la zona media y basal. Hunt, G. (1961) señala que la absorción es influenciada por la viscosidad y temperatura de la solución, sin embargo en este caso por ser una solución acuosa, estos parámetros no son de gran importancia, debido a la baja viscosidad del agua a cualquier temperatura. En el caso de la especie *Guadua angustifolia* (b), se observa el mismo comportamiento presentado anteriormente, sin embargo la zona basal tiene una absorción mayor a la zona media, esto puede ser un indicativo que al momento de pesar las secciones, la basa todavía poseía un exceso de solución.

Los valores de retención son proporcionales a la absorción (Figura 7.6.), por tanto las diferencias pueden atribuirse a las mismas causas.

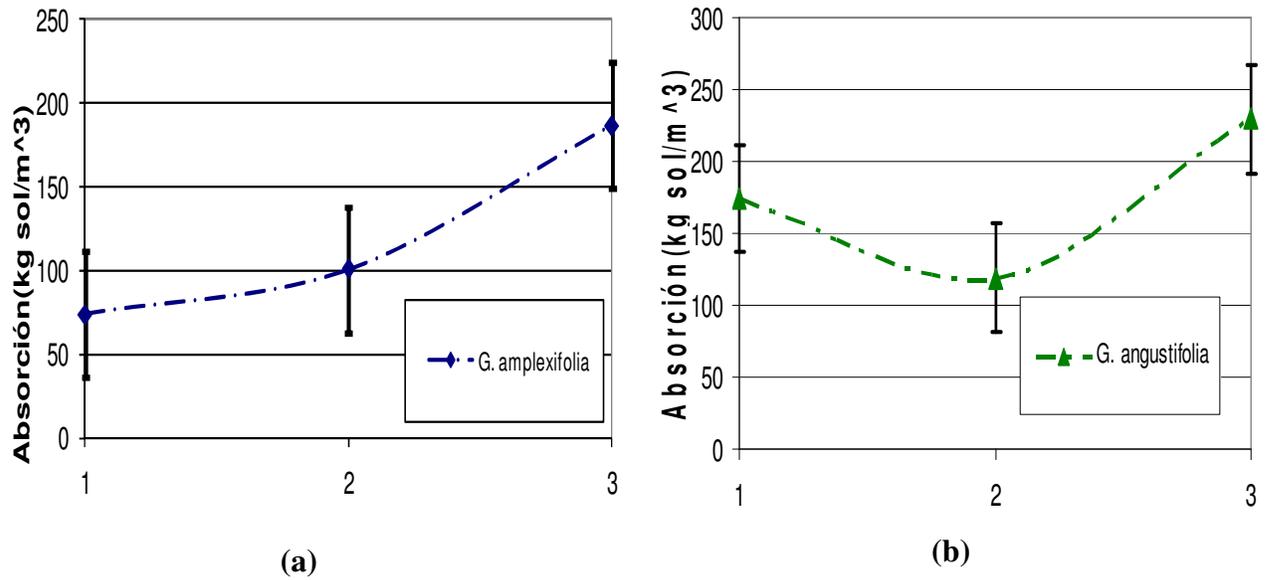


Figura 7.5. Absorción de con ácido bórico-bórax para especies (a) *Guadua amplexifolia*- (b) *Guadua angustifolia*

(1: Zona basal, 2; zona media, 3: zona apical)

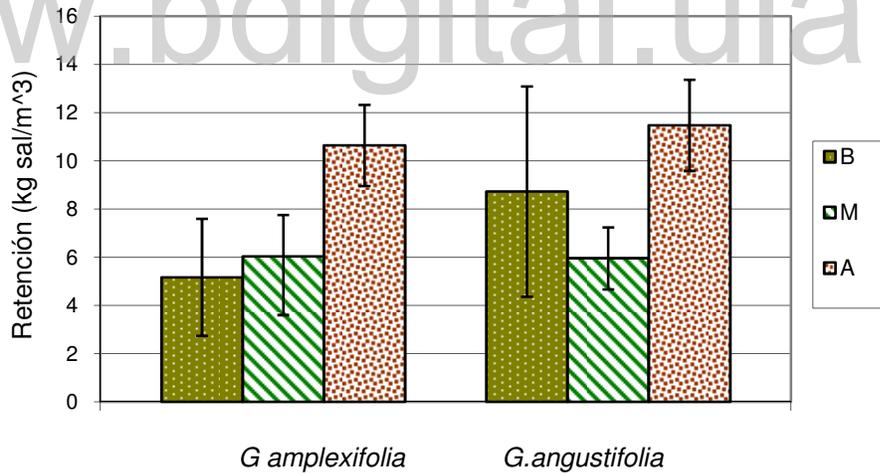


Figura 7.6. Retención de ácido bórico-bórax para ambas especies

La absorción de licor negro para la especie *Guadua amplexifolia* (Figura 7.7.), es similar a los casos explicados anteriormente, aumento de la penetración de solución con la altura del culmo.

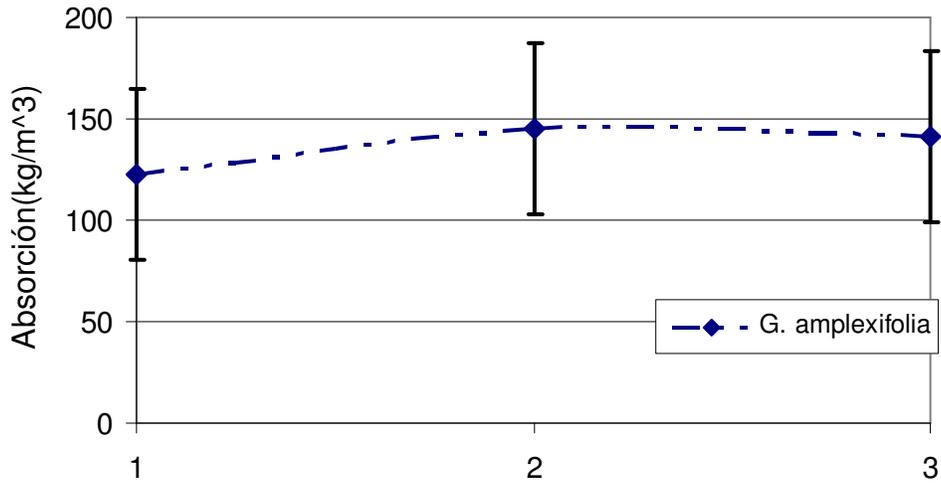


Figura 7.7. Absorción de licor negro para el especie *Guadua amplexifolia* (1: Zona basal, 2; zona media, 3: zona apical)

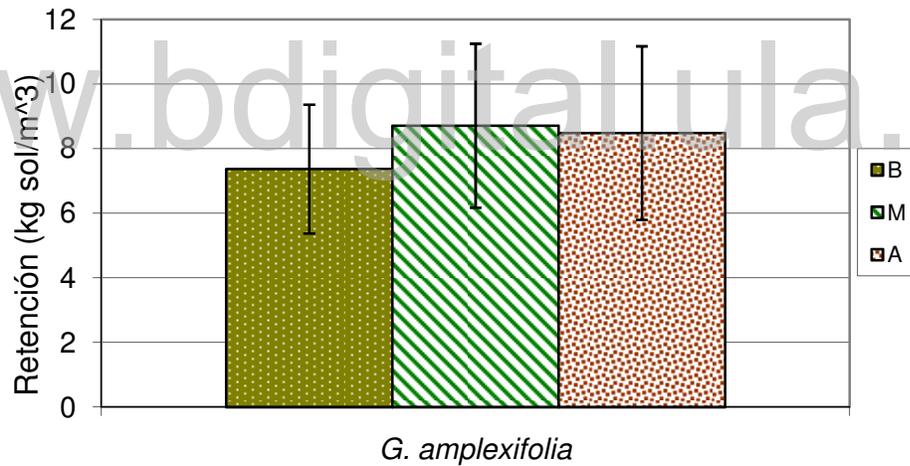


Figura 7.8. Retención de licor negro para la especie *Guadua amplexifolia*

Al comparar los valores de absorción calculados, se observa que los resultados más altos son alcanzados por la muestras tratadas con ácido bórico y bórax (250 kg/m^3). Esto puede atribuirse a una posible diferencia de viscosidad, permitiendo de esta manera que la solución salina penetre con mayor rapidez a través de los vasos conductores.

7.4 Propiedades mecánicas

7.4.1 Comprobación de contenido de humedad de probetas empleadas para los ensayos mecánicos

Al analizar el contenido de humedad promedio de las probetas tratadas y testigos (véase Tabla 7.7.), se puede observar inicialmente que no existe un patrón de comportamiento, además todos los resultados se encuentran por encima de 12%, por tanto los esfuerzos calculados de resistencia a la dureza y a la compresión perpendicular deben ajustarse para ser comparados con otras investigaciones. Es importante destacar que mientras disminuya el contenido de humedad se incrementará es la resistencia, por ello es este caso, los esfuerzos ajustados son más altos que los esfuerzos calculados

Tabla 7.7. Contenido de humedad de probetas empleadas para los ensayos mecánicos

Probeta	B	M	A
1	13,58	12,27	14,02
2	15,47	15,09	16,75
3	14,20	13,46	13,48
4	15,54	15,73	15,24
Testigo 1	16,90	15,32	14,41
Testigo 2	15,92	15,33	14,66
Testigo 3	16,46	-	14,14
Testigo 4	17,49	15,64	14,28
2L	13,88	12,79	13,81
3L	13,05	13,11	12,90
4L	13,80	15,99	12,56
5	18,46	14,71	15,58
6	17,60	15,41	14,08
7	18,90	18,45	14,50
Testigo 5	15,56	21,42	15,33

7.4.2 Resistencia a la dureza de lado

• *Guadua amplexifolia*

En la figura 7.9., se encuentran los resultados obtenidos para dureza de lado de la especie *Guadua amplexifolia* de probetas tratadas y son tratar. En general puede observarse que la dureza desciende a medida que se incrementa la altura del culmo, esto es atribuible al aumento del número de fibras con altura (Liese, 1987). Como la sección apical es más fibrosa, es posible sea más susceptible a la ruptura al momento de realizar el ensayo. Por otro parte, la dureza de la mayoría de probetas se encuentra por debajo de 500 kg/cm², esto indica la blandes del material, ya que una madera se considera blanda, cuando los valores de resistencia están por debajo de 500 kg/cm². Sin embargo los resultados se encuentran dentro de los valores aceptados para la fabricación de muebles.

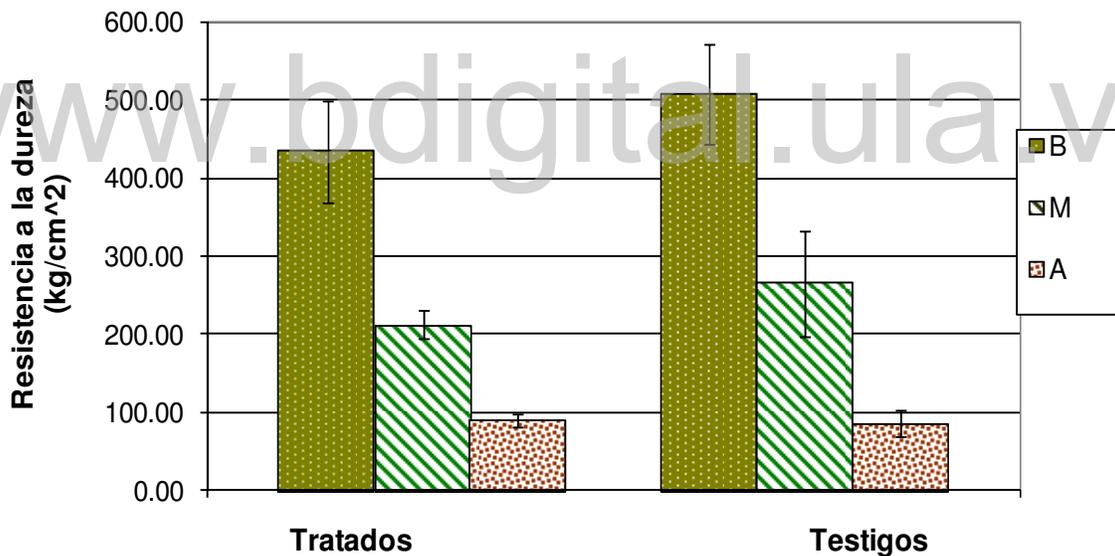


Figura 7.9. Dureza probetas de *Guadua amplexifolia* tratadas con ácido bórico-bórax

En cuanto al tratamiento químico, se observa que los testigos de todas las secciones, poseen mayor dureza que las probetas inmunizadas. En términos generales, es probable un ablandamiento de la pared celular durante el tratamiento (Hunt, 1961), producto de una elevada concentración de sales o un excesivo tiempo de inmersión. Sin embargo, es posible que el ablandamiento sea despreciable, debido a la ampliación de la vida útil del material.

En la Figura 7.10., se muestran los resultados obtenidos para las probetas tratadas con licor negro, haciendo la comparación con las probetas tratadas mediante solución ácido bórico-bórax y con probetas sin tratamiento. En general, se observa el comportamiento esperado, disminución de la dureza al incrementarse la altura del culmo. Además se corrobora que el tratamiento químico disminuye la resistencia del material, sobre todo en el caso de las secciones basales.

Al analizar la influencia de cada tratamiento químico en el comportamiento de las probetas, es difícil establecer la manera como se ve afectado, porque los esfuerzos ajustados son muy similares para las tres secciones en ambos casos. Sin embargo, las desviaciones calculadas permiten inferir que el licor negro, debilita en una mayor proporción las paredes de las probetas, es posible que el hidróxido de sodio presente en la solución de licor negro haya diluido cierta proporción de la lignina presente, haciendo al material mucho más blando.

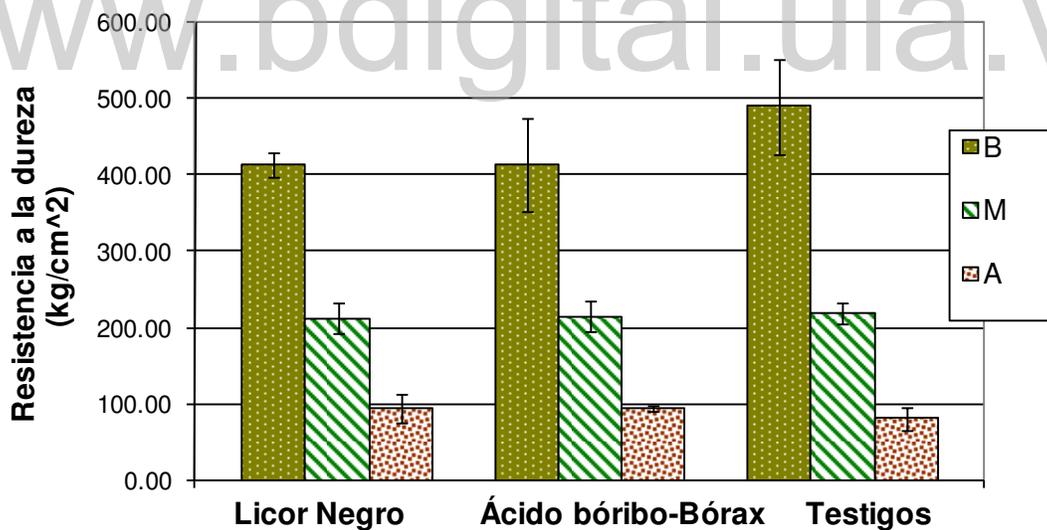


Figura 7.10. Comparación de dureza entre probetas de *Guadua amplexifolia* preservadas con licor negro y con ácido bórico-bórax

* *Guadua angustifolia*

Las probetas de esta especie sólo fueron tratadas con la solución ácido bórico-bórax y los resultados se presentan en la Figura 7.11. En el caso del testigo no se presenta la disminución de la dureza con la altura, aunque si observamos las desviaciones, la sección apical alcanzaría el valor más bajo (218,80 kg/cm²) dentro del grupo de probetas sin tratamiento. Las probetas de los culmos tratados si presentan el comportamiento esperado, menor dureza en la sección apical.

Desde el punto de vista de tratamiento, sólo las probetas tratadas de la sección basal presentan una dureza mayor (373,29 kg/cm²) a la obtenida por el testigo (326,50 kg/cm²), mientras para las otras secciones, las probetas del testigo son más duras. Esto puede estar relacionado con la edad y con la anatomía de los culmos, aunque todas estas probetas provienen de la misma macolla, algunas poseían mayor espesor.

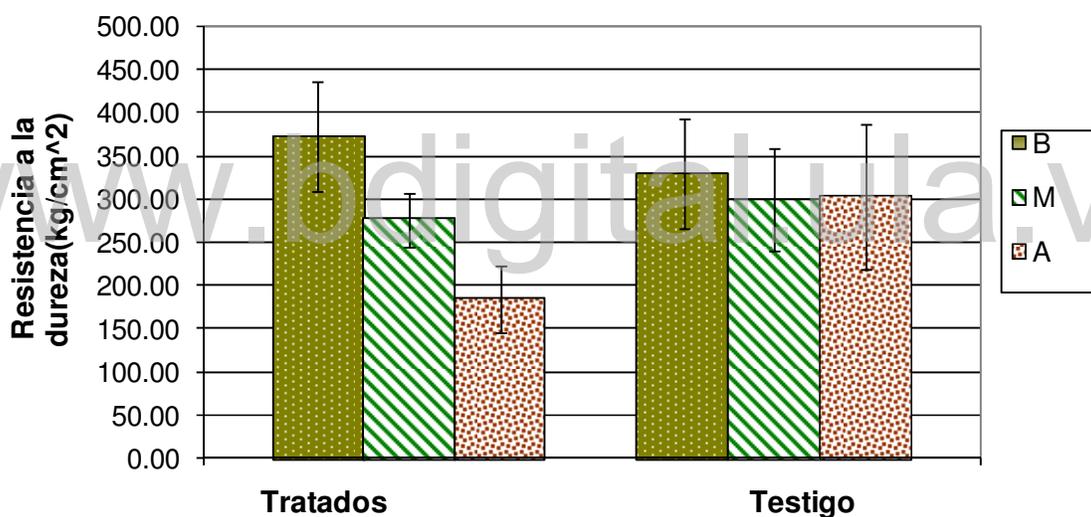


Figura 7.11. Dureza probetas *Guadua angustifolia* tratadas con ácido bórico-bórax

Al comparar estos resultados con los obtenidos por Briceño (2005b) para *Guadua angustifolia*, del estado Barinas sin tratamiento, se observa que la dureza se encuentra por encima de los 300 kg, mientras que las registradas en esta investigación oscilan entre 150 y 350 kg. A partir de esta discrepancia se puede inferir, que la procedencia de las probetas y la edad del culmo (en este caso, muy joven, 3 años) influyen en la resistencia propia del material.

Finalmente, al establecer comparaciones entre especies, se observa que la especie *Guadua angustifolia* es más blanda en la sección basal, pero más dura en las secciones medias y apicales. De esto se puede inferir ciertas diferencias desde el punto de vista anatómico o de edad, entre probetas de ambas especies.

7.4.3 Resistencia a la compresión perpendicular a la fibra

● *Guadua amplexifolia*

En la Figura 7.12., se muestran los resultados para probetas tratadas con ácido bórico-bórax y con su respectivo testigo. En ambos casos se observa una disminución de la resistencia a medida que se avanza en la altura del culmo, esto es atribuible al aumento del número de fibras (Liese, 1987). En cuanto al tratamiento químico, los esfuerzos soportados por las probetas en todas las secciones, superan a la resistencia del testigo. Esto indica que la inmunización beneficia la resistencia a la compresión perpendicular de todos los tipos de probetas, los resultados están directamente relacionados con la absorción de solución inmunizante, ya que los vasos al estar saturados de sales incrementan la fuerza oposición a la carga aplicada. Sin embargo, el incremento de la resistencia es más evidente en las probetas de la sección basal que para los otros tipos de probetas, la diferencia se atribuye a la anatomía de las mismas. Las probetas basales eran casi rectangulares, por tanto podían soportar mejor la carga, mientras las medias y apicales eran convexas, lo que provocaba la ruptura de la probeta sin soportar cargas elevadas.

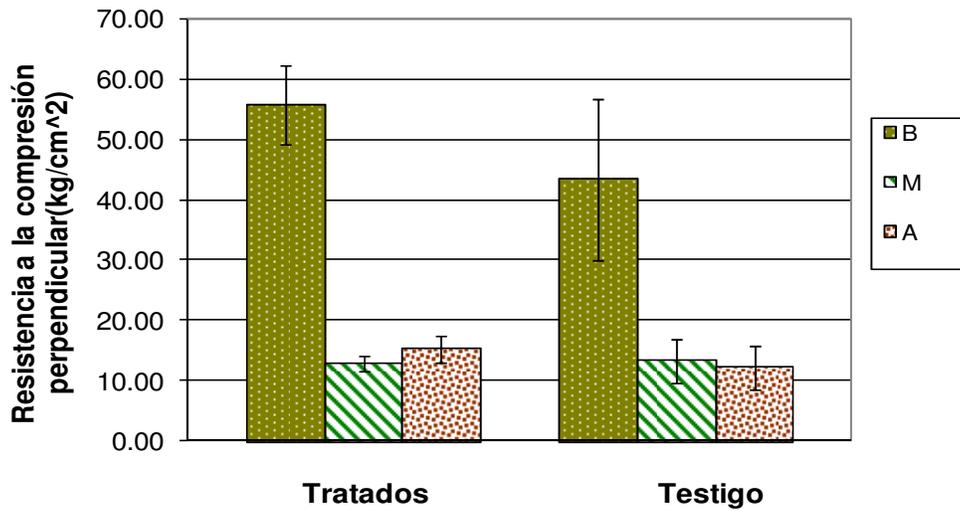


Figura 7.12. Compresión perpendicular *Guadua amplexifolia* tratadas con ácido bórico-bórax y sin tratar

Si se establece una comparación entre estos resultados y las durezas registradas, se observa un comportamiento antagónico, de allí se puede inferir que el tratamiento favorece la resistencia a la compresión mientras disminuye la resistencia a la dureza. De esto se puede inferir, en primer lugar a un posible debilitamiento de la cutícula (capa externa de la probeta) luego del tratamiento, o a que en el punto donde se aplico la carga (1 cm²), había ausencia de inmunizante producto de una penetración irregular, por tanto la dureza disminuye. Mientras, en el caso de la compresión perpendicular, al abarcarse un área más grande, existe mayor posibilidad que los haces estén llenos de ácido y bórax, por ende existe mayor materia que se oponga a la carga, es decir, mayor resistencia.

En el caso de las muestras tratadas con licor negro (Figura 7.13.), se observa el mismo comportamiento, disminución de la resistencia con la altura y mayor resistencia en las probetas tratadas, basales y apicales, la razones de ello se explicaron anteriormente. Si se comparan los resultados para ambos tratamientos, observamos que tanto la sección basal como la apical son más resistentes a la compresión luego del tratamiento con ácido bórico: basal 55,61 kg/cm² y apical 14,63 kg/cm² mientras para el licor negro se tiene: basal 53,29 kg/cm² y apical 10,31 kg/cm², lo que corrobora una posible dilución de la lignina del culmo con la solución de licor negro. Sin embargo, la carga soportada por la sección media tratada con esta mezcla, triplica,

tanto los esfuerzos ajustados para la misma sección sometida al otro tratamiento, como los de probetas testigo, por tanto se infiere que el espesor de la probeta influye en gran magnitud sobre el resultado, ya que la probetas medias inmunizadas con licor negro tenían espesores un poco más grande.

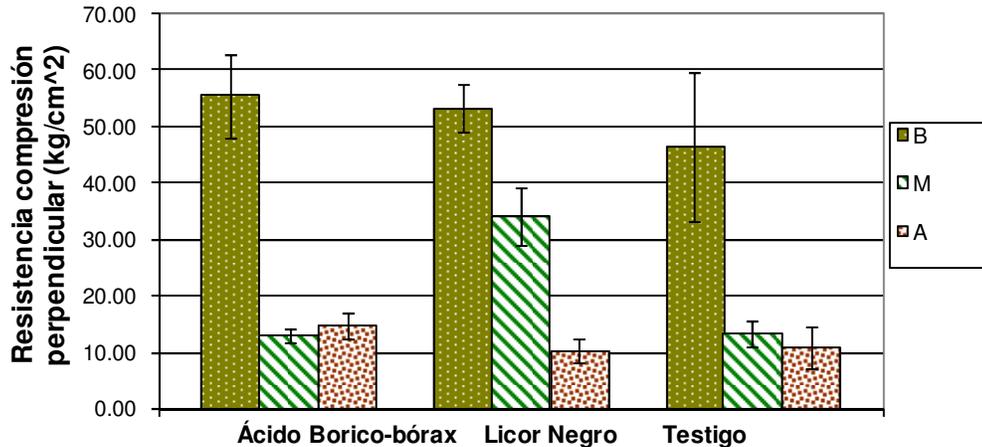


Figura 7.13. Comparación entre resistencia a la compresión perpendicular de la especie *Guadua amplexifolia* tratada con licor negro y con ácido bórico-bórax

Finalmente, independientemente del tipo de probeta, con o sin tratamiento, los valores de resistencia a compresión oscilan entre 8 y 55 kg/cm²

● *Guadua angustifolia*

Los resultados (Figura 7.14.) indican que la resistencia a la compresión alcanza su valor más bajo en la probetas de la sección media esto podría estar relacionado con el espesor de las mismas, o con la absorción de solución inmunizante, que fue menor en ésta sección (véase Figura 7.5.). Asimismo, las probetas tratadas alcanzan valores de resistencia más altos, lo que corrobora que la saturación de los haces vasculares con sales incrementa la resistencia a al compresión.

Por otro lado, se repite el patrón de comportamiento de la especie *Guadua amplexifolia*, la dureza de la probetas disminuye luego del tratamiento mientras el resistencia a la compresión aumenta, las razones de esto se consideran similares a las explicadas anteriormente.

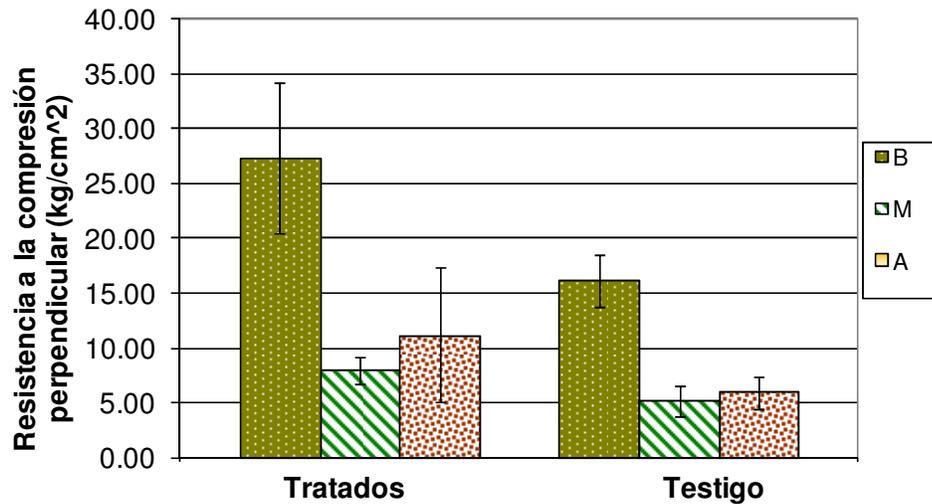


Figura 7.14. Compresión perpendicular *Guadua angustifolia* tratadas con ácido bórico-bórax

Al comparar los resultados obtenidos con estudios previamente realizados a esta especie, se observa que las resistencias registradas en otros trabajos son muchos más altas. Briceño (2005b) señala que la compresión perpendicular para probetas sin tratamiento, oscila entre 66,22 y 97,65 kg/cm². Mientras, Gutiérrez y Velásquez (2005) mencionan que la resistencia a la compresión perpendicular alcanza un valor de 57,49 kg/cm². En nuestro caso, los valores para la sección media y apical, se encuentran por debajo de 10, alcanzándose para la zona basal, 27 kg/cm². Esta discrepancia puede atribuirse principalmente al origen de las probetas.

Finalmente, los valores ajustados demuestran que entre ambas especies, es mayor resistente la especie *Guadua amplexifolia*.

7.5 Tiempo óptimo de inmersión: Análisis espectrofotométrico

El análisis espectrofotométrico se dividió en dos fases: obtención de la curva de calibración y análisis de las muestras tomadas experimentalmente. Desde el punto de vista cualitativo, se observó que la coloración de los patrones se hacía más tenue a medida que la concentración de boro aumentaba, ejemplo de ello es que el blanco era de color rojo-anaranjado, mientras que el extracto obtenido a partir de la solución mas concentrada (0,05 mgr/lts) era rosado claro. Este comportamiento se corrobora en la Figura 7.15., ya que la absorbancia

disminuye a medida que la concentración aumenta. Esto evidencia que el complejo formado, llamado rosocianina, absorbe menos luz a medida que la concentración de boro aumenta.

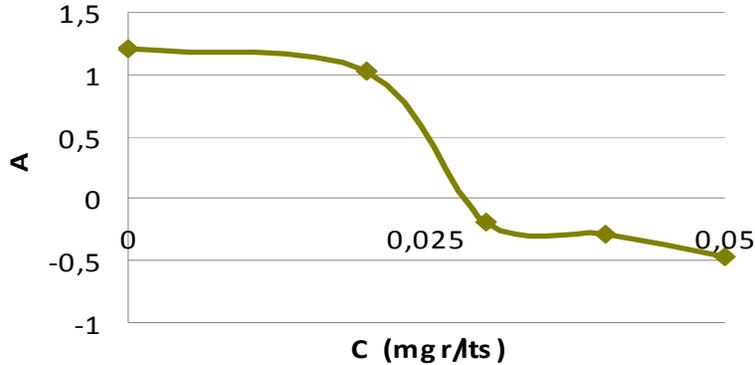


Figura 7.15. Curva de calibración

Finalmente, se analiza la curva de absorbancia vs. tiempo (Figura 7.16.) de los extractos de la solución inmunizante ácido bórico-bórax. Inicialmente, la absorbancia presenta un comportamiento ascendente hasta la mitad de la trayectoria, donde alcanza un máximo ($A = 1,6$), para luego descender de manera irregular. Esto indica que la concentración de boro en solución disminuyó durante un lapso de 26,5 horas, hasta alcanzar su valor mínimo, a partir de allí el comportamiento irregular puede explicarse por disolución de diversos compuestos presentes en la estructura del culmo, tales como: celulosa, hemicelulosa lignina, azúcares.

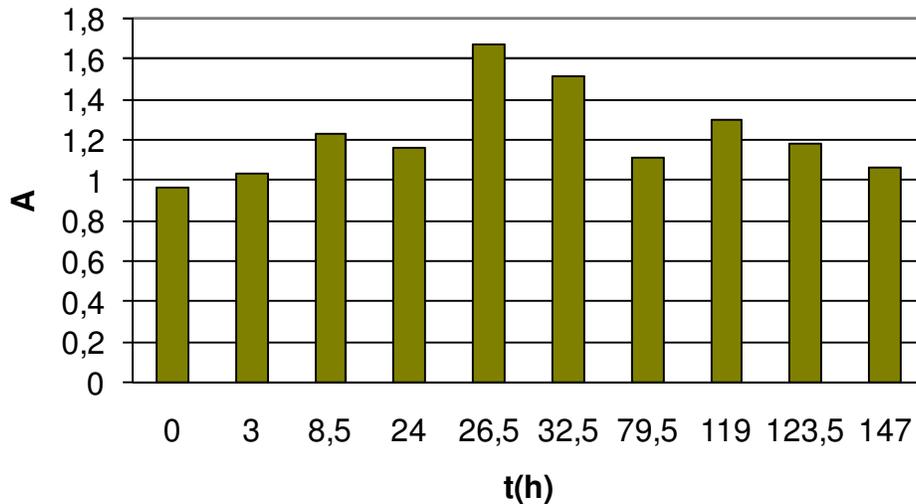


Figura 7.16 Variación de la absorbancia con respecto a tiempo de tratamiento

En conclusión, la máxima absorción de boro por los culmos se presenta a 26,5h de tratamiento, por tanto luego de este lapso de tiempo, el proceso es innecesario y no tiene sentido, ya que los culmos absorbieron lo que correspondía. Finalmente, la concentración de la muestra en cada punto de la inmersión, no pudo ser determinada debido a que se desconoce la proporción y las sustancias desprendidas durante el proceso de preservación.

www.bdigital.ula.ve

VIII. Conclusiones

- La preservación permite evitar la pudrición y aparición de hongos en el bambú, por tanto incrementa su vida útil.
- A menor contenido de humedad, mayor es la resistencia a la compresión perpendicular y a la dureza.
- La densidad verde, saca al aire y seca al horno, permanece constante a lo largo de la longitud del culmo tanto en probetas tratadas como no tratadas.
- La absorción y la retención de un inmunizante se incrementa desde la zona basal a la zona apical. En este caso, para la especie *Guadua amplexifolia*, la absorción de ácido bórico-bórax resultó mayor ($145,47 \text{ kg sol/m}^3$) que la absorción del licor negro ($136,4 \text{ kg sol/m}^3$).
- La resistencia a la dureza de lado de las especies *Guadua amplexifolia* y *Guadua angustifolia* disminuye luego de tratamiento químico. Para la primera especie a 12% de humedad, la dureza de probetas: tratadas con ácido bórico-bórax es $245,3 \text{ kg/cm}^2$, tratadas con licor negro es $239,2 \text{ kg/cm}^2$ y sin tratamiento es $287,39 \text{ kg/cm}^2$. En el caso de la especie *Guadua angustifolia* tratada, la dureza es $278,12 \text{ kg/cm}^2$ y para el culmo sin tratamiento es $310,3 \text{ kg/cm}^2$.
- La resistencia a la compresión perpendicular aumenta luego del tratamiento químico, en ambas especies. Para la especie *Guadua amplexifolia* a 12% de humedad, tratada con ácido bórico-bórax la resistencia es $27,9 \text{ kg/cm}^2$, tratada con licor negro es $27,71 \text{ kg/cm}^2$ y sin tratar $22,93 \text{ kg/cm}^2$. En cuanto a la especie *Guadua angustifolia*, se tiene una resistencia luego de la inmunización de $15,51 \text{ kg/cm}^2$ y sin tratar es $9,51 \text{ kg/cm}^2$.
- En ambos ensayos, los valores de resistencia de la especie *Guadua amplexifolia* luego del tratamiento con ácido bórico-bórax y licor negro, resultaron similares.

- La especie *Guadua amplexifolia* resultó más resistente a la compresión perpendicular y a la dureza de lado que la especie *Guadua angustifolia*.
- Los resultados obtenidos permiten inferir que sólo la sección basal es adecuada para su uso estructural o en fabricación de muebles, mientras las secciones medias y apicales pueden emplearse sólo en artesanías, debido a la baja resistencia a la compresión que poseen.
- El tiempo óptimo de inmersión es 26,5 h para la inmersión en ácido bórico-bórax, por tanto se considera que luego de este lapso de tiempo el tratamiento químico es innecesario.

www.bdigital.ula.ve

IX. Recomendaciones

- Estudiar el efecto que tiene el tratamiento químico sobre cada propiedad físico-mecánica, para establecer el tipo de comportamiento que existe luego de la preservación.
- Realizar estudios donde se emplee el tratamiento químico con ácido bórico y bórax a diferentes concentraciones, para establecer una concentración óptima de tratamiento de acuerdo con la resistencia mecánica.
- Realizar nuevas investigaciones donde se emplee el licor negro como solución inmunizante, corroborando su efectividad al someter las probetas a la acción insectos xilófagos.
- Incentivar el estudio de especies como *Guadua amplexifolia* desde el punto de vista tecnológico (tableros, estructuras), anatómico y físico-mecánico.
- Se recomienda seguir realizando las investigaciones con las especies *Guadua amplexifolia* y *Guadua angustifolia*, del estado Yaracuy y de otros lugares del país, para establecer comparaciones de acuerdo al origen del material.
- Diseñar normas y maquinaria adecuada para la realización de los ensayos físicos-mecánicos en función de las características propias de la *Guadua*.

X. Referencias

- Amada, S. & Untao, S. (2001). Fracture of Bamboo. *Composites Part B: Engineering*, 32 (5), 451-459.
- Arroyo, J. (1983). *Propiedades físico-mecánicas de la madera*. Comisión de publicaciones de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de los Andes.
- Briceño, N. (2005a). *Estudio preliminar de las propiedades físicas de la especie **Guadua angustifolia** Proveniente del fundo El Limón, sector Anime Arriba, estado Barinas*. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.
- Briceño, N. (2005b) *Estudio preliminar de las propiedades mecánicas de la especie **Guadua angustifolia** proveniente del fundo El Limón, sector Anime Arriba, estado Barinas*. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.
- Burgos, A. (2003). Revisión de las técnicas de preservación de bambú. *Revista Forestal Latinoamericana*, 33, 11-20.
- Calderon, C. & Soderstrom, T. (1973). *Morphological and Anatomical Considerations of the Grass Subfamily Bambusoideae based on the new genus Maclurolyra*. Smithsonian contributions to botany, N° 11
- Castaño, F. (1986). *Algunos sistemas silviculturales para la propagación de Bambusa Guadua en Colombia*. Cali: Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca.
- Chung, K & Yu, W. (2002). Mechanical properties of structural bamboo for bamboo scaffoldings. *Engineering Structures* 24(4), 755-768.
- Ciro, H., Osorio, J. & Vélez, J. (2005). Determinación de la resistencia mecánica a la tensión y cizalladura de la **Guadua angustifolia** KUNTH. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 58(1), 2709-2715.

- Encinas, E. (2005). Preservación de bambú y madera de plantaciones mediante desplazamiento de savia forzado @. *Revista Forestal Venezolana*, 49(2), 153-162.
- Garland, L. (2003). *Vertical soak difussion for bamboo preservation*. Bali, Indonesia: Environmental Bamboo Foundation.
- Gib, C. (s.f). *Bamboo: The importance in the ecology and native species conservation*. [Serie de 33 diapositivas]. México: Bamboo of the Americas.
- Goldman, E., Taormina, S. & Castillo, M. A modified curcumin method for determining trace about of boron. *Water Works Association*, 67 (14).
- González, H. & Montoya, J. (2006). Metodología de preparación de muestras experimentales investigativos con *Guadua angustifolia* Kunth. *Scientia et Technica*, 11 (36), 274-289.
- Gutiérrez, G. (1990). Boletín Técnico. *Los bambúes: Biología, cultivo, manejo y usos*. El Chasqui, costa rica, boletín informativo sobre recursos naturales renovables no. 23 1-36 pp.
- Gutierrez, L. y Velásquez, M. (2005). *Estudio preliminar de las propiedades físicas y mecánicas de la especie Guadua angustifolia, proveniente del sector Palma Sola, asentamiento Ticoporo, municipio autónomo Antonio José Antonio de Sucre, Estado Barinas*. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.
- Hidalgo, O. (1974). *Bambú: Su cultivo y aplicaciones en fabricación de papel, construcción, arquitectura, ingeniería y artesanía*. Cali, Colombia: Estudios técnicos Colombianos Limitada.
- Hidalgo, O. (1981). *Manual de construcción con Bambú: Construcción Rural-1*. Bogotá, Colombia: Estudios técnicos Colombianos Limitada.
- Hunt, G. (1972). *Preservación de la madera*. España: Salvat

Janssen, J. (1991). *Mechanical properties of bamboo*. Holanda: Kluwer Academic Publishers.

Lahiry, A. (1997). Preservation of talla bamboo (*Bambusa tulda* Roxb) by chromated copper arsenate (CCA). *Journal of Scientific & Industrial Research*, 56 (1), 39-44.

Liese, W. (1987). *Anatomy and properties of bamboo*. En International Bamboo Workshop Proceedings: Recent researchs on bamboos (pp.196-208). Hangzhou, China: Chinese Academy of Forestry.

Lobo, R. (2004). *Selección, aprovechamiento y preservación de la **Guadua angustifolia***. Informe de pasantías. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Los Andes

McClure, F. (1966). *Bamboos: A fresh perspective*. Massachusetts: Harvard University Press-Cambridge.

Mejía, C. (2002). *Notas de Preservación*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Laboratorio de Productos Forestales.

Montiel, M. & Morillo, L. (1998). *Historia Ecológica y aprovechamiento del Bambú*. En Montiel, M., Cultivo y uso del bambú en el neotrópico (pp.11-18). San José, Costa Rica: Editorial Universidad de Costa Rica.

Montoya, J. (2005a). *Preservación y secado*. [Serie de 157 Diapositivas]. Colombia: Servicio Nacional de Aprendizaje.

Montoya, J. (2005b). Método de desplazamiento de savia (método *boucherie*) para la preservación de la *Guadua angustifolia* kunth. *Scientia et Technica* Año 11 (28), 211-216.

Ordóñez, V. (s.f). *Guaduas Mexicanas y su uso en la construcción*. [Serie de 40 diapositivas]. México: Instituto de Ecología A.C.

- Paredes, E. (1991). *Estudio florístico preliminar del bambú en lo estados Portuguesa- Cojedes- Yaracuy*. Tesis de pregrado Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.
- Sanint, A. (1996). *La guadua: Su cultivo, manejo y aprovechamiento. Tres sistemas para la construcción de viviendas económicas*. Barinas: Ediciones Universidad Ezequiel Zamora.
- Soderstrom, T. & Ellis, R. (1987). *The position of bamboo genera and allies in system of grass classification*. En T.R. Soderstrom et al. (eds), *Grass Systematics and Evolution* (pp. 225-238). Washington, D.C.: Smithsonian Institution Press.
- Sulaiman, O., Hashim, R., Wahab, R.; Ismail, Z.; Samsi, H. & Mohamed, A. (2006). Evaluation of shear strength of oil treated laminated bamboo. *Bioresource Technology*, 97(18), pp. 2466-2649.
- Vela, L. (1976). *Los Bambúes*. México: Boletín Técnico del Instituto Nacional de Investigaciones Forestales N°50.
- Uribe, M. & Durán, A. (2002). *Estudios de elementos solicitados a compresión de tres guaduas*. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Colombia.
- Yahya, S. & Latif, A. (1992). *Trends of variation in some physical properties of Bambusa*. En Wan, W. & Mohamad, A, *Towards the management, conservation, marketing y utilization of bamboos* (pp.212-220). Kuala Lumpur, Malasia: Forest Research Institute.
- Zerpa, B. (1987). *Establecimiento de bases para desarrollo promocional del bambú nacional*. Tesis de pregrado. Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Universidad de Los Andes.

Fuentes electrónicas

Deras, J. (2003). *Análisis de la cadena productiva del bambú en Costa Rica*. Tesis de Maestría.

Consultado 06 de abril de 2008 de la dirección electrónica:
<http://orton.catie.ac.cr/REPDOC/A0148E/A0148E.PDF>

Construir con Bambú 'Guadua angustifolia'. (s. f.) .Consultado 20 de diciembre de 2007 de la

dirección electrónica: <http://www-users.rwth-aachen.de/Christoph.Toenges/pagesES/properties.html>

Londoño, X. (2002, Agosto). *Distribución, morfología, taxonomía, anatomía, silvicultura y usos*

de los bambúes del nuevo mundo. Consultado el día 3 de febrero de 2008 de la dirección electrónica: <http://www.guadua.org/taller.html>

Londoño, X. & Botero, L. (2006, Octubre). *Sistemática, silvicultura, cadena productiva y usos*

del bambú. Consultado el 20 de marzo de 2008 de la dirección electrónica:
http://www.sagpya.mecon.gov.ar/new/0-0/programas/prosap/informacion/bambu/londonio_botero.pdf

Madera Generalidades. (s.f). Consultado día 6 de abril de 2008 de la dirección electrónica:

infomadera.net/empresa/producto/1090/info/15956

Morán, J. (s.f.). *Preservación de Bambú, mediante métodos tradicionales*. Consultado el 5 de

febrero de 2008 de la dirección electrónica:
http://www.inbar.int/publication/txt/INBAR_Technical_Report_No25_es.htm

Propiedades de la madera. (s.f.a). Consultado el 1 de abril de 2008 de la dirección electrónica:

infomadera.net/empresa/producto/886/info/14220

Propiedades de la madera. (s.f.b). Consultado el 1 de abril de 2008 de la dirección electrónica:

<http://www.geocities.com/cokevilchez/madera.htm>

Propiedades mecánicas de la madera. (s.f.) Consultado el 1 de abril de 2008 de la dirección electrónica:

<http://www.nodoindustrialmaule.cl/usuarios/archivos/Presentaci%F3n%20de%20las%20Propiedades%20Mecanicas%20de%20la%20Madera.pdf>

Salazar, J. y Díaz, G. (s.f.). *Inmunización de la guadua.* Universidad de Colombia. Facultad de Arquitectura. : Consultado el 20 de diciembre de 2007 de la dirección electrónica:
<http://www.icfes.gov.co/revistas/ingeinve/No.38/Art2.html>

Usos del Bambú. (s.f). Consultado día 6 de abril de 2008 de la dirección electrónica:
<http://www.bambumex.org/paginas/usos%20del%20bambu.htm>

www.bdigital.ula.ve

XI. Anexos

• Propiedades físicas

✓ Testigos

Tabla A.1 Peso específico, densidad y contenido de humedad en condición verde de la especie *Guadua amplexifolia* sin tratamiento

Testigo 1	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	P. e. b.	D. v. (g/cm ³)
Testigo 1B	836,900	760,400	52,191	0,723	1,101
Testigo 1M	385,300	330,100	57,201	0,743	1,167
Testigo1A	259,200	222,300	63,843	0,712	1,166
		X =	57,745	0,726	1,145
		D.S. =	4,772	0,013	0,031
		C.V. (%) =	8,265	1,754	2,719
Testigo 2	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	P. e. b.	D. v. (g/cm ³)
Testigo2B	602,000	529,900	83,034	0,621	1,136
Testigo 2M	384,900	327,000	54,640	0,761	1,177
Testigo 2A	221,300	195,900	53,894	0,734	1,130
		X =	63,856	0,705	1,148
		D.S. =	13,564	0,061	0,021
		C.V. (%) =	21,242	8,627	1,830

Tabla A.2 Densidad y contenido de humedad en condición seca al aire y seca al horno de la especie *Guadua amplexifolia* sin tratamiento

Testigo 1	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	D.s.a.(g/cm ³)	Peso (g)	Vol. (cm ³)	D.s.h. g/cm ³)
Testigo 1B	635,700	648,900	15,603	0,980	549,900	533,300	1,031
Testigo 1M	274,400	288,800	11,954	0,950	245,100	291,600	0,841
Testigo1A	180,300	187,400	13,970	0,962	158,200	178,500	0,886
		X =	13,842	0,964		X =	0,919
		D.S. =	1,492	0,012		D.S. =	0,081
		C.V. (%) =	10,780	1,258		C.V. (%) =	8,837
Testigo 2	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	D.s.a.(g/cm ³)	Peso (g)	Vol. (cm ³)	D.s.h.(g/cm ³)
Testigo2B	398,900	412,300	21,283	0,967	328,900	385,400	0,853
Testigo 2M	290,800	298,700	16,834	0,974	248,900	272,200	0,914
Testigo 2A	168,100	169,100	16,898	0,994	143,800	164,300	0,875
		X =	18,339	0,978		X =	0,881
		D.S. =	2,082	0,011		D.S. =	0,025
		C.V. (%) =	11,355	1,163		C.V. (%) =	2,865

Tabla A.3 Peso específico, densidad y contenido de humedad en condición verde de la especie *Guadua angustifolia* sin tratamiento

6	Peso (g)	Vol. (cm3)	C.H. (%)	P. e. b.	D. v. (g/cm ³)
6B	287,000	322,100	38,580	0,643	0,891
6M	149,600	149,700	47,099	0,679	0,999
6A	77,600	78,900	79,630	0,548	0,984
		X =	55,103	0,623	0,958
		D.S. =	17,688	0,056	0,048
		C.V. (%) =	32,100	8,919	4,986
7	Peso (g)	Vol. (cm3)	C.H. (%)	P. e. b.	D. v. (g/cm ³)
7B	342,500	266,600	105,213	0,626	1,285
7M	161,100	139,300	77,228	0,653	1,156
7A	78,700	76,900	68,162	0,609	1,023
		X =	83,534	0,629	1,155
		D.S. =	15,769	0,018	0,107
		C.V. (%) =	18,878	2,873	9,237

Tabla A.4 Densidad y contenido de humedad en condición seca al aire y seca al horno de la especie *Guadua angustifolia* sin tratamiento

6	Peso (g)	Vol. (cm3)	C.H. (%)	D. s.a. (g/cm3)	Peso (g)	Vol. (cm3)	D. s.h.(g/cm3)
6B	246,300	309,400	18,928	0,796	207,100	290,900	0,712
6M	113,600	145,500	11,701	0,781	101,700	132,500	0,768
6A	48,900	67,000	13,194	0,730	43,200	62,700	0,689
		X =	14,608	0,769		X =	0,723
		D.S. =	3,115	0,028		D.S. =	0,033
		C.V. (%) =	21,325	3,681		C.V. (%) =	4,563
7	Peso (g)	Vol. (cm3)	C.H. (%)	D. s.a. (g/cm3)	Peso (g)	Vol. (cm3)	D. s.h.(g/cm3)
7B	192,300	239,400	15,219	0,803	166,900	226,200	0,738
7M	101,700	125,600	11,881	0,810	90,900	117,900	0,771
7A	52,400	62,900	11,966	0,833	46,800	58,900	0,795
		X =	13,022	0,815		X =	0,768
		D.S. =	1,554	0,013		D.S. =	0,023
		C.V. (%) =	11,932	1,571		C.V. (%) =	3,030

✓ Muestras tratadas

Tabla A.5 Peso específico, densidad y contenido de humedad en condición verde de la especie *Guadua amplexifolia* tratada

1	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	P. e. b.	D. v. (g/cm ³)
1B	571,800	510,600	89,589	0,656	1,120
1M	213,900	196,400	54,776	0,785	1,089
1A	92,000	88,000	76,923	0,658	1,045
		X =	73,763	0,699	1,085
		D.S. =	14,387	0,060	0,031
		C.V. (%) =	19,505	8,607	2,814
2	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	P. e. b.	D. v. (g/cm ³)
2B	489,800	470,700	117,206	0,532	1,041
2M	243,900	235,900	84,493	0,625	1,034
2A	111,300	127,100	76,948	0,553	0,876
		X =	92,882	0,570	0,983
		D.S. =	17,473	0,040	0,076
		C.V. (%) =	18,812	7,006	7,749
3	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	P. e. b.	D. v. (g/cm ³)
3B	733,600	745,300	75,839	0,620	0,984
3M	306,800	283,200	58,063	0,762	1,083
3A	112,700	102,800	79,173	0,742	1,096
		X =	71,025	0,708	1,055
		D.S. =	9,266	0,063	0,050
		C.V. (%) =	13,046	8,909	4,743
4	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	P. e. b.	D. v. (g/cm ³)
4B	671,600	664,800	135,566	0,479	1,010
4M	396,800	384,600	75,188	0,658	1,032
4A	152,700	153,800	89,219	0,591	0,993
		X =	99,991	0,576	1,012
		D.S. =	25,800	0,074	0,016
		C.V. (%) =	25,802	12,815	1,572
6	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	P. e. b.	D. v. (g/cm ³)
6B	237,200	251,300	58,239	0,661	0,944
6M	175,400	167,200	88,805	0,618	1,049
6A	78,200	74,500	68,898	0,691	1,050
		X =	71,981	0,657	1,014
		D.S. =	12,668	0,030	0,050
		C.V. (%) =	17,599	4,592	4,902

Tabla A.6 Densidad y contenido de humedad en condición seca al aire y seca al horno *Guadua amplexifolia* tratada

1	Peso (g)	Vol. (cm3)	C.H. (%)	D. s.a.(g/cm3)	Peso (g)	Vol. (cm3)	D.s.h.(g/cm3)
1B	334,900	475,500	11,041	0,704	301,600	477,600	0,631
1M	154,100	196,100	11,505	0,786	138,200	184,400	0,749
1A	57,900	84,000	11,346	0,689	52,000	79,100	0,657
		X =	11,297	0,726		X =	0,679
		D.S. =	0,193	0,042		D.S. =	0,051
		C.V. (%) =	1,704	5,838		C.V. (%) =	7,450
2	Peso (g)	Vol. (cm3)	C.H. (%)	D. s.a.(g/cm3)	Peso (g)	Vol. (cm3)	D.s.h.(g/cm3)
2B	250,400	442,600	11,042	0,566	225,500	422,100	0,534
2M	147,500	216,000	11,573	0,683	132,200	205,800	0,642
2A	70,300	113,700	11,765	0,618	62,900	103,900	0,605
		X =	11,460	0,622		X =	0,594
		D.S. =	0,306	0,048		D.S. =	0,045
		C.V. (%) =	2,667	7,697		C.V. (%) =	7,555
3	Peso (g)	Vol. (cm3)	C.H. (%)	D. s.a.(g/cm3)	Peso (g)	Vol. (cm3)	D.s.h.(g/cm3)
3B	461,800	716,100	10,690	0,645	417,200	682,300	0,611
3M	215,900	273,600	11,231	0,789	194,100	257,400	0,754
3A	76,300	96,000	21,304	0,795	62,900	90,000	0,699
		X =	14,408	0,743		X =	0,688
		D.S. =	4,881	0,069		D.S. =	0,059
		C.V. (%) =	33,874	9,337		C.V. (%) =	8,533
4	Peso (g)	Vol. (cm3)	C.H. (%)	D.s.a.(g/cm3)	Peso (g)	Vol. (cm3)	D.s.h.(g/cm3)
4B	318,400	613,200	11,680	0,519	285,100	580,100	0,491
4M	253,000	378,200	11,700	0,669	226,500	344,700	0,657
4A	90,900	134,000	12,639	0,678	80,700	124,700	0,647
		X =	12,006	0,622		X =	0,599
		D.S. =	0,448	0,073		D.S. =	0,076
		C.V. (%) =	3,728	11,716		C.V. (%) =	12,671

Tabla A.7 Peso específico, densidad y contenido de humedad en condición verde *Guadua angustifolia* tratada

5	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	P. e. b.	D. v. (g/cm ³)
5B	456,700	475,500	108,825	0,460	0,960
5M	196,500	194,900	90,407	0,530	1,008
5A	112,800	106,100	121,176	0,481	1,063
		X =	106,803	0,490	1,011
		D.S. =	12,643	0,029	0,042
		C.V. (%) =	11,837	5,951	4,152

Tabla A.8 Densidad y contenido de humedad en condición seca al aire y seca al horno *Guadua angustifolia* tratada

5	Peso (g)	Vol. (cm ³)	C.H. (%)	D. s.a. (g/cm ³)	Peso (g)	Vol. (cm ³)	D.s.h.(g/cm ³)
5B	240,600	420,600	10,014	0,572	218,700	399,400	0,548
5M	116,500	156,000	12,888	0,747	103,200	141,300	0,730
5A	57,900	94,800	13,529	0,611	51,000	89,600	0,569
		X =	12,144	0,643		X =	0,616
		D.S. =	1,529	0,075		D.S. =	0,082
		C.V. (%) =	12,588	11,651		C.V. (%) =	13,245

Tabla A.9 Valores promedio de propiedades físicas de las especie *Guadua amplexifolia*

Tratadas					Testigo				
	C.H. (%) c.v.					C.H. (%) c.v			
	Basal	Media	Apical	Promedio		Basal	Media	Apical	Promedio
X	104.55	68.13	80.57	84.42	X	67.61	55.92	58.87	60.80
D.S	23.29	12.22	5.08	7.49	D.S	15.42	1.28	4.97	5.99
C.V.	22.28	17.94	6.30	6.30	C.V.	22.81	2.29	8.45	6.30
	C.H. (%) s.a					C.H. (%) s.a			
X	11.11	11.50	14.26	12.29	X	18.44	14.39	15.43	16.09
D.S	0.36	0.17	4.09	1.81	D.S	2.84	2.44	1.46	0.58
C.V.	3.21	1.49	28.68	6.30	C.V.	15.40	16.95	9.49	6.30
	D.v.					D.v.			
X	1.04	1.06	1.00	1.03	X	1.12	1.17	1.15	1.15
D.S	0.05	0.03	0.08	0.02	D.S	0.02	0.01	0.02	0.00
C.V.	4.90	2.53	8.17	6.30	C.V.	1.59	0.80	1.58	6.30
	D.s.a					D.s.a			
X	0.61	0.73	0.70	0.68	X	0.97	0.96	0.98	0.97
D.S	0.07	0.06	0.06	0.01	D.S	0.01	0.01	0.02	0.00
C.V.	11.71	7.65	9.14	6.30	C.V.	0.62	1.22	1.63	6.30
	D.s.h					D.s.h			
X	0.57	0.70	0.65	0.64	X	0.94	0.88	0.88	0.90
D.S	0.06	0.05	0.03	0.01	D.S	0.40	0.04	0.01	0.18
C.V.	10.02	7.32	5.10	6.30	C.V.	42.46	4.21	0.63	6.30
	P.e.b					P.e.b			
X	0.57	0.71	0.64	0.64	X	0.67	0.75	0.72	0.72
D.S	0.07	0.07	0.07	0.00	D.S	0.05	0.01	0.01	0.02
C.V.	12.24	9.53	11.30	6.30	C.V.	7.63	1.24	1.55	6.30

Tabla A.10 Valores promedio de propiedades físicas de las especie *Guadua angustifolia*

Testigo				
C.H. (%) c.v				
	Basal	Media	Apical	Promedio
X	71.897	62.164	73.896	69.32
D.S	33.316	15.064	5.734	11.46
C.V.	46.339	24.233	7.759	6.30
C.H. (%) s.a.				
X	17.073	11.791	12.580	13.81
D.S	1.855	0.090	0.614	0.74
C.V.	10.863	0.764	4.883	6.30
D.v.				
X	1.088	1.078	1.003	1.06
D.S	0.197	0.013	0.020	0.08
C.V.	18.094	1.244	1.987	6.30
D.s.a				
X	0.800	0.795	0.781	0.79
D.S	0.004	0.014	0.052	0.02
C.V.	0.450	1.821	6.604	6.30
D.s.h				
X	0.725	0.769	0.742	0.75
D.S	0.326	0.002	0.053	0.14
C.V.	44.945	0.224	7.116	6.30
P.e.b				
X	0.634	0.666	0.578	0.63
D.S	0.008	0.013	0.031	0.01
C.V.	1.335	2.013	5.281	6.30

✿ Ensayo de dureza de lado

Donde: D.E.1.: Dureza en el lado 1 en kg

D.E.2.: Dureza en el lado 2 en kg

Dprom: Dureza promedio entre ambos extremos en kg

CH%: Contenido de humedad de la probeta

V.A.CH 12%: Valor de ajuste a contenido de humedad de 12%

A.C.H.12%D.E.: Dureza promedio a contenido de humedad de 12%

X: Dureza promedio de toda la sección

✓ Tratamiento con ácido bórico-bórax

Tabla A.11 Dureza del culmo 1 sección basal

1B	D.E.1	D.E.2	Dprom	C.H.(%)	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	560	480	520	12,73	15,18	535,18
2	510	370	440	13,16	17,67	397,67
3	360	400	380	13,19	21,02	461,02
4	390	490	440	13,64	32,73	532,73
5	480	520	500	13,71	34,22	534,22
6	440	560	500	14,43	49,00	554,00
7	480	390	435	13,62	28,46	468,46
8	560	450	505	13,99	34,65	469,65
9	510	440	475	13,50	28,52	503,52
10	480	540	510	13,88	38,35	548,35
			X		500,480	
			D.S.		47,592	
			C.V.		9.509	

Tabla A.12 Dureza del culmo 1 sección media

1M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	220	160	190	13.53	11.66	201.66
2	160	-	160	13.10	7.03	167.03
3	-	-	-	13.58	-	-
4	110	80	95	13.49	5.65	100.65
5	210	240	225	13.92	17.29	242.29
6	160	130	145	14.29	13.26	158.26
7	160	320	320	13.91	24.43	344.43
8	140	170	155	13.32	8.18	163.18
9	160	150	155	13.57	9.74	164.74
10	310	320	315	13.26	15.92	330.92
			X		208.128	
			D.S.		77.813	
			C.V.		37.387	

Tabla A.13 Dureza del culmo 1 sección apical

1A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	120	130	125	13.93	9.64	-
2	100	100	100	14.63	10.51	110.51
3	60	80	70	13.80	5.05	75.05
4	75	75	75	13.17	3.52	78.52
5	30	50	40	14.53	4.05	44.05
6	30	40	35	14.03	2.84	-
			X		77.031	
			D.S.		23.532	
			C.V.		30,548	

Tabla A.14 Dureza del culmo 2 sección basal

2B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	370	470	420	15.42	57,38	477,38
2	450	190	320	15.24	43,72	363,72
3	450	460	455	15.98	62,16	517,16
4	120	310	215	15.87	29,37	244,37
5	360	370	365	14.08	49,87	414,87
6	330	320	325	15.76	44,40	369,40
7	400	400	400	16.64	54,65	454,65
8	350	390	370	15.16	50,55	420,55
9	150	130	140	15.07	19,13	159,13
			X		380,137	
			D.S.		107,644	
			C.V.		28,317	

Tabla A.15 Dureza del culmo 2 sección media

2M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	240	250	245	14,83	27,7	272,7
2	250	240	245	15,19	31,3	276,3
3	150	170	160	14,79	17,9	177,9
4	140	120	130	14,63	13,7	143,7
5	270	170	220	14,49	21,9	241,9
6	180	120	150	17,77	34,6	184,6
7	180	180	180	16,33	31,2	211,2
8	170	130	150	14,78	16,7	166,7
9	230	280	255	12,99	10,1	265,1
10	180	160	170	15,12	21,2	191,2
X	70,000			213,123		
D.S.	49,140			45,371		
C.V.	70.200			21.289		

Tabla A.16 Dureza del culmo 2 sección apical

2A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	50	100	75	16,05	12,14	87,14
2	40	60	50	19,25	14,51	64,51
3	40	70	55	15,10	6,82	61,82
4	60	180	120	15,84	18,45	138,45
5	60	90	75	14,57	7,71	82,71
6	90	80	85	19,66	26,05	111,05
X	76,667			90,946		
D.S.	39,560			26,742		
C.V.	51.600			29.404		

Tabla A.17 Dureza del culmo 3 sección basal

3B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	440	480	460	13,94	35,73	495,73
2	430	520	475	13,56	29,66	504,66
3	480	520	500	14,20	43,94	543,94
4	580	560	570	13,82	41,48	611,48
5	490	360	425	13,52	25,87	450,87
6	500	380	440	14,03	35,65	475,65
7	500	400	450	14,55	45,99	495,99
8	440	600	520	14,93	60,96	580,96
9	120	160	140	14,61	14,59	154,59
10	700	480	590	14,83	66,77	656,77
X	482,857			497,064		
D.S.	63,618			129,528		
C.V.	13.175			26.059		

Tabla A.18 Dureza del culmo 3 sección media

3M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	240	160	200	13,22	9,77	209,77
2	160	190	175	13,32	9,22	184,22
3	120	180	150	13,06	6,37	156,37
4	190	210	200	13,91	15,27	215,27
5	240	170	205	13,16	9,49	214,49
6	160	150	155	12,42	2,59	157,59
7	200	180	190	12,93	7,03	197,03
8	160	170	165	12,98	6,49	171,49
9	150	210	180	13,09	7,84	187,84
10	190	140	165	16,49	29,63	194,63
X	178,5			188,872		
D.S.	30,38			20,613		
C.V,	17.018			10.914		

Tabla A.19 Dureza del culmo 3 sección apical

3A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	80	110	95	13,02	3,89	98,89
2	90	80	85	13,91	6,48	91,48
3	90	70	80	13,58	5,05	85,05
4	100	140	120	14,20	10,55	130,55
5	40	90	65	13,77	4,61	69,61
6	70	90	80	12,37	1,20	81,20
X	89			92,796		
D.S.	23,14			19,133		
C.V,	25.999			20.618		

Tabla A.20 Dureza del culmo 4 sección basal

4B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	270	200	235	15,93	36,90	271,90
2	320	300	310	14,44	30,27	340,27
3	360	280	320	16,37	55,90	375,90
4	440	280	360	15,50	50,36	410,36
5	400	360	380	15,51	53,35	433,35
6	160	220	190	14,93	22,28	212,28
7	260	300	280	17,20	58,27	338,27
8	390	420	405	15,81	61,66	466,66
9	420	460	440	14,35	41,39	481,39
10	220	220	220	15,41	29,96	249,96
X	691,67			358,034		
D.S.	73,83			87,632		
C.V.	10.675			24.476		

Tabla A.21 Dureza del culmo 4 sección media

4M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	180	180	180	13,99	14,34	194,34
2	140	200	170	14,67	18,17	188,17
3	290	310	300	15,02	36,19	336,19
4	240	200	220	14,91	25,58	245,58
5	180	340	260	15,26	33,91	293,91
6	220	260	240	13,21	11,59	251,59
7	180	180	180	13,63	11,72	191,72
8	120	160	140	13,90	10,66	150,66
9	180	310	245	13,62	15,88	260,88
10	180	330	255	13,33	13,60	268,60
X	44			238,165		
D.S.	47,27			53,504		
C.V.	107.421			22.465		

Tabla A.22 Dureza del culmo 4 sección apical

4A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	Se partió			14,57	18,53	18,53
2	140	90	115	14,64	17,98	132,98
3	Se partió			16,67	56,00	56,00
4	100	110	105	16,20	43,72	148,72
5	100	80	90	14,48	23,83	113,83
6	110	80	95	14,85	27,94	122,94
X	101,25			98.834		
D.S.	18,33			46.09		
C.V.	18.102			46.630		

Tabla A.23 Dureza del culmo 5 sección basal

5B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	200	190	195	18,72	52,42	247,42
2	180	140	160	16,74	30,34	190,34
3	290	220	255	18,28	64,05	319,05
4	250	160	205	15,37	27,62	232,62
5	200	150	175	20,44	59,08	234,08
6	270	240	255	19,63	77,87	332,87
7	190	160	175	18,45	45,18	220,18
8	240	230	235	21,63	90,51	325,51
9	320	320	320	20,87	113,58	433,58
10	240	280	260	16,79	49,84	309,84
X	223,50			284,55		
D.S	52,75			69,06		
C.V.	23.603			24.271		

Tabla A.24 Dureza del culmo 5 sección media

5M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	170	190	180	16,38	31,55	211,55
2	180	160	170	16,55	30,97	200,97
3	160	300	230	17,83	53,68	283,68
4	170	190	180	17,01	36,05	216,05
5	200	170	185	16,67	34,53	219,53
6	240	210	225	16,07	36,64	261,64
7	240	240	240	16,22	40,48	280,48
8	190	190	190	17,07	38,56	228,56
9	180	300	240	15,27	31,36	271,36
10	180	190	185	16,96	36,71	221,71
X	201,43			239,55		
D.S	39,07			29,64		
C.V,	19.397			12.374		

Tabla A.25 Dureza del culmo 5 sección apical

5A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	200	200	200	17,93	47,48	247,48
2	160	160	160	17,07	32,47	192,47
3	280	220	250	16,39	43,93	293,93
4	200	210	205	17,46	44,77	249,77
5	160	180	170	18,13	41,72	211,72
X	246,25			239,07		
D.S	35,33			34,97		
C.V.	14.349			14.628		

Tabla A.26 Dureza del culmo 6 sección basal

6B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	280	420	350	7,37	(-64,81)	285,19
2	330	440	385	13,86	28,67	413,67
3	260	320	290	13,46	16,91	306,91
4	360	310	335	6,00	(-80,44)	254,56
5	400	440	420	13,08	18,14	438,14
6	400	200	300	22,85	130,22	430,22
7	300	200	250	17,86	58,57	308,57
8	320	400	360	26,41	207,52	567,52
9	320	480	400	24,55	200,76	600,76
10	360	460	410	24,59	206,53	616,53
X	346		352,32			
D.S	81		133,58			
C.V.	23.371		33.761			

Tabla A.27 Dureza del culmo 6 sección media

6M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	230	260	245	15,63	35,62	280,62
2	330	350	340	15,30	44,85	384,85
3	290	260	275	13,15	12,65	287,65
4	260	160	210	14,76	23,18	233,18
5	280	240	260	15,29	34,18	294,18
6	200	210	205	15,74	30,67	235,67
7	200	240	220	13,07	9,40	229,40
8	230	200	215	15,67	31,56	246,56
9	280	300	290	12,10	1,18	291,18
10	200	240	220	16,38	38,54	258,54
X	310		274,18			
D.S	47		43,97			
C.V.	15.013		16.038			

Tabla A.28 Dureza del culmo 6 sección apical

6A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	170	140	155	14,93	18,14	173,14
2	180	260	220	16,78	42,05	262,05
3	120	70	95	15,55	13,48	108,48
4	140	120	130	15,43	17,83	147,83
5	130	100	115	15,22	14,83	129,83
X	143.00		164.27			
D.S	49.20		53.31			
C.V.	34.41		32.453			

Tabla A.29 Dureza del culmo 7 sección basal

7B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	320	480	400	16,84	77,42	477,42
2	320	310	315	15,52	44,32	359,32
3	390	560	475	16,53	86,13	561,13
4	400	420	410	14,97	48,69	458,69
5	420	350	385	15,75	57,74	442,74
6	320	460	390	13,98	30,96	420,96
7	320	420	370	14,68	39,70	409,70
8	350	320	335	16,40	58,92	393,92
9	310	280	295	16,77	56,30	351,30
10	280	380	330	16,98	65,80	395,80
X	370.500			427.10		
D.S	71.378			58.74		
C.V,	19.265			13.752		

Tabla A.29 Dureza del culmo 7 sección media

7M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	340	320	330	14,60	34,30	364,30
2	310	280	295	16,67	55,07	350,07
3	320	310	315	16,01	50,58	365,58
4	220	200	210	13,78	14,96	224,96
5	280	260	270	14,34	25,27	295,27
6	300	280	290	16,04	46,88	336,88
7	220	200	210	17,24	44,03	254,03
8	260	360	310	16,43	54,91	364,91
9	220	280	250	14,83	28,29	278,29
10	300	290	295	14,19	25,80	320,80
X	277.50			315.51		
D.S	44.82			47.73		
C.V,	16.15			15.128		

Tabla A.30 Dureza del culmo 7 sección apical

7A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	180	210	195	14,29	17,83	212,83
2	160	150	155	13,23	7,62	162,62
3	140	120	130	14,48	12,89	142,89
4	Rota					
5	80	80	80	14,43	7,77	87,77
6	120	130	125	13,95	9,73	134,73
7	180	120	150	14,13	12,76	162,76
X	139			150,60		
D.S	38			37,47		
C.V.	27.119			24.879		

✓ Tratamiento con licor negro

Tabla A.31 Dureza del culmo 2L sección basal

2BL	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
2BL1	360,00	320,00	340,00	14,36	32,06	372,06
2BL2	320,00	360,00	340,00	13,79	24,39	364,39
2BL3	320,00	410,00	365,00	14,56	37,33	402,33
2BL4	350,00	360,00	355,00	13,67	23,72	378,72
2BL5	340,00	440,00	390,00	13,19	18,61	408,61
2BL6	330,00	440,00	385,00	13,69	25,97	410,97
X	362,50			389,51		
D.S.	42,25			7,85		
C.V.	11.656			2.017		

Tabla A.32 Dureza del culmo 2L sección media

2ML	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
2ML1	160,00	150,00	155,00	12,63	3,92	158,92
2ML2	200,00	160,00	180,00	12,14	1,00	181,00
2ML3	170,00	210,00	190,00	12,75	5,68	195,68
2ML4	130,00	260,00	195,00	13,65	12,87	207,87
X	180,00			185,87		
D.S.	38,73			18,24		
C.V.	21.517			9.812		

Tabla A.33 Dureza del culmo 2L sección apical

2AL	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
2AL1	80,00	70,00	75,00	13,81	5,44	80,44
2AL2	60,00	50,00	55,00	13,51	3,33	58,33
X	65,00			69,38		
D.S.	11,18			11,05		
C.V.	17.201			15.931		

Tabla A.34 Dureza del culmo 3L sección basal

3BL	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
3BL1	260,00	400,00	330,00	13,33	17,60	347,60
3BL2	320,00	400,00	360,00	13,78	25,68	385,68
3BL3	380,00	420,00	400,00	12,02	0,30	400,30
3BL4	410,00	400,00	405,00	13,47	23,84	428,84
3BL5	520,00	530,00	525,00	12,65	13,59	538,59
X	404,00			420,20		
D.S.	76,18			64,73		
C.V.	18.857			15.404		

Tabla A.35 Dureza del culmo 3L sección media

3ML	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
3ML1	170,00	140,00	155,00	13,83	11,36	166,36
3ML2	200,00	280,00	240,00	13,07	10,23	250,23
3ML3	190,00	320,00	255,00	13,16	11,87	266,87
3ML4	200,00	200,00	200,00	13,32	10,53	210,53
3ML5	190,00	200,00	195,00	13,17	9,13	204,13
3ML6	190,00	210,00	200,00	12,13	1,08	201,08
X	207,50			216,53		
D.S.	45,67			33,20		
C.V,	22.008			15.335		

Tabla A.36 Dureza del culmo 3L sección apical

3AL	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
3AL1	90,00	80,00	85,00	13,54	5,25	90,25
3AL2	160,00	110,00	135,00	12,90	4,88	139,88
X	110,00			115,06		
D.S.	30,82			24,81		
C.V.	28.020			21.564		

Tabla A.37 Dureza del culmo 4L sección basal

4BL	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
4BL1	320,00	400,00	360,00	13,78	25,57	385,57
4BL2	360,00	640,00	500,00	13,90	37,95	537,95
4BL3	250,00	400,00	325,00	14,10	27,28	352,28
4BL4	460,00	360,00	410,00	13,45	23,70	433,70
X	398,75			427,38		
D.S.	107,99			70,09		
C.V,	27.081			16.401		

Tabla A.38 Dureza del culmo 4L sección media

4ML	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
4ML1	240,00	230,00	235,00	13,19	11,18	246,18
4ML2	240,00	150,00	195,00	13,94	15,16	210,16
4ML3	220,00	220,00	220,00	13,51	13,32	233,32
4ML4	260,00	220,00	240,00	14,35	22,57	262,57
4ML5	250,00	200,00	225,00	12,38	3,43	228,43
4ML6	220,00	190,00	205,00	12,55	4,48	209,48
X	220,00			231,69		
D.S.	28,28			18,86		
C.V.	12.856			8.138		

Tabla A.39 Dureza del culmo 4L sección apical

4AL	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
4AL1	90,00	100,00	95,00	12,56	2,11	97,11
4AL2	90,00	100,00	95,00	12,89	3,39	98,39
X	95,00			97,75		
D.S.	5,00			0,64		
C.V.	5.263			0.655		

✓ Testigos

Tabla A.40 Dureza del culmo Testigo 1 sección basal

1B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	450	390	420	18.91	116.15	536.15
2	520	440	480	16.47	85.89	565.89
3	440	360	400	26.75	236.07	636.07
4	490	430	460	16.34	79.83	539.83
5	520	520	520	16.53	94.13	614.13
6	430	480	455	16.58	83.33	538.33
7	480	470	475	7.23	-90.58	384.42
8	600	600	600	16.41	105.79	705.79
X	381.00			565.08		
D.S	63.82			88.09		
C.V,	16.752			15.588		

Tabla A.41 Dureza del culmo Testigo 1 sección media

1M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	340	340	340	15.41	46.44	386.44
2	230	340	285	15.27	37.29	322.29
3	420	370	395	15.22	50.82	445.82
4	240	430	335	15.06	41.03	376.03
5	350	350	350	15.62	50.61	400.61
6	240	350	295	15.34	39.39	334.39
7	220	200	210	15.37	28.28	238.28
X	315.71			357.70		
D.S	72.48			61.91		
C.V,	22.957			17.307		

Tabla A.42 Dureza del culmo Testigo 1 sección apical

Testigo1A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	30	90	60	14.38	5.71	-
2	70	90	80	14.10	6.72	86.72
3	160	150	155	15.62	22.45	-
4	150	130	140	14.15	12.03	152.03
5	70	100	85	13.96	6.67	91.67
6	60	90	75	14.22	6.66	81.66
X	99.17			103.02		
D.S	38.83			28.52		
C.V,	39.155			27.680		

Tabla A.43 Dureza del culmo Testigo 2 sección basal

Testigo 2B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	330	360	345	15.60	49.65	394.65
2	370	400	385	15.60	55.46	440.46
3	340	360	350	16.10	57.36	407.36
4	300	330	315	15.86	48.59	363.59
5	350	350	350	16.15	58.09	408.09
6	360	380	370	15.78	55.88	425.88
7	350	340	345	16.08	56.32	401.32
8	360	330	345	16.19	57.78	402.78
X	280.50			405.52		
D.S	22.49			21.05		
C.V,	8.018			5.192		

Tabla A.44 Dureza del culmo Testigo 2 sección media

Testigo 2M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	200	200	200	15.32	26.57	226.57
2	180	210	195	15.46	27.00	222.00
3	210	160	185	15.44	25.44	210.44
4	170	150	160	15.21	20.56	180.56
5	190	120	155	15.21	19.93	174.93
6	190	190	190	15.30	25.09	215.09
X	108.5			204.93		
D.S	25.64			19.95		
C.V,	23.635			9.734		

Tabla A.45 Dureza del culmo Testigo 2 sección apical

Testigo 2A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	80	80	80	14.93	9.38	89.38
2	90	80	85	14.57	8.74	93.74
3	70	70	70	14.48	6.94	76.94
4	50	50	50	14.68	5.36	55.36
X	47.50			78.85		
D.S	13.64			14.90		
C.V,	28.707			18.895		

Tabla A.46 Dureza del culmo Testigo 3 sección basal

Testigo 3B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	490	320	405	16.58	74.12	479.12
2	310	370	340	16.77	64.93	404.93
3	480	440	460	16.47	82.24	542.24
4	480	430	455	16.51	82.05	537.05
5	600	520	560	16.20	94.11	654.11
6	460	280	370	16.38	64.78	434.78
7	450	440	445	16.32	76.85	521.85
8	480	440	460	16.22	77.59	537.59
9	360	320	340	16.71	64.01	404.01
X	383.50			501.74		
D.S	81.32			75.80		
C.V,	21.204			15.108		

Tabla A.47 Dureza del culmo Testigo 3 sección apical

Testigo 3A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	180	90	135	14.17	11.74	-
2	80	60	70	14.04	5.71	75.71
3	50	50	50	14.27	4.53	54.53
4	50	50	50	14.09	4.19	54.19
X	50.83			61.48		
D.S	41.81			10.07		
C.V,	82.258			16.375		

Tabla A.48 Dureza del culmo Testigo 4 sección basal

Testigo 4B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	480	640	560	16.60	103.05	663.05
2	520	400	460	23.40	209.71	669.71
3	360	480	420	16.93	82.89	502.89
4	400	640	520	17.04	104.89	624.89
5	440	440	440	16.66	82.08	522.08
6	500	400	450	16.62	83.11	533.11
7	320	400	360	16.48	64.44	424.44
8	440	360	400	16.55	72.75	472.75
9	440	360	400	17.43	86.82	486.82
10	600	520	560	17.17	115.74	675.74
X	457.00			557.55		
D.S	89.28			87.73		
C.V,	19.536			15.735		

Tabla A.49 Dureza del culmo Testigo 4 sección media

Testigo 4M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	200	170	185	15.39	25.09	210.09
2	290	300	295	15.78	44.59	339.59
3	180	190	185	15.98	29.42	214.42
4	230	240	235	15.62	34.02	269.02
5	200	280	240	15.57	34.25	274.25
6	120	120	120	15.53	16.94	136.94
7	200	190	195	15.83	29.91	224.91
8	80	250	165	15.54	23.37	188.37
9	280	240	260	15.77	39.21	299.21
10	80	200	140	15.44	19.24	159.24
X	202			231.60		
D.S	63.45			60.27		
C.V,	31.411			26.021		

Tabla A.50 Dureza del culmo Testigo 4 sección apical

Testigo 4A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	80	70	75	14.12	6.37	81.37
2	90	110	100	14.50	9.99	109.99
3	80	100	90	14.30	8.30	98.30
4	100	100	100	14.19	8.76	108.76
X	60.83			99.61		
D.S	12.69			11.46		
C.V,	20.854			11.510		

Tabla A.51 Dureza del culmo Testigo 5 sección basal

Testigo 5B	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	390	350	370	13,48	21,83	391,83
2	300	320	310	16,96	61,53	371,53
3	260	320	290	13,30	15,13	305,13
4	310	310	310	14,32	28,71	338,71
5	210	220	215	13,36	11,72	226,72
6	440	400	420	14,25	37,87	457,87
7	320	290	305	13,39	16,96	321,96
8	320	300	310	14,17	26,89	336,89
9	260	260	260	13,74	18,14	278,14
10	230	280	255	13,10	11,24	266,24
X	304,5			329,50		
D.S	57,57			63,34		
C.V.	18.908			19.224		

Tabla A.52 Dureza del culmo Testigo 5 sección media

Testigo 5M	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	180	190	185	22,66	78,86	263,86
2	400	160	280	21,60	107,48	387,48
3	300	220	260	18,97	72,50	332,50
4	200	180	190	17,45	41,42	231,42
5	280	280	280	19,07	79,14	359,14
6	260	260	260	22,14	105,49	365,49
7	200			16,49	35,90	235,90
8	160	240	200	21,70	77,62	277,62
9	160	220	190	15,09	23,46	213,46
10	200	320	260	17,58	58,01	318,01
X	210,50			298,49		
D.S	61,95			59,08		
C.V,	29.429			19.794		

Tabla A.53 Dureza del culmo Testigo 5 sección apical

Testigo 5A	D.E.1	D.E.2	Dprom	CH%	V.A.C.H.12%	A.C.H.12% D.E
1	120	220	170	15,22	21,88	191,88
2	220	320	270	15,46	37,36	307,36
3	320	400	360	15,15	45,38	405,38
4	200	160	180	14,29	16,46	196,46
5	200	200	200	15,82	30,53	230,53
6	160	240	200	15,84	30,73	230,73
7	240	400	320	15,93	50,29	370,29
8	350	440	395	13,93	30,56	425,56
9	120	400	260	14,73	28,41	288,41
10	280	360	320	16,93	63,12	383,12
X	267,50			302,97		
D.S	95,35			84,18		
C.V.	29.429			19.794		

Tabla A.54 Dureza de lado promedio de la especie *Guadua amplexifolia* tratada y sin tratar

	Acido Bórico-borax					Testigo			
	B	M	A	Prom		B	M	A	Prom
1	500.48	208.13	77.03	261.88	Testigo 1	565.08	357.70	103.02	341.93
2	381.33	213.12	90.95	228.47	Testigo 2	405.52	204.93	78.85	229.77
3	497.06	188.87	92.80	259.58	Testigo 3	501.74	-	61.48	281.61
4	358.03	238.16	98.83	231.68	Testigo 4	557.55	231.60	99.61	296.25
X	434.23	212.07	89.90	245.40	X	507.47	264.74	85.74	287.39
D.S.	65.08	17.58	7.98	15.39	D.S.	63.75	66.62	16.79	40.02
C.V.	14.99	8.29	8.88	6.27	C.V.	12.56	25.17	19.58	13.93
Licor negro									
	B	M	A	Prom					
2L	389.51	185.9	69.38	214.92					
3L	420.2	216.5	115.06	250.60					
4L	427.4	231.7	97.75	252.27					
X	412.36	211.36	94.07	239.26					
D.S.	16.42	19.06	18.83	17.23					
C.V.	3.98	9.02	20.02	7.20					

Tabla A.55 Dureza de lado promedio de la especie *Guadua angustifolia* tratada

	Acido borico-borax			
	B	M	A	Prom
5	284.55	239.55	239.07	254.39
6	408.24	274.18	164.27	282.23
7	427.10	316	150.60	297.74
X	373.29	276.41	184.65	278.12
D.S.	63.22	31.05	38.89	17.93
C.V.	16.94	11.23	21.06	6.45

• Ensayo de compresión perpendicular

Donde: P.v. = Peso verde

P.s. = Peso seco

E = Espesor

A = Ancho

Apro = Área de la probeta

Acomp = Área de compresión

C.M. = Carga máxima

CH% = Contenido de humedad

LP = Carga al límite proporcional

ELP = Esfuerzo al límite proporcional

V.A.CH.12% = Valor de ajuste al 12% de humedad

E.A.C.H. 12% = Esfuerzo al contenido de humedad de 12%.

✓ Tratamiento con ácido bórico-bórax

Tabla A.56 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 1 sección basal

1B	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M (kg)	CH%	LP (kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H .12%	E.A.C.H. 12%
1	85.9	76.2	2.252	4.736	10.67	23.92	2000	12.73	1400	58.54	2.35	60.89
2	61.9	54.7	2.09	3.817	7.98	19.28	1400	13.16	1400	72.63	4.64	77.27
3	81.5	72	2.55	4.321	11.02	21.82	1400	13.19	1000	45.83	3.01	48.84
4	82.5	72.6	2.229	4.294	9.57	21.68	1650	13.64	1000	46.12	4.15	50.27
5	76.3	67.1	2.83	4.265	12.07	21.54	1600	13.71	1000	46.43	4.37	50.80
6	81.7	71.4	2.043	4.554	9.30	23.00	1250	14.43	1000	43.48	5.80	49.28
7	80.1	70.5	2.034	4.817	9.80	24.33	1500	13.62	1000	41.11	3.66	44.76
8	77.4	67.9	2.194	4.03	8.84	20.35	1600	13.99	1400	68.79	7.53	76.32
9	99.2	87.4	2.251	5.173	11.64	26.12	1630	13.50	1200	45.94	3.79	49.73
10	72.2	63.4	1.974	3.976	7.85	20.08	1450	13.88	1000	49.80	5.15	54.95
						X	1548.00	13.585	1140.0	51.87	4.45	56.31
						D.S.	192.707	0.453	180.0	10.42	1.40	11.01
						C.V.	12.449	3.331	15.8	20.098	31.416	19.55

Tabla A.57 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas 1B

1B	Probeta									
Escalado(kg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200	85	45	27	50	31	35	31	75	24	42
400	124	79	68	90	57	90	60	148	45	71
600	170	119	104	130	88	150	98	210	80	105
800	206	177	149	173	128	212	138	275	122	140
1000	244	265	215	222	195	248	190	350	174	190
1200	271	405	337	290	280	300	253	420	230	260
1400	325	-	440	360	-	-	330	510	320	370
1600	424	-	-	500	-	-	450	660	430	-

Tabla A.58 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 1 sección media

1M	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	45,3	39,9	0,987	4,135	4,08	20,882	Se partieron		13,53		
2	54,4	48,1	1,167	3,811	4,45	19,246			13,10		
3	52,7	46,4	1,116	3,972	4,43	20,059			13,58		
4	58,9	51,9	1,033	4,938	5,10	24,937			13,49		
5	49,1	43,1	0,93	4,512	4,20	22,786			13,92		
6	44,8	39,2	1,07	3,759	4,02	18,983			14,29		
7	64,7	56,8	1,659	4,227	7,01	21,346			13,91		
8	57	50,3	1,071	4,387	4,70	22,154			13,32		
9	47,7	42	1,023	3,845	3,93	19,417			13,57		
10	53,8	47,5	1,034	3,642	3,77	18,392			13,26		
							X	12,27			

Tabla A.59 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 1 sección apical

1A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M (kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	40,9	35,9	0,894	3,953	3,53	19,963	200	10,02	13,93	1,06	-
2	43,1	37,6	0,925	3,595	3,33	18,155	570	31,40	14,63	4,54	-
3	43,7	38,4	0,854	3,71	3,17	18,736	350	18,68	13,80	1,85	20,53
4	37,8	33,4	0,921	3,721	3,43	18,791	240	12,77	13,17	0,82	13,60
5	53,6	46,8	0,916	3,412	3,13	17,231	560	32,50	14,53	4,52	-
6	38,2	33,5	0,939	3,132	2,94	15,817	240	15,17	14,03	1,69	16,87
							X	20.09	14.02	2.42	16.999
							D.S.	8.78	0.48	1.54	2.83
							C.V.	43.724	3.449	63.565	16.667

Nota: El guion indica que se desprecio el valor resultante, para obtener resultados más homogéneos

Tabla A.60 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 2 sección basal

2B	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%	
1	86,1	74,6	2,75	5,049	13,88	25,497	1600	15.42	1200	47.06	8.84	55.90	
2	95,3	82,7	2,665	5,257	14,01	26,548	1870	15.24	1000	37.67	6.70	44.37	
3	82	70,7	2,118	4,906	10,39	24,775	1050	15.98	800	32.29	7.07	39.36	
4	80,3	69,3	2,4	4,689	11,25	23,679	1120	15.87	800	33.78	7.20	40.98	
5	64,8	56,8	2,477	4,505	11,16	22,750	1430	14.08	1000	43.96	5.04	48.99	
6	76,4	66	3,18	4,688	14,91	23,674	1350	15.76	1000	42.24	8.73	50.97	
7	63,8	54,7	2,441	4,047	9,88	20,437	1250	16.64	800	39.14	9.98	49.13	
8	66,1	57,4	2,828	3,918	11,08	19,786	1220	15.16	800	40.43	7.02	47.45	
9	79,4	69	3,021	4,081	12,33	20,609	1500	15.07	1200	58.23	9.84	68.07	
							X	1376.67	15.47	955.56	41.65	7.83	49.47
							D.S.	241.569	0.675	157.135	7.325	1.534	8.125
							C.V.	17.547	4.364	16.444	17.588	19.606	16.42

Tabla A.61 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas 2B

2B	Probeta								
Escalado(kg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
200	75	54	55	42	95	55	46	44	65
400	135	90	95	103	190	140	98	98	120
600	196	140	170	194	310	230	160	148	185
800	270	190	250	250	460	355	247	220	252
1000	350	260	390	410	612	510	368	310	310
1200	430	355	-	-	750	710	480	550	430
1400	540	440	-						560
1600	680	510							-
1800	-	590	-						-

Tabla A.62 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 2 sección media

2M	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro(cm ²)	Ácomp(cm ²)	C.M(kg)	P,R(kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	39,5	34,4	1,064	3,809	4,05	19,24	100	5.20	14.83	0.81	-
2	41,7	36,2	1,26	4,006	5,05	20,23	2200	108.75	15.19	19.10	-
3	38,8	33,8	1,2	3,944	4,73	19,92	1000	50.21	14.79	7.71	-
4	37,6	32,8	1,104	3,959	4,37	19,99	210	10.50	14.63	1.52	12.03
5	39,5	34,5	0,966	4,365	4,22	22,04	280	12.70	14.49	1.74	14.44
6	39,1	33,2	0,959	3,817	3,66	19,28	160	8.30	17.77	2.63	10.94
7	40,6	34,9	1,027	4,265	4,38	21,54	80	3.71	16.33	0.89	-
8	33,4	29,1	1,038	3,731	3,87	18,84	160	8.49	14.78	1.30	9.79
9	43,5	38,5	1,07	4,076	4,36	20,58	190	9.23	12.99	0.50	9.73
10	39,6	34,4	1,082	4,09	4,43	20,65	200	9.68	15.12	1.66	11.34
X							486.67	24.12	15.09	4.02	11.38
D.S.							661.194	32.743	1.247	5.719	1.594
C.V.							135.862	135.738	8.261	142.17	14.01

Tabla A.63 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 2 sección apical

2A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro(cm ²)	Ácomp(cm ²)	C.M(kg)	P,R(kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. .12%	E.A.C.H. 12%
1	40,5	34,9	1,216	3,472	4,22	17,5336	200	11,41	16,05	2,54	13,94
2	41,5	34,8	1,161	4,084	4,74	20,6242	200	9,70	19,25	3,87	13,57
3	46,5	40,4	1,373	4,161	5,71	21,01305	280	13,33	15,10	2,27	15,60
4	44,6	38,5	1,314	4,055	5,33	20,47775	200	9,77	15,84	2,06	11,83
5	40,1	35	1,149	3,764	4,32	19,0082	180	9,47	14,57	1,34	-
6	35,3	29,5	1,064	3,826	4,07	19,3213	220	11,39	19,66	4,80	16,18
X							213.33	10.84	16.75	2.81	14.225
D.S.							31.972	1.362	1.980	1.166	1.547
C.V.							14.987	12.563	11.825	41.436	10.873

Tabla A.64 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 3 sección basal

3B	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	89,9	78,9	2,512	4,522	11,36	22,836	2200	13,94	600	26,27	2,81	29,08
2	103	90,7	2,763	4,529	12,51	22,871	1730	13,56	1200	52,47	4,51	56,97
3	91,7	80,3	2,59	4,429	11,47	22,366	1850	14,20	1000	44,71	5,40	50,11
4	90,6	79,6	2,591	4,466	11,57	22,553	2250	13,82	1600	70,94	7,10	78,04
5	112,5	99,1	3,141	4,859	15,26	24,538	1800	13,52	1200	48,90	4,09	53,00
6	106,5	93,4	2,78	4,834	13,44	24,412	1850	14,03	1200	49,16	5,48	54,63
7	109,4	95,5	2,544	5,066	12,89	25,583	2700	14,55	1600	62,54	8,79	71,33
8	91,6	79,7	3,11	4,035	12,55	20,377	3050	14,93	2600	127,60	20,57	-
9	87,1	76	2,634	4,4	11,59	22,220	1400	14,61	1000	45,00	6,45	51,45
10	87,5	76,2	2,928	4,041	11,83	20,40705	1600	14,83	800	39,20	6,10	45,30
						X	2043.00	14.20	1500	66.16		66.16
						D.S.	485.22	0.48	500	24.29		15.23
						C.V.	23.750	3.400	33.333	36.715		23.022

Tabla A.65 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas 3B

3B	Probeta										
Escalado(kg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
200	36	53	34	37	55	48	40	80	45	43	
400	60	105	67	60	93	97	83	120	85	93	
600	79	163	95	87	128	143	121	178	130	147	
800	125	220	125	110	168	175	165	206	180	209	
1000	170	273	155	141	190	220	204	249	240	292	
1200	230	330	203	170	235	261	250	290	320	360	
1400	290	410	250	203	296	313	288	335		460	
1600	370	510	340	235	360	390	320	385		545	
1800	430	-	470	290	480	490	360	445		-	
2000	510	-	-	360	-	-	410	510		-	
2200	-	-	-	470	-	-	480	570	-		
2400	-						560	620			
2600	-						710	680			
2800	-							850			

Tabla A.66 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 3 sección media

3M	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro(cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	47,1	41,6	1,099	4,237	4,66	21,40	240	11,22	13,22	0,75	11,97
2	48,5	42,8	1,292	4,096	5,29	20,68	320	15,47	13,32	1,12	16,59
3	52,8	46,7	1,264	4,249	5,37	21,46	320	14,91	13,06	0,87	15,78
4	47,5	41,7	1,197	3,9	4,67	19,70	410	20,82	13,91	2,19	23,00
5	43	38	1,354	3,785	5,12	19,11	160	8,37	13,16	0,53	8,90
6	51,6	45,9	1,205	4,089	4,93	20,65	255	12,35	12,42	0,28	12,63
7	49,8	44,1	1,301	4,191	5,45	21,16	200	9,45	12,93	0,48	9,93
8	49,6	43,9	1,095	4,32	4,73	21,82	190	8,71	12,98	0,47	9,18
9	43,2	38,2	1,139	4,169	4,75	21,05	295	14,01	13,09	0,84	14,85
10	43,8	37,6	1,279	3,824	4,89	19,31	370	19,16	16,49	4,73	23,89
						X	276	13,45	13,46	1,23	14,67
						D.S.	77,06	4,19	1,12	1,33	5,26
						C.V.	27.922	31.196	8.355	108.514	35.816

Tabla A.67 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 3 sección apical

3A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro(cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	51,2	45,3	0,862	4,471	3,85	22,579	205	9,08	13,02	0,51	-
2	34,4	30,2	0,921	3,555	3,27	17,953	180	10,03	13,91	1,05	11,08
3	43,5	38,3	0,826	3,705	3,06	18,710	210	11,22	13,58	0,97	12,20
4	37	32,4	0,839	3,563	2,99	17,993	175	9,73	14,20	1,18	-
5	38	33,4	0,92	3,739	3,44	18,882	220	11,65	13,77	1,14	12,79
6	44,5	39,6	0,886	3,828	3,39	19,331	120	6,21	12,37	0,13	-
						X	185	9.65	13.48	0.83	12.021
						D.S.	33.166	1.770	0.609	0.382	0.709
						C.V.	17.928	18.342	4.518	46.115	5.896

Tabla A.68 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 4 sección basal

4B	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M (kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	93,9	81	3,478	4,522	15,73	22,836	1800	15,93	800	35,03	7,56	42,60
2	73,7	64,4	2,733	4,529	12,38	22,871	1250	14,44	800	34,98	4,70	39,67
3	64,7	55,6	2,419	4,429	10,71	22,366	1650	16,37	1200	53,65	12,89	66,54
4	79	68,4	2,655	4,466	11,86	22,553	1750	15,50	1400	62,08	11,94	74,01
5	78,2	67,7	2,539	4,859	12,34	24,538	1400	15,51	1200	48,90	9,44	58,34
6	101,6	88,4	3,49	4,834	16,87	24,412	1200	14,93	1000	40,96	6,61	47,57
7	62	52,9	2,447	5,066	12,40	25,583	1350	17,20	600	23,45	6,71	30,16
8	71,8	62	2,553	4,035	10,30	20,377	1890	15,81	1600	78,52	16,44	-
9	74,1	64,8	2,385	4,4	10,49	22,220	1390	14,35	800	36,00	4,66	40,66
10	86,9	75,3	3,54	4,041	14,31	20,407	1200	15,41	600	29,40	5,51	-
						X	1488.00	15.54	1020.00	45.08	8.87	51.20
						D.S.	247.54	0.82	302.65	14.95	3.69	12.54
						C.V.	16.636	5.257	29.672	33.156	41.659	24.496

Tabla A.69 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas 4B

4B	Probeta									
Escalado(kg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200	40	92	97	105	145	125	72	79	115	150
400	140	203	213	234	275	270	175	158	210	340
600	260	340	365	349	395	420	296	250	305	590
800	400	470	470	465	525	590	450	355	390	730
1000	620	610	590	591	640	720	620	480	500	940
1200		840	710	730	770	910	805	590	750	
1400			870	880	930			700		
1600				1100				825		
1800								1000		

Tabla A.70 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 4 sección media

4M	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%	
1	55,4	48,6	1,267	4,563	5,78	23,04	240	10,42	13,99	1,14	11,56	
2	50,8	44,3	1,335	3,803	5,08	19,21	240	12,50	14,67	1,84	14,33	
3	74,3	64,6	1,354	5,101	6,91	25,76	320	12,42	15,02	2,06	14,48	
4	55,5	48,3	1,356	4,692	6,36	23,69	223	9,41	14,91	1,50	10,92	
5	57,4	49,8	1,901	4,085	7,77	20,63	200	9,69	15,26	1,74	11,43	
6	60	53	1,36	4,462	6,07	22,53	200	8,88	13,21	0,59	9,47	
7	64,2	56,5	1,487	5,19	7,72	26,21	370	14,12	13,63	1,26	15,38	
8	63,9	56,1	1,698	4,681	7,95	23,64	220	9,31	13,90	0,97	10,28	
9	63,4	55,8	1,348	4,525	6,10	22,85	320	14,00	13,62	1,25	15,25	
10	54,4	48	1,379	3,975	5,48	20,07	Comportamiento atípico		13,33	-	-	
							X	233,30	11,19	15,73	1,37	12,57
							D.S.	61,08	2,06	0,74	0,61	4,52
							C.V.	26.182	18.398	4.736	44.629	17.936

Tabla A.71 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 4 sección apical

4A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%	
1	51,1	44,6	1,617	3,983	6,44	20,114	320	15,91	14,57	2,25	18,16	
2	59,5	51,9	1,73	4,036	6,98	20,382	280	13,74	14,64	2,00	15,74	
3	46,9	40,2	1,42	3,953	5,61	19,963	320	16,03	16,67	4,11	20,14	
4	50,2	43,2	1,514	4,238	6,42	21,402	390	18,22	16,20	4,21	22,44	
5	49,8	43,5	1,268	3,844	4,87	19,412	134	6,90	14,48	0,94	7,85	
6	58	50,5	1,273	3,606	4,59	18,210	340	18,67	14,85	2,93	21,60	
							X	297,33	14,91	15,24	2,74	17,65
							D.S.	80,014	3,934	0,865	1,163	4,912
							C.V.	26.911	26.381	5.676	42.422	27.825

Tabla A.72 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 5 sección basal

5B	Pv (gr)	Ps (gr)	E (cm)	A (cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%	
1	50,1	42,2	1,49	4,201	6,259	21,215	820	18.72	600	28.282	10.45	38.74	
2	53	45,4	1,597	4,168	6,656	21,048	1150	16.74	900	42.759	11.15	53.91	
3	44	37,2	1,399	3,911	5,471	19,751	400	18.28	200	10.126	3.50	-	
4	53,3	46,2	1,906	4,319	8,232	21,811	1360	15.37	600	27.509	5.10	32.60	
5	54,8	45,5	1,525	4,07	6,207	20,554	1200	20.44	600	29.192	13.55	42.74	
6	52,4	43,8	1,426	4,145	5,911	20,932	1200	19.63	1000	47.773	20.06		
7	47,5	40,1	1,392	4,103	5,711	20,720	320	18.45	No se trazo gráfica	15.444	5.48	20.93	
8	43,3	35,6	1,343	3,666	4,923	18,513	320	21.63		17.285	9.15	26.44	
9	49,8	41,2	1,505	3,801	5,721	19,195	360	20.87		18.755	9.15	27.91	
10	46,6	39,9	1,393	3,785	5,273	19,114	Aplastada	16.79	-				
							X	792.222	18.904	433.333	26.347	9.733	34.752
							D.S.	417.71	1.89	256.58	11.85	4.75	10.41
							C.V.	52.727	9.976		44.968	48.782	29.950

Tabla A.73 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas 5B

5B	Probetas										
Escalado(kg)	1	2	3	Escalado(kg)	4	5	Escalado(kg)	6	7	8	9
100	95	35	110	200	110	155	100	45	No se pudo leer		
200	170	85	185	400	235	330	200	75			
300	245	154	270	600	400	470	300	115			
400	350	210	370	800	540	580	400	145			
500	460	270		1000	660	670	500	195			
600	550	325		1200	760		600	240			
700	610	365		1400			700	290			
800		420		1600			800	340			
900		475		1800			900	390			
1000		625		2000			1000	420			
								1100	490		

Tabla A.74 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 5 sección media

5M	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	34,1	29,3	1,089	3,774	4,110	19,06	110	5,772	16,38	1,39	7.16
2	34,5	29,6	1,045	3,873	4,047	19,56	120	6,135	16,55	1,54	7.67
3	37	31,4	0,956	4,039	3,861	20,40	30	1,471	17,83	0,47	-
4	34,4	29,4	0,953	3,732	3,557	18,85	150	7,959	17,01	2,19	10.15
5	37,8	32,4	1,0141	3,961	4,017	20,00	340	16,997	16,67	4,36	-
6	32,5	28	0,857	3,656	3,133	18,46	110	5,958	16,07	1,33	7.29
7	34,4	29,6	0,87	3,814	3,318	19,26	20	1,038	16,22	0,24	
8	33,6	28,7	0,875	3,637	3,182	18,37	120	6,534	17,07	1,82	8.36
9	30,2	26,2	1,231	3,583	4,411	18,09	no sirvió	-	15,27	-	-
10	33,1	28,3	0,987	3,66	3,612	18,48	140	7,575	16,96	2,07	9.64
X							126.667	6.604	18.448	1.713	8.379
D.S.							86.667	4.339	0.656	1.124	1.147
C.V.							68.421	65.703	3.555	65.615	13.688

Tabla A.75. Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 5 sección apical

5A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	21,7	18,4	0,723	3,847	2,781	19,427	30	1,544	17,93	0,50	2.05
2	24	20,5	0,621	3,874	2,406	19,564	230	11,756	17,07	3,28	-
3	21,3	18,3	0,575	3,933	2,261	19,862	50	2,517	16,39	0,61	3.13
4	22,2	18,9	0,676	3,843	2,598	19,407	30	1,546	17,46	0,46	2.01
5	22,8	19,3	0,642	3,92	2,517	19,796	40	2,021	18,13	0,68	2.70
X							63.3	3.2	14.5	0.9	2.472
D.S.							77.4	4.0	0.6	1.1	0.5
C.V.							122.142	122.454	4.306	117.970	18.906

Tabla A.76. Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 6 sección basal

6B	Pv (gr)	Ps (gr)	E (cm)	A (cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	53,9	50,2	1,459	3,709	5,411	18,730	2600	7.37	no			
2	57,5	50,5	1,65	3,71	6,122	18,736	1140	9.52	600	32.025	-4.36	27.66
3	54,8	48,3	2,172	3,752	8,149	18,948	1800	8.95	900	47.499	-7.98	39.52
4	70,7	66,7	1,782	4,201	7,486	21,215	850	6.00	600	28.282	-9.34	-
5	68,3	60,4	1,573	4,067	6,397	20,538	700	13.08	600	29.214	1.73	30.95
6	67,2	54,7	1,877	3,908	7,335	19,735	1200	22.85	800	40.536	24.19	-
7	69,3	58,8	1,995	4,295	8,569	21,690	1000	17.86	800	36.884	11.88	48.77
8	56	44,3	1,671	3,66	6,116	18,483	2000	26.41	no		0.00	-
9	61,9	49,7	2,026	3,56	7,213	17,978	940	24.55	700	38.936	26.87	-
10	61,3	49,2	2,024	3,95	7,995	19,948	1400	23.34	No			
						X	1375.714	18.459	714.286	36.197	6.143	36.725
						D.S.	567.275	7.287	112.486	6.363	13.183	8.190
							41.235	39.475		17.578	214.581	22.300

Tabla A.77 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas 6B

6B	Probetas											
Escalado(kg)	1	Escalado(kg)	2	3	4	5	Escalado(kg)	6	7	8	Escalado(kg)	9
200	210	100	45	45	85	74	200	143	71	136	100	110
400	360	200	125	90	155	133	400	265	155	210	200	210
600	470	300	190	145	200	190	600	370	275	283	300	275
800	580	400	230	175	305	243	800	482	395	369	400	325
1000	680	500	280	243	415	310	1000	600	550	480	500	375
1200	780	600	330	293	480	340	1200	765		570	600	430
1400	850	700	410	350	580	510	1400			670	700	480
1600	900	800	490	415	690		1600			800	800	580
1800		900	510	490			1800				900	630
2000		1000		510			2000				1000	
		1200		560								

Tabla A.78 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 6 sección media

6M	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	39,2	33,9	1,019	3,677	3,747	18.569	220	11.848	15.63	2.37	14.22
2	40,7	35,3	0,8	3,924	3,139	19.816	220	11.102	15.30	2.01	13.12
3	37	32,7	1,283	4,09	5,247	20.655	80	3.873	13.15	0.24	-
4	38,1	33,2	1,305	4,138	5,400	20.897	100	4.785	14.76	0.73	5.51
5	36,2	31,4	0,916	3,897	3,570	19.680	80	4.065	15.29	0.73	-
6	37,5	32,4	1,599	3,726	5,958	18.816	170	9.035	15.74	1.86	10.89
7	39,8	35,2	0,792	3,739	2,961	18.882	220	11.651	13.07	0.68	12.34
8	40,6	35,1	0,742	3,827	2,840	19.326	170	8.796	15.67	1.78	10.57
9	35,2	31,4	1,607	3,631	5,835	18.337	60	3.272	12.10	0.02	-
10	40,5	34,8	0,913	3,687	3,366	18.619	180	9.667	16.38	2.33	12.00
						X	150	7.810	14.709	1.275	11.234
						D.S.	60.66	3.27	1.35	0.84	2.61
						C.V.	40.442	41.902	9.181	65.713	23.194

Tabla A.79 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 6 sección apical

6A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. .12%
1	38,5	33,5	0,769	2,972	2,285	15,009	280	18,656	14,93	3,00	21,66
2	34,8	29,8	0,823	3,291	2,708	16,620	240	14,441	16,78	3,80	18,24
3	27,5	23,8	2,649	2,649	7,017	13,377	210	15,698	15,55	3,06	18,76
4	40,4	35	3,527	3,527	12,440	17,811	280	15,720	15,43	2,96	18,68
5	33,3	28,9	3,489	3,489	12,173	17,619	200	11,351	15,22	2,01	13,36
						X	242,000	15,173	15,581	2,967	18,141
						D.S.	33,705	2,360	0,635	0,567	2,678
						C.V.	13.928	15.554	4.075	19.098	14.765

Tabla A.80 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 7 sección basal

7B	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	68	58,2	1,722	3,91	6,733	19,746	1100	16,84	800	19,746	5,25	25,00
2	53,6	46,4	2,462	3,518	8,661	17,766	1420	15,52	1000	17,766	3,44	21,20
3	72,6	62,3	2,25	3,936	8,856	19,877	1450	16,53	1000	19,877	4,96	24,83
4	74,5	64,8	2,47	4,168	10,295	21,048	1300	14,97	800	21,048	3,44	24,49
5	61	52,7	2,456	3,571	8,770	18,034	1000	15,75	no			
6	59,5	52,2	1,518	4,135	6,277	20,882	2800	13,98	1400	20,882	2,28	23,16
7	57,8	50,4	1,961	4,031	7,905	20,357	1120	14,68	no			
8	57,5	49,4	2,215	3,886	8,607	19,624	1200	16,40	800	19,624	4,75	24,37
9	55,7	47,7	2,11	3,564	7,520	17,998	1100	16,77	800	17,998	4,72	22,72
10	61,3	52,4	1,92	4,564	8,763	23,048	-	16,98	-			
						X	1387,78	17,60	733,33	19,56	4,12	23,68
						D.S.	519,61	0,95	206,03	1,18	1,65	1,28
						C.V.	37.442	5.412	-	6.036	45.914	5.417

Tabla A.81 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas 7B

7B	Probeta								
Escalado(kg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9
200	115	160	107	80	210	135	110	170	83
400	210	280	160	130	310	270	200	335	167
600	330	395	240	200	410	380	315	460	270
800	470	520	325	265	560	485	440	630	370
1000	640	640	390	360	Se rompió	600	580	870	530
1200		860	500	460		700			
1400			610			780			
1600						900			

Tabla A.82 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 7M sección media

7M	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%	
1	31,4	27,4	0,655	3,63	2,378	18,332	220	12,001	14,60	1,72	13,72	
2	32,2	27,6	0,67	3,712	2,487	18,746	210	11,203	16,67	2,88	14,08	
3	32,6	28,1	0,649	4,088	2,653	20,644	210	10,172	16,01	2,25	12,42	
4	32,2	28,3	1,285	3,931	5,051	19,852	180	9,067	13,78	0,89	9,96	
5	30,3	26,5	0,638	3,791	2,419	19,145	160	8,357	14,34	1,08	9,43	
6	34	29,3	0,645	4,365	2,815	22,043	200	9,073	16,04	2,02	11,09	
7	34	29	0,683	4,056	2,770	20,483	210	10,253	17,24	2,96	13,21	
8	32,6	28	1,439	3,809	5,481	19,235	190	9,878	16,43	2,41	12,28	
9	30,2	26,3	0,624	3,611	2,253	18,236	210	11,516	14,83	1,79	13,31	
10	33	28,9	0,643	4,11	2,643	20,756	60	2,891	14,19	0,35	-	
							X	185	9.441	15.413	1.832	12.166
							D.S.	45	2.443	1.141	0.810	1.565
							C.V.	24.324	25.880	7.405	44.241	12.864

Tabla A.83 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo 7 sección apical

7A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%	
1	32	28	0,61	3,53	2,153	17,827	140	7,853	14,29	0,99	-	
2	29,1	25,7	0,589	3,281	1,933	16,569	220	13,278	13,23	0,90	14,18	
3	34	29,7	0,504	3,663	1,846	18,498	190	10,271	14,48	1,40	11,67	
4	Rota										-	
5	34,1	29,8	0,558	2,825	1,576	14,266	320	22,431	14,43	3,00	25,43	
6	33,5	29,4	0,6	2,931	1,759	14,802	280	18,917	13,95	2,02	20,94	
7	30,7	26,9	0,943	2,709	2,555	13,680	320	23,391	14,13	2,74	-	
							X	245.00	16.02	14.08	1.84	18.054
							D.S.	67.27	5.93	0.42	0.81	5.44
							C.V.	27.456	37.016	2.994	44.275	30.147

✓ Tratamiento con licor negro

Tabla A.84 Datos y resultados de compresión perpendicular de los culmos 2L y 3L, sección basal

BL	Pv (gr)	Ps (gr)	E (cm)	A (cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
2BL1	68,5	59,9	2,25	4,199	9,45	21,205	1200	14,36	1000	47,16	6,11	53,27
2BL2	42,9	37,7	2,478	3,331	8,25	16,822	1300	13,79	800	47,56	4,69	52,25
2BL3	54,3	47,4	2,674	3,698	9,89	18,675	110	14,56	800	42,84	6,02	48,86
2BL4	60,7	53,4	2,145	4,199	9,01	21,205	1200	13,67	800	37,73	3,47	41,19
2BL5	59,2	52,3	2,38	3,862	9,19	19,503	100	13,19	800	41,02	2,69	43,71
2BL6	51,5	45,3	2,363	3,522	8,32	17,786	1280	13,69	800,	44,98	4,17	49,15
3BL1	78,2	69	2,262	4	9,05	20,200	1450	13,33	1200	59,41	4,36	63,76
3BL2	80,9	71,1	2,563	4,301	11,02	21,720	1410	13,78	1200	55,25	5,42	60,67
3BL3	72,7	64,9	2,372	3,669	8,70	18,528	1230	12,02	1000	53,97	0,05	54,03
3BL4	65,7	57,9	2,389	3,665	8,76	18,50825	1450	13,47	1000	54,03	4,37	58,40
3BL5	76,6	68	2,427	3,673	8,91	18,549	1470	12,65	1000	53,91	1,92	55,83
X. 2BL	1030.00	13.88	833.33	43.55	4.53	48.07						
D. S. 2BL	420.91	0.46	74.54	3.46	1.25	4.33						
C.V.	40.865	3.285	8.944	7.952	27.663	9.012						
X. 3BL	1402.00	13.05	1080.00	55.31	3.22	58.54						
D. E. 3BL	88.18	0.64	97.98	2.11	1.96	3.45						
C.V.	6.290	4.873	9.072	3.806	60.724	5.895						

Tabla A.85 Datos y resultados de compresión perpendicular de los culmos 4L, sección basal

BL	Pv (gr)	Ps (gr)	E (cm)	A (cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
4BL1	66,9	58,8	2,371	3,49	8,27	17,625	1110	13,78	800	45,39	4,43	49,82
4BL2	75,4	66,2	3,234	3,873	12,53	19,559	1230	13,90	1000	51,13	5,34	56,46
4BL3	78,5	68,8	2,398	3,306	7,93	16,695	1050	14,10	800	47,92	5,53	53,45
4BL4	54	47,6	1,96	3,381	6,63	17,074	2050	13,45	1800	105,42	8,38	-
X.	1360.00	13.80	1100.00	62.47	5.92	53.25						
D.S.	403.61	0.24	412.31	24.89	1.48	2.71						
C.V.	29.677	1.718	37.483	39.838	24.998	5.098						

Tabla A.86 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas 2BL y 3BL

BL (Kg)	Probeta										
Escalado	2BL1	2BL2	2BL3	2BL4	2BL5	2BL6	3BL1	3BL2	3BL3	3BL4	3BL5
200	35	110	40	30	55	50	45	57	135	46	45
400	70	220	120	90	115	130	80	110	220	92	110
600	125	350	220	170	210	230	115	159	320	144	180
800	200	470	380	280	325	340	156	210	415	207	269
1000	305	640	550	430	480	495	199	270	515	280	369
1200	460			600		630	250	340	670	380	490
1400							410	470		480	610

Tabla A.87 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas 4BL

BL (Kg)	Probeta			
Escalado	4BL1	4BL2	4BL3	4BL4
200	80	250	120	61
400	165	410	240	135
600	256	550	380	220
800	340	700	550	280
1000	490	820	820	365
1200		1030		410
1400				460
1600				510
1800				590
2000				740

Tabla A.88 Datos y resultados de compresión perpendicular de probetas 2L y 3L sección media

Vara L	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
2ML1	42,8	38	1,011	3,895	3,94	19.67	140	7.12	12.63	0.25	-
2ML2	38,8	34,6	1,886	3,7	6,98	18.69	750	40.14	12.14	0.31	40.45
2ML3	39,8	35,3	1,84	3,76	6,92	18.99	600	31.60	12.75	1.30	32.90
2ML4	38,3	33,7	1,007	3,669	3,69	18.53	750	40.48	13.65	3.67	44.15
3ML1	50,2	44,1	1,212	3,563	4,32	17.99	240	13.34	13.83	1.34	14.68
3ML2	45	39,8	2,036	3,366	6,85	17.00	240	14.12	13.07	0.83	14.95
3ML3	49	43,3	1,165	3,649	4,25	18.43	190	10.31	13.16	0.66	10.97
3ML4	45,1	39,8	1,087	3,69	4,01	18.63	120	6.44	13.32	0.47	-
3ML5	46,4	41	1,201	3,574	4,29	18.05	160	8.86	13.17	0.57	9.44
3ML6	49,9	44,5	1,146	3,823	4,38	19.31	170	8.81	12.13	0.07	8.87
						X 2ML	560.00	29.83	12.79	1.38	39.17
						D.S. 2ML	250.10	13.589	0.546	1.388	4.682
						C.V. 2ML	44.661	45.550	4.265	100.428	11.955
						X. 3ML	186.67	10.31	13.11	0.66	11.78
						D.S. 3ML	43.08	2.677	0.504	0.386	2.572
						C.V. 3ML	23.077	25.962	3.843	58.908	21.828

Tabla A.89 Datos y resultados de compresión perpendicular de probetas 4L y 7L sección media

Vara L	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
4ML1	47,2	41,7	1,496	3,646	5,45	18,41	520	28,2420	13,19	1,85	30,09
4ML2	57,2	50,2	1,403	4,403	6,18	22,24	400	17,9895	13,94	1,92	19,91
4ML3	50,4	44,4	1,416	3,951	5,59	19,95	680	34,0809	13,51	2,84	36,92
4ML4	50,2	43,9	1,471	3,67	5,40	18,53	120	6,4748	14,35	0,84	7,31
4ML5	47,2	42	1,427	3,511	5,01	17,73	No valor		12,38	0,00	0,00
4ML6	60,1	53,4	1,375	3,804	5,23	19,21	120	6,2467	12,55	0,19	6,43
						Prom. 4ML	368,00	18,61	15,99	1,53	20,13
						Des. Est. 4ML	204,69	10,508	0,438	0,708	11,162
						Prom. 7ML	120,00	6,45	17,33	0,30	6,74

Tabla A.90 Datos y resultados de compresión perpendicular de las secciones apicales tratadas con licor negro (2L, 3L y 4L)

Vara L	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
2AL1	41,2	36,2	1,438	3,854	5,54	19,4627	70,00	3,60	13,81	0,36	3,96
2AL2	42	37	1,428	3,893	5,56	19,65965	50,00	2,54	13,51	0,21	2,75
3AL1	39,4	34,7	1,214	3,48	4,22	17,574	120,00	6,83	13,54	0,58	7,41
3AL2	38,5	34,1	1,181	3,462	4,09	17,4831	150,00	8,58	12,90	0,43	9,01
4nAL1	50,2	44,6	1,304	4,009	5,23	20,24545	360,00	17,78	12,56	0,54	18,33
4AL2	35,9	31,8	1,845	3,829	7,06	19,33645	120,00	6,21	12,89	0,30	6,51

✓ Testigos

Tabla A.91 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 1, sección basal

Tes. 1B	Pv (gr)	Ps (gr)	E (cm)	A (cm)	Apro (cm ²)	Ácom (cm ²)	C.M (kg)	CH%	LP (kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	85.4	71.8	2.2	85.4	11.71	26.84	1600.00	18.91			No	
2	97.4	83.7	2.0	97.4	9.82	24.55	1200.00	16.47	800.00	32.58	8.02	40.60
3	89.8	70.8	2.1	89.8	10.56	25.88	1040.00	26.75	600.00	23.18	18.81	42.00
4	73.9	63.5	2.2	73.9	10.56	24.45	840.00	16.34	600.00	24.54	5.86	30.40
5	86.5	74.3	2.0	86.5	8.80	22.63		16.53			No	
6	81.8	70.2	1.9	81.8	9.45	25.46	960.00	16.58	800.00	31.42	7.91	39.33
7	82.7	77.2	1.9	82.7	11.01	28.76	960.00	7.23	600.00	20.86	-5.47	15.39
8	96.0	82.5	2.1	96.0	11.66	28.66	1200.00	16.41			No	
						X	1114.29	16.90	680.00	26.52	7.03	33.54
						D.S.	232.68	4.94	97.98	4.64	7.72	9.94
						C.V.	20.88	29.25		17.51	109.92	29.63

Tabla A.92 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas Testigo 1B

Testigo 1B	Probeta							
Escalado(kg)	1	2	3	4	5	6	7	8
200	150	62	70	67	No	45	105	125
400	220	125	150	150		112	265	240
600	260	215	270	280		195	465	400
800	390	300	410	430		305	770	540
1000	430	520	540			440		650
1200	490							
1400	570							

Tabla A.93 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 1, sección media

Tes. 1M	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M (kg)	PR (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	58.85	50.99	1.116	4.783	5.338	24.154	Se partieron		15.41		
2	55.63	48.26	1.171	4.977	5.828	25.134		15.27			
3	59.59	51.72	1.054	5.161	5.440	26.063		15.22			
4	63.94	55.57	1.12	5.321	5.960	26.871		15.06			
5	63.23	54.69	0.885	5.4	4.779	27.270		15.62			
6	64.82	56.2	0.877	5.559	4.875	28.073		15.34			
7	70.72	61.3	0.844	5.51	4.650	27.826		15.37			
						X		15.316			

Tabla A.94 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 1, sección apical

Tes. 1A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	36.03	31.5	0.959	3.302	3.167	16.675	250	14.992	14.38	1.96	16.96
2	32.61	28.58	1.087	3.003	3.264	15.165	170	11.210	14.10	1.30	12.51
3	43.3	37.45	0.882	3.873	3.416	19.559	350	17.895	15.62	3.56	21.46
4	42.76	37.46	0.829	3.854	3.195	19.463	300	15.414	14.15	1.82	17.24
5	33.06	29.01	0.995	3.026	3.011	15.281	140	9.162	13.96	0.99	-
6	35.66	31.22	0.95	3.315	3.149	16.741	220	13.142	14.22	1.61	14.75
						X	238.333	13.636	14.406	1.873	16.580
						D.S.	71.98	2.87	0.56	0.82	2.98
						C.V.	30.200	21.020	3.874	43.909	17.959

Tabla A.95 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 2, sección basal

Tes. 2B	Pv (gr)	Ps (gr)	E (cm)	A (cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M (kg)	CH%	LP (kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	69.5	60.2	2.225	5.224	11.623	26.381	950	15.60	600	22.743	4.50	27.24
2	79.7	68.97	1.952	5.324	10.392	26.886	1050	15.60	800	29.755	5.89	35.65
3	77.1	66.47	2.05	5.461	11.195	27.578	950	16.10	600	21.756	4.90	26.66
4	67.4	58.21	2.291	5.237	11.998	26.447	840	15.86	600	22.687	4.81	27.50
5	75.5	65.08	1.954	5.525	10.796	27.901	800	16.15	600	21.504	4.91	26.41
6	84.0	72.58	2.026	5.6	11.346	28.280	830	15.78	600	21.216	4.41	25.62
7	72.6	62.62	2.422	5.094	12.338	25.725	700	16.08	600	23.324	5.24	28.56
8	81.5	70.18	2.135	5.695	12.159	28.760	700	16.19	400	13.908	3.20	17.11
						X	852.500	15.918	600.00	22.112	4.733	26.844
						D.S.	116.16	0.23	100.00	4.02	0.72	4.71
						C.V.	13.626	1.425		18.175	15.249	17.546

Tabla A.96 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas Testigo 2B

Testigo 2B	Probeta							
Escalado(kg)	1	2	3	4	5	6	7	8
200	140	92	85	145	110	60	80	155
400	295	200	210	287	295	195	200	340
600	470	360	610	480	460	340	430	810
800	850	540	1050	830	640	745	710	
1000		830						

Tabla A.97 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 2, sección media

2M	Pv (gr)	Ps (gr)	E (cm)	A (cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P.R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	49	42.49	0.959	4.677	4.485	23.619	300	12.702	15.32	2.32	15.02
2	55.56	48.12	1.085	4.910	5.327	24.796	600	24.198	15.46	4.61	-
3	46.36	40.16	0.968	4.533	4.388	22.892	300	13.105	15.44	2.48	15.58
4	44.61	38.72	1.034	4.632	4.789	23.392	300	12.825	15.21	2.27	15.09
5	54.07	46.93	1.093	5.019	5.486	25.346	350	13.809	15.21	2.44	16.25
6	52.07	45.16	1.031	4.957	5.111	25.033	-	-	15.30	-	-
						X	370.000	15.328	15.329	2.822	15.487
						D.S.	116.62	4.45	0.10	0.90	0.49
						C.V.	31.519	29.043	0.636	31.729	3.171

Tabla A.98 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 2, sección apical

Tes. 2A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P.R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	45.57	39.65	1.357	4.123	5.595	20.821	200	9.606	14.93	1.55	11.15
2	43.72	38.16	0.846	4.118	3.484	20.796	300	14.426	14.57	2.04	16.47
3	40.56	35.43	1.300	3.989	5.186	20.144	150	7.446	14.48	1.02	-
						X	216.667	10.493	14.665	1.534	13.810
						D.S.	62.36	2.92	0.17	0.42	2.66
						C.V.	28.782	27.807	1.152	27.252	19.231

Tabla A.99 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 3, sección basal

Tes. 3B	Pv (gr)	Ps (gr)	E (cm)	A (cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	76.45	65.58	2.387	4.612	11.009	23.291	1400	16.58	1200	51.523	12.96	64.49
2	106.65	91.33	2.309	4.867	11.238	24.578	1300	16.77	1000	40.686	10.68	51.37
3	68.95	59.2	1.84	4.866	8.953	24.573	2050	16.47	1600	65.111	16.01	81.12
4	83.49	71.66	2.382	5.053	12.036	25.518	1020	16.51	800	31.351	7.77	39.12
5	89.87	77.34	2.433	4.714	11.469	23.806	1250	16.20	1000	42.007	9.71	51.71
6	95.72	82.25	2.384	4.794	11.429	24.210	875	16.38	600	24.783	5.97	-
7	66.08	56.81	2.023	4.626	9.358	23.361	1800	16.32	1400	59.928	14.23	74.16
8	78.4	67.46	2.406	4.723	11.364	23.851	1060	16.22	800	33.541	7.78	41.32
						X	1344.375	16.461	1050.000	43.616	10.639	57.613
						D.S.	375.15	0.19	312.25	13.27	3.28	14.90
						C.V.	27.905	1.160		30.421	30.856	25.866

Tabla A.100 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas Testigo 3B

Testigo 3B Escalado(kg)	Probeta								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
200	90	65	30	100	115	87	115	90	No
400	180	150	65	200	210	190	250	130	
600	290	280	105	320	320	360	330	250	
800	440	460	155	460	430	720	380	400	
1000	590	610	205	610	550		475	570	
1200	740	910	260		770		575		
1400	940		320				630		
1600			380				730		
1800			480						

Tabla A.101 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 3, sección apical

Tes. 3A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	PR (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	39.15	34.29	0.901	3.629	3.270	18.326	200	10.913	14.17	1.30	12.22
2	37.77	33.12	0.883	3.222	2.845	16.271	200	12.292	14.04	1.38	13.67
3	41.41	36.24	0.884	3.665	3.240	18.508	250	13.507	14.27	1.68	
4	37.16	32.57	0.91	3.3	3.003	16.665	150	9.001	14.09	1.04	10.04
						X	200.000	12.237	14.143	1.351	11.975
						D.S.	35.36	1.68	0.09	0.23	1.49
						C.V.	17.678	13.690	0.604	17.072	12.471

Tabla A.102 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 4, sección basal

Tes. 4B	Pv (gr)	Ps (gr)	E (cm)	A (cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	120.53	103.37	3.325	4.500	14.963	22.725	1730	16.60	800	35.204	8.91	44.11
2	123.57	100.14	4.883	4.254	20.772	21.483	-	23.40	-			
3	86.04	73.58	2.834	4.988	14.136	25.189	1280	16.93	1000	39.699	10.77	50.47
4	134.81	115.18	4.802	4.459	21.412	22.518	-	17.04	-			
5	69.45	59.53	1.729	4.624	7.995	23.351	-	16.66	-			
6	78.67	67.46	1.877	4.843	9.090	24.457	3000	16.62	2200	89.953	22.84	
7	79.11	67.92	1.960	4.963	9.727	25.063	1520	16.48	1200	47.879	11.78	59.66
8	69.87	59.95	1.834	4.482	8.220	22.634	1320	16.55	1200	53.017	13.26	66.28
9	80.66	68.69	2.006	4.871	9.771	24.599	1690	17.43	1200	48.783	14.56	63.34
10	87.02	74.27	2.008	5.158	10.357	26.048	2000	17.17	1800	69.103	19.64	88.74
						X	1791.42	17.487	1280.0	33.219	8.446	55.13
						D.S.	544.54	1.99	449.94	29.06	7.71	14.10
						C.V.	30.397	11.389		87.493	91.246	25.58

Tabla A.103 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas Testigo 4B

Testigo 4B	Probeta										
	Escalado(kg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200	30	No	No	210	No	No	80	90	50	52	90
400	160			350			140	160	90	110	200
600	260			450			195	225	140	175	290
800	305			560			250	280	205	240	380
1000	480			690			310	350	295	310	450
1200	580			890			380	440	380	380	530
1400	700						440	540	530	530	600
1600	800						500				680
1800							560				750
2000							630				900
2200											
2400						880					

Tabla A.104 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 4, sección media

Tes. 4M	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P.R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	64.78	56.14	1.459	4.596	6.706	23.210	600	25.851	15.39	4.82	-
2	57.6	49.75	1.360	4.747	6.456	23.972	400	16.686	15.78	3.47	-
3	60.11	51.83	1.259	4.662	5.869	23.543	200	8.495	15.98	1.86	10.35
4	62.92	54.42	1.349	5.167	6.970	26.093	600	22.994	15.62	4.58	-
5	68.37	59.16	1.569	4.800	7.531	24.240	300	12.376	15.57	2.43	14.80
6	64.28	55.64	1.285	4.870	6.258	24.594	200	8.132	15.53	1.58	9.71
7	62.18	53.68	1.315	4.522	5.946	22.836	200	8.758	15.83	1.85	10.61
8	70.33	60.87	1.523	4.661	7.099	23.538	200	8.497	15.54	1.65	10.15
9	83.47	72.1	1.490	4.870	7.256	24.594	400	16.264	15.77	3.37	-
10	66.78	57.85	1.206	4.905	5.915	24.770	600	24.223	15.44	4.58	-
						X	370	15.228	15.644	3.018	11.125
						D.S.	167.63	6.70	0.18	1.24	1.86
						C.V.	45.306	43.967	1.140	41.166	16.748

Tabla A.105 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 4, sección apical

Tes. 4A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P.R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	40.56	35.54	1.106	3.207	3.547	16.195	100	6.175	14.12	0.72	6.90
2	65.39	57.11	1.421	4.165	5.918	21.033	50	2.377	14.50	0.33	-
3	59.61	52.15	1.665	3.749	6.242	18.932	100	5.282	14.30	0.67	5.95
4	42.25	37.00	1.143	3.165	3.618	15.983	-	-	14.19	-	-
						X	83.333	4.611	14.279	0.573	6.424
						D.S.	23.57	1.62	0.14	0.18	0.47
						C.V.	28.284	35.158	0.994	30.600	7.353

Tabla A.106 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 5, sección basal

Tes. 5B	Pv (gr)	Ps (gr)	E (cm)	A (cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	CH%	LP(kg)	ELP (kg/cm ²)	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%	
1	48	42,3	1,223	4,119	5,038	20,801	600	13,48		28,845	2.34		
2	46,2	39,5	1,926	4,022	7,746	20,311	-	16,96	-	-	-	-	
3	52,8	46,6	1,267	4,213	5,338	21,276	950	13,30	300	14,1006	1.01	15.11	
4	55,1	48,2	1,16	4,707	5,460	23,770	1430	14,32	400	16,8277	2.14	18.97	
5	50,9	44,9	1,598	4,805	7,678	24,265	450	13,36	300	12,3634	0.93	13.29	
6	51,3	44,9	1,06	4,115	4,362	20,781	250	14,25	No valores	12,030	1.49	13.52	
7	39,8	35,1	1,554	3,781	5,876	19,094	320	13,39		16,759	1.28	18.04	
8	41,9	36,7	1,532	3,845	5,891	19,417	340	14,17		17,510	2.09	19.60	
9	48	42,2	1,36	4,07	5,535	20,554	320	13,74		15,569	1.49	17.06	
10	58,7	51,9	1,52	4,889	7,431	24,689	320	13,10		12,961	0.79	13.75	
						X	553.3	15.6			16.3	1.5	16.168
						D.S.	371.124	1.066			4.825	0.537	2.403
						C.V.	67.071	6.852			29.550	35.603	14.863

Tabla A.107 Datos para el trazado de la curva carga vs deformación de probetas Testigo 5B

Testigo5B	Probeta									
Escalado(kg)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
200	Se partió		150	195	109	No lecturas				
400			220	285	210					
600			320	480	320					
800			460	560	470					
1000			570	610						
1200			610	660						
1400										
1600										
1800										
2000										
			Cada cien		Cada cien					

Tabla A.108 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 5M sección media

Tes. 5M	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	31,4	25,6	0,835	4,012	3,350	20,261	200	9,871	22,66	5,79	-
2	25,9	21,3	0,804	3,74	3,007	18,887	40	2,118	21,60	1,12	3,24
3	37	31,1	0,725	4,256	3,086	21,493	120	5,583	18,97	2,14	7,72
4	35	29,8	0,831	4,004	3,327	20,220	80	3,956	17,45	1,19	5,14
5	30,6	25,7	0,9	3,69	3,321	18,635	150	8,050	19,07	3,13	11,18
6	34,2	28	0,845	4,532	3,830	22,887	160	6,991	22,14	3,90	10,89
7	32,5	27,9	0,833	4,238	3,530	21,402	-		16,49	0,00	0,00
8	28,6	23,5	0,75	3,797	2,848	19,175	60	3,129	21,70	1,67	4,80
9	26,7	23,2	0,771	3,671	2,830	18,539	80	4,315	15,09	0,73	5,05
10	30,1	25,6	0,814	4,011	3,265	20,256	30	1,481	17,58	0,45	-
						X	102,2	5,055	21,415	2,235	7,290
						D.S.	55,13	2,65	2,50	1,70	4,55
						C.V.	53.933	52.362	11.683	73.493	27.811

Tabla A.109 Datos y resultados de compresión perpendicular del culmo Testigo 5 sección apical

Tes. 5A	Pv(gr)	Ps(gr)	E(cm)	A(cm)	Apro (cm ²)	Ácomp (cm ²)	C.M(kg)	P,R (kg/cm ²)	CH%	V.A.C.H. 12%	E.A.C.H. 12%
1	26,5	23	0,679	4,069	2,763	20,548	160	7,786	15,22	1,38	9,16
2	23,9	20,7	0,659	4,019	2,649	20,296	80	3,942	15,46	0,75	4,69
3	22,8	19,8	0,841	3,904	3,283	19,715	120	6,087	15,15	1,06	7,14
4	23,2	20,3	0,623	4,09	2,548	20,655	40	1,937	14,29	0,24	-
5	22,7	19,6	0,599	3,785	2,267	19,114	80	4,185	15,82	0,88	5,06
6	23,4	20,2	0,85	3,977	3,380	20,084	40	1,992	15,84	0,42	-
7	26,2	22,6	0,632	4,063	2,568	20,518	90	4,386	15,93	0,95	5,33
8	27,8	24,4	0,61	3,791	2,313	19,145	90	4,701	13,93	0,50	5,20
9	25,7	22,4	0,853	4,016	3,426	20,281	60	2,958	14,73	0,44	-
10	22,1	18,9	0,648	4,001	2,593	20,205	80	3,959	16,93	1,07	5,03
						X	84	4,193	15,330	0,769	4,963
						D.S.	34,117	1,684	0,829	0,341	1,984
						C.V.	40.616	40.169	5.410	44.369	25.343

Tabla A.110 Valores promedio de resistencia a la compresión de la especie *Guadua amplexifolia*, tratada y sin tratar

	Acido borico-borax			Prom		Testigo			Prom
	B	M	A			B	M	A	
1	56.312		17.00	36.66	Testigo 1	33.54		16.58	25.06
2	49.470	11.38	14.22	25.02	Testigo 2	26.84	15.49	13.81	18.71
3	66.161	14.67	12.02	30.95	Testigo 3	57.61		11.98	34.79
4	51.202	12.57	17.65	27.14	Testigo 4	55.13	11.12	6.42	24.23
X	55.79	12.87	15.22	27.96	X	43.28	13.31	12.20	22.93
D.S.	6.50	1.36	2.25	4.42	D.S.	13.33	2.18	3.71	5.79
C.V.	11.65	10.59	14.80	15.81	C.V.	30.80	16.39	30.45	25.25
Licor negro					Testigo				
	B	M	A	Prom		B	M	A	Prom
2L	48.07	39.17		43.62	Testigo 2	26.84	15.49	13.81	18.71
3L	58.54		8.21	33.37	Testigo 3	57.61		11.98	34.79
4L	53.25	28.97	12.42	31.55	Testigo 4	55.13	11.12	6.42	24.23
X	53.29	34.07	10.31	32.56	X	46.53	13.31	10.74	23.52
D.S.	4.27	5.10	2.11	5.31	D.S.	13.96	2.18	3.14	6.67
C.V.	8.02	14.96	20.42	16.32	C.V.	29.99	16.39	29.25	28.36

Tabla A.111 Valores promedio de resistencia a la compresión de la especie *Guadua angustifolia*, tratada con acido borico-borax

	B	M	A	Prom
5	26.35	6.60	2.47	11.81
6	36.20	7.81	15.17	19.73
7	19.56	9.44	16.02	15.01
X	27.37	7.95	11.22	15.51
D.S.	6.83	1.16	6.20	3.25
C.V.	24.95	14.62	55.22	20.96

• Datos de absorción y retención

Tabla A.112 Datos de absorción para la solución de ácido bórico-bórax

Culmo	Pv (gr)	Pf (gr)	L(cm)	Di(cm)	De(cm)	Vi (cm ³)	Ve (cm ³)	V (cm ³)	V (m ³)	Absorción (kg/m ³)	Ret(Kg sal/m ³)
1	3.900	4.200	75.000	2.928	9.02	505.00	4792.53	4287.53	0.0043	69.9703	3.499
	1.380	1.600	75.000	4.728	7.94	1316.76	3713.58	2396.82	0.0024	91.7882	4.589
	0.527	0.620	75.000	1.22	2.71	87.67	432.60	344.93	0.0003	268.7502	13.438
2	3.400	3.900	75.000	4.399	8.19	1139.88	3951.12	2811.24	0.0028	177.8578	8.893
	1.340	1.710	75.000	3.966	7.48	926.53	3295.76	2369.23	0.0024	156.1687	7.808
	0.640	0.779	75.000	1.35	3.87	107.35	882.21	774.86	0.0008	179.5163	8.976
3	4.540	5.140	75.000	1.691	9.624	168.44	5455.86	5287.42	0.0053	113.4768	5.674
	1.950	2.150	75.000	6.012	8.832	2129.07	4594.84	2465.77	0.0025	81.1106	4.056
	0.580	0.789	75.000	2.246	4.791	297.15	1352.09	1054.94	0.0011	198.0209	9.901
4	4.440	4.700	75.000	4.417	10.25	1149.23	6188.71	5039.48	0.0050	51.5927	2.580
	2.400	2.900	75.000	6.107	9.63	2196.89	5462.67	3265.78	0.0033	153.1028	7.655
	0.940	1.200	75.000	2.505	5.28	369.63	1642.18	1272.55	0.0013	204.3147	10.216
6	1.450	1.600	50.000	3.006	7.273	354.85	2077.25	1722.40	0.0017	87.0877	4.354
	0.600	0.700	50.000	3.8	6.461	567.06	1639.31	1072.25	0.0011	93.2620	4.663
	0.300	0.450	50.000	1.712	4.151	115.10	676.65	561.56	0.0006	267.1152	13.356
7	1.739	2.100	50.000	3.822	7.05	573.64	1951.82	1378.17	0.0014	261.5788	13.079
	0.580	0.680	50.000	5.112	6.613	1026.23	1717.35	691.12	0.0007	144.6923	7.235
	0.478	0.530	50.000	2.906	3.919	331.63	603.13	271.50	0.0003	191.5271	9.576

Tabla A.113 Resultados promedio de absorción y retención para la solución de ácido bórico-bórax

	Retencion (kg sal/m ³)		Absorción(kg sol/m ³)	
	<i>G. amplexifolia</i>	<i>G. angustifolia</i>	<i>G. amplexifolia</i>	<i>G. angustifolia</i>
B	5.1612	8.7167	103.2244	174.3333
M	6.0271	5.9489	120.5426	118.9772
A	10.6325	11.4661	212.6505	229.3212
Prom	7.2736	8.7105	145.4725	174.2105

Tabla A.114 Datos de absorción para la solución de licor negro

Culmo	Pv (gr)	Pf (gr)	L(cm)	Di(cm)	De(cm)	Vi (cm ³)	Ve (cm ³)	V (cm ³)	V(m ³)	Absorción (kg/m ³)	Ret(Kg sol/m ³)
2	345,6	441,000	15,000	4,399	8,19	227,98	790,22	562,25	0,0006	169,6763	20,4
	195,4	290,600	15,000	3,966	7,48	185,31	659,15	473,85	0,0005	200,9090	24,1
	120	150,200	15,000	1,35	3,87	21,47	176,44	154,97	0,0002	194,8739	23,4
3	408,3	510,900	15,000	1,691	9,624	33,69	1091,17	1057,48	0,0011	97,0227	11,6
	378,2	426,800	15,000	6,012	8,832	425,81	918,97	493,15	0,0005	98,5494	11,8
	103,7	121,700	15,000	2,246	4,791	59,43	270,42	210,99	0,0002	85,3130	10,2
4	448	550,300	15,000	4,417	10,25	229,85	1237,74	1007,90	0,0010	101,498637	12,2
	304	392,800	15,000	6,107	9,63	439,38	1092,53	653,16	0,0007	135,9553	16,3
	99	135,600	15,000	2,505	5,28	73,93	328,44	254,51	0,0003	143,8061	17,3

Tabla A.115 Datos para análisis espectrofotométrico

Muestras		Patrones	
Tiempo(h)	Absorbancia	C(mgr/lts)	A
0	0,968	0	1,2
3	1,036	0,02	1,03
8,5	1,227	0,03	-0,19
24	1,156	0,04	-0,282
26,5	1,668	0,05	-0,476
32,5	1,517		
79,5	1,114		
119	1,3		
123,5	1,18		
147	1,06		