

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**PROGRAMA DE EDUCACIÓN CONTINUADA**  
**DIPLOMADO**  
**“SILVICULTURA Y MANEJO**  
**POSTCOSECHA DE LA GUAUDA”**  
**POR: Jorge Augusto Montoya Arango**  
**Fecha: 20 al 24 de junio de 2005**

**MODULO 1:**

**TÉCNICAS DE PRESERVACIÓN DE LA GUADUA**

**CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DEL BAMBÚ**

Las características que tiene la estructura anatómica del bambú determinan sus propiedades físicas y mecánicas en su comportamiento durante su tratamiento y procesamiento de preservación, por esta razón es importante su conocimiento para poder determinar un buen tipo de tratamiento de acuerdo a sus tipos de aplicación y usos. La estructura está conformada por nodos y paredes cilíndricas denominados internodos o canutos con espesores variables, aunque existen algunas especies que son totalmente macizas internamente como el *Dendrocalamus strictus* (Liese *et al.*, 2003), su estructura celular está orientada en forma longitudinal formando los haces vasculares o vasos por donde se desplazan sus líquidos de abajo hacia arriba y viceversa, desplazándose de una celda a otra celda en forma longitudinal y no radial debido a su misma estructura, los vasos tienen un diámetro que va de 140-180  $\mu\text{m}$  y las fibras tienen una longitud que oscila entre 1.0-1.9-2.5 mm (Liese, 2004). Externamente la guadua tiene una corteza muy fuerte formada por células epidérmicas cubiertas por una capa de cera, que protegen la Guadua de daños físicos pero al mismo tiempo impide la penetración en forma lateral de algún líquido preservante, para aquellos tratamientos como el de Inmersión.

La comunicación para que el agua y los nutrientes puedan ascender hacia las hojas se da principalmente por los vasos y entre las celdas de los por medio de pequeños agujeros denominados “pits”, que son también los que ayudan en el tratamiento por difusión celular a trasladar la solución en forma radial, este proceso es muy lento y se debe hacer cuando las trozas están frescas.

Las fibras del Bambú crecen diametralmente de adentro hacia afuera, es decir la mayor cantidad de fibras están ubicadas en la parte externa del diámetro cerca de la corteza y también se incrementan de la Cepa a la Base disminuyendo la cantidad de parénquima, en términos generales entre más fibras hay, menos células de parénquima existen, esto hace variar considerablemente la densidad de la Guadua que puede variar de 0,45 – 0,85  $\text{g/cm}^3$ . La cantidad de fibras, su longitud así como su diámetro y el grosor de sus paredes celulares determinan la densidad en la Guadua.

## COMPOSICIÓN QUÍMICA.

El bambú tiene los mismos compuestos orgánicos que la Madera, esta también conformada por celulosa, hemicelulosa y lignina, su composición aproximada es de 40% Celulosa, 25% Hemicelulosa y 25% de Lignina, en menor cantidad están los componentes solubles en el Agua como azúcares, almidones, ceras, taninos y sales inorgánicas. La cantidad de almidones determina la vulnerabilidad del Bambú para ser atacados por insectos, esta cantidad varía del 2 – 6%, aunque algunas veces alcanza al 10%, existen especies de Bambú como *Bambusa textilis*, *Gigantochloa apus*, *G. atter* y *Pleioblastus* specc. Que tienen bajo contenido de almidón, esta cantidad está influenciada por la edad, el sitio (tipo de suelo) y por la altura, de la mitad al tope (sobrebasa) presenta bajos contenidos de almidón. La cantidad de cenizas es de 1 – 5%, es una indicación de la cantidad de silicatos (Dióxido de Sílice SiO<sub>2</sub>) es mayor el contenido externamente que internamente (capas epidérmicas – corteza) y se incrementa de la base al tope, es un comportamiento directamente proporcional al comportamiento de las fibras, consecuentemente los nodos contienen menor cantidad de silicatos que los internodos; el contenido de silicatos no incrementan la resistencia a los hongos y los insectos pero afectan el uso de herramientas de corte de las trozas de bambú o Guadua.

## TRATAMIENTOS SIN QUÍMICOS

### Avinagrado.

Este tratamiento se conoce también como curado en mata, se efectúa después de cortado el tallo de Guadua, este se deja en pie con ramas y hojas, recostado a los otros tallos no cortados durante un tiempo superior a ocho días, momento en el cual se considera que la guadua comienza un proceso de fermentación de los azúcares y carbohidratos reaccionando y produciendo alcoholes. Esta técnica es conocida también como desjarretado y se considera además que el corte debe hacerse en horas de la madrugada y en época de menguante para así evitar la atracción lumínica sobre los líquidos internos de la planta incrementando así la humedad contenida en ella. El contenido de humedad en la guadua es un factor sumamente importante y se convierte en un problema ya que en el proceso de secado la guadua puede presentar problemas de rajaduras y deformaciones, situación que se observa cuando los tallos de guadua no están maduros.

### Curado por inmersión en agua

Consiste en sumergir los tallos cortados en agua, ya sea en un estanque o un río, por un tiempo no mayor a cuatro semanas. Posteriormente se dejan escurrir y secar.<sup>1</sup> Este ha sido uno de los sistemas más empleados por los Asiáticos. Aparentemente, la penetración del agua internamente en los haces vasculares,

---

<sup>1</sup> Hidalgo L. Oscar., Manual de Construcción con Bambú. Universidad Nacional de Colombia.

hace que se evacue el aire que penetra al interior de la guadua; especialmente para aquellos sistemas que deseen implementar el proceso de preservación con el método de Boucherie modificado, se logró comprobar que este método es absolutamente necesario para incrementar la permeabilidad internamente en la guadua. Por otro lado, resultados que se han hecho en investigaciones han concluido que la inmersión en agua produce la aparición de manchas que hacen que muchas veces el acabado de la guadua resulte afectado, además se pueden presentar fisuras en los nudos de estos tallos cosa que no se presenta con el curado en mata (Hidalgo 1994).

### **Curado al calor**

La guadua cortada es “bañada” con fuego o colocada en brasas a distancia prudente, sin quemarla. Una variante de este método, es aplicada en Japón, sometiendo los bambúes durante un lapso de 20 minutos a una temperatura entre 120°C y 150°C, lo que le da mayor efectividad, sin embargo pueden presentarse fisuras en la guadua<sup>2</sup>. Este sistema también es utilizado tanto para secar como para enderezar los tallos torcidos. A pesar de ser un sistema efectivo no es un sistema de curado que se pueda llevar al campo, puesto que involucra algunos elementos técnicos que incrementan los costos y que no serían de fácil acceso a los sitios de aprovechamientos o de producción de guadua.

### **Tratamiento con humo**

Consiste en someter las guaduas a humo directo proveniente de un proceso de combustión orgánica e incompleta (en ausencia de oxígeno) hasta que adquieran una capa exterior de hollín<sup>3</sup>, con un alto contenido de alquitrán, este método necesita de estar nuevamente cada 6 meses haciendo un mantenimiento preventivo, es decir repitiendo el procedimiento de ahumado. Este método se recomienda emplear otro tratamiento de preservación adicional, con el fin que sea más efectivo. El ahumado está actuando más por decoración externa, color oscuro que como preservante.

## **TRATAMIENTOS CON QUÍMICOS**

### **Inmersión**

Este método consiste en introducir la guadua previamente agujerada por los tabiques (nudos de la guadua) preferiblemente con una varilla puntiaguda de 12.7 mm (½") ó con broca soldada a la punta de una varilla ½ " y utilizar taladro, luego sumergir en un tanque que contiene la solución de ácido bórico y bórax en relación 1:1 que podría oscilar entre el 2 al 4%, por ej: sí fuera 4%, la relación sería 2 y 2% (de ácido bórico y bórax); dejando allí la guadua en exposición prolongada por 8 días, porque es el tiempo mínimo requerido, donde la guadua deja de absorber la solución.

---

<sup>2</sup> Idem

<sup>3</sup> Idem

### **Inyección**

El procedimiento para la aplicación de este método en el proceso es el siguiente: se perfora el canuto de la guadua con 2 agujeros de 3.2mm (1/8") o menor, cada uno cerca del tabique o nudo superior e inferior y se procede a inyectar la solución preservante de ácido bórico y bórax (4%) en cantidad suficiente que bañe las paredes internas; adicionando una cantidad que puede ser de 20 ml de preservante por cada agujero.

### **Método de Difusión Vertical.**

Este método consiste en colocar las Guaduas en forma vertical, romper todos sus canutos de arriba hacia abajo con una varilla puntiaguda de 12.7 mm (½") ó con broca soldada a la punta de una varilla ½ "y utilizar taladro, se debe tener cuidado de no romper el último canuto, para que la guadua quede cumpliendo la función de vaso o recipiente tubular. Luego cada día adicionar la cantidad necesaria para siempre tener llena la Guadua, este procedimiento se hace durante 14 días, se emplea una solución de Pentaborato (ácido bórico y bórax) del 4 al 6%, en partes iguales 3 y 3% respectivamente. Este método exige un buen manejo en el Guadual, la guadua no se debe rayar ni desgarrar las ramas, por que por allí puede salir el preservante.

### **Hervido**

El tratamiento de hervir las Guaduas con una temperatura de 94° a 100°C durante 30 min, en una solución de soda cáustica (NaOH) al 1%, es un método que se considera bueno, pero la acción de la Soda cáustica puede atacar superficialmente las células parénquimas cuando se deja demasiado tiempo, dejando solo las fibras y una superficie irregular, también se puede emplear Carbonato de sodio durante aprox. 60 min.

### **Lavado con cal**

Se adiciona una cantidad del 30% de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , ésta solución puede ser aplicada con brocha o por inmersión, luego en el proceso de secado, la cal se transforma en carbonato de calcio -  $\text{CaCO}_3$  por absorción.

### **Método de desplazamiento de savia ó boucherie modificado.**

El propósito de esta parte del documento es profundizar en uno de los métodos de tratamiento de la Guadua, se pretende mostrar el funcionamiento y la tecnología del método de desplazamiento de savia (método Boucherie) para el tratamiento de preservación de especies del Bambú "*Guadua angustifolia Kunth*". Este tratamiento es contra el ataque de insectos xilófagos [8]. El procedimiento desplaza la savia de la Guadua por una solución de Pentaborato de ácido bórico y bórax [9] fue realizado empleando un equipo construido con tanque de almacenamiento de la solución y un sistema a presión (Compresor), con el objeto de vencer la resistencia de la Guadua a la penetración de la solución preservante; en éste experimento se trabajo con una presión de

137,88 kpa (1,36 bares ó 20 psi), el proceso termina cuando pasa toda la solución preservante al otro lado de la troza de la Guadua.

La mayoría de las pruebas fueron procesadas inmediatamente después del corte de la Guaduas [3] y también algunas con una o más semanas de cortada. El uso adecuado de la Guadua Bambú requiere de tecnologías apropiadas de preservación que sean amigables al medio ambiente y no generen impactos a la salud durante su proceso [3], durante su aplicación en construcción y en su vida útil.

El estudio valora la tecnología con respecto a los costos<sup>4</sup>, este proceso suministra un producto (Guadua tratada) que pueda ser usado a escala industrial.

## 1. INTRODUCCIÓN

El método de desplazamiento de savia, es conocido como método Boucherie modificado<sup>5</sup> se realiza con una solución de ácido bórico y bórax, conocida como Pentaborato. Este método iniciado por el Dr. M Auguste Boucherie y patentado en Francia en 1838 para el tratamiento de preservación de las Maderas [3], con algunas modificaciones que se le han hecho desde entonces, es apropiado para el tratamiento de la albura (parte blanda en la madera, una vez retirada la corteza) de madera rolliza en estado verde y recién cortada. A través de este proceso, la albura de las especies tratables es penetrable en intervalos variables de tiempo que van desde minutos, hasta horas y días según la especie a tratar, lo mismo sucede con la Guadua y esto se le atribuye a la complejidad estructural de los haces vasculares sobre todo en los Nudos [3]. Este método se desarrollo para especies de Bambú en la India, empleando una presión de 15 psi, allí también se comenzaron las primeras pruebas del Boucherie modificado. [7].

En experimento que se hizo en la Universidad Tecnologica de Pereira, se hicieron algunas adaptaciones al equipo para preservar la Guadua *angustifolia*, tomando como base las experiencias de Costa Rica con [7] González, Cambroner y Gutiérrez, con el proyecto Preservación de la Esterilla y trozas de Bambú Guadua y algunas experiencias y conocimientos prácticos por parte Antonio Giraldo y del Arquitecto Iván Gómez del SENA Dosquebradas.

Con el proyecto “Investigación Tecnológica en Métodos para la Preservación de la Guadua *angustifolia*”[5], se construyó un equipo prototipo, como se muestra en la Figura 1 y en la Foto 1, El equipo fue construido en las instalaciones del SENA Dosquebradas, con la colaboración del Ing. Alvaro Monroy y del Arquitecto Iván Gómez.

La mayoría de las pruebas se realizaron con trozas recién cortadas, cuando las Guaduas tienen un contenido de Humedad en promedio del 100% y con guaduas con una o más semanas después del corte, con el objetivo de poder verificar el grado de dificultad del paso de la solución preservante.

---

<sup>4</sup> Datos de costos solamente para este experimento y algunos ejemplos

<sup>5</sup> Se denomina modificado, por que se trabaja con un sistema a presión - compresor, diferente a la presión Hidrostática.



Foto 1: Ataque Biótico, destrucción total de la Guadua, por insectos xilófagos, como el *Dinoderus minutus* y otras especies.

En general, la Guadua a pesar de sus buenas propiedades físico-mecánicas para aplicaciones en construcción de viviendas y otras aplicaciones y usos, es un material vulnerable al ataque de Factores Bióticos y Abióticos; entre los factores Bióticos tenemos el ataque de insectos xilófagos con especies como (*Dinoderus Minutus*, *Eucalandra Setulosus*, *Gnathocerus Cornutus*, *Tribolium Castaneum* y *Catolethrus Fallax*) [5][8] y hongos que no se estudiaron en esta investigación. Los Factores Abióticos como las condiciones ambientales (atmosféricas), la presencia de grietas, rajaduras y daños por mal secado (ver Foto 2) y la vulnerabilidad al Fuego.

El procedimiento utilizado consistió en el diseño y construcción de un equipo prototipo que consta de un recipiente o tanque que contiene la solución preservante y un sistema de presión (compresor) que ayuda a vencer la resistencia de la savia de la guadua al paso del líquido preservante, trabajando con una presión de 137.88 Kpa (1,36 bares ó 20 psi) para desplazar la savia de la guadua por una solución de ácido bórico y bórax (3%)[3]. El proceso termina una vez la solución preservante ha desplazado la savia de la guadua y ha pasado en su totalidad al otro lado.



Foto 2: Ataque biótico (Insectos) y ataque Abiótico (rajada), destrucción total de la Guadua, por insectos xilófagos, como el *Dinoderus minutus* y otras especies.

Las perspectivas que se tienen con respecto al método son grandes, es un método relativamente limpio, en donde se aplican principios básicos de la Producción más Limpia (PML)[6], las Guaduas tratadas con este método no se impregnan externamente de la solución lo que hace que la manipulación posterior o su manejo por constructores, arquitectos y artesanos, no tenga ningún riesgo, cuando entran en contacto con la parte externa de la Guadua, además de que la concentración de Bórax es del 1%, que es un concentración aceptable y que no trae riesgos para la salud y el medio ambiente [3].

## 2. PROPIEDADES FISICAS

### 2.1 PERMEABILIDAD

Una de las propiedades físicas que tiene la guadua es su permeabilidad a través de los haces vasculares, es decir la capacidad que tienen los líquidos preservantes para pasar a través de ellos. Para determinar la permeabilidad de los tallos de las guaduas tratadas por un fluido preservante, se ha supuesto que el flujo del líquido a través de la guadua obedece a la ley de Darcy, tal como se ha descrito para la madera [7].

Bajo esta suposición el flujo de líquido por unidad de área a través del bambú es proporcional al gradiente de presión por unidad de longitud en la dirección del flujo, se expresa en la siguiente ecuación por parte de los investigadores Costarricenses, es decir:

$$\left[ \frac{V \mu}{tA} \right] \equiv K \left[ \frac{\Delta P}{L} \right] \text{ (Ley de Darcy)}$$

**K** = Permeabilidad específica del bambú, Darcy.

**V** = Volumen del líquido en ml.

**t** = Tiempo en segundos

**A** = Área transversal o perpendicular de la dirección del flujo, en cm<sup>2</sup>

**ΔP** = Presión a través de la guadua, en atm.

**L** = Longitud del tallo.

**μ** = Viscosidad, en (dinas x s/cm<sup>2</sup>)

Los haces vasculares de la guadua en general varían entre 40 y 120 micrómetros de diámetro [7]. Se consideran unos tamaños grandes, puesto que para estos tamaños de diámetros, podría esperarse mayor permeabilidad en la guadua, conociendo el número de vasos y el radio de los elementos conductores, sería posible calcular la permeabilidad esperada. Pero también se tiene que tener en cuenta que la compleja estructura de los entrenudos ocasiona una oposición al paso de la solución y una disminución en la permeabilidad [7].

Existen datos experimentales del cálculo de la permeabilidad para la Guadua [7], realizados en Costa Rica bajo el proyecto Nacional de Bambú, donde los valores de permeabilidad específica varían dependiendo del tiempo de almacenamiento y de algunos medios que se utilicen para facilitar la

permeabilidad, al paso de la solución a través de los haces vasculares se puede apreciar en Tabla 1.

Tabla 1. Datos de permeabilidad en tallos de guadua.

Parámetro	Tallos Frescos	Tallos Almacenados en agua	Tallos Almacenados al aire
Longitud (cm)	311	301	311
Permeabilidad específica	2.9	6.5	0.83

[7]González, Cambroner y Gutiérrez, Preservación de la Esterilla y trozas de Bambú Guadua.

Por lo anterior, en esta investigación, se sumergieron las trozas de Guadua de Santa Rosa en Agua durante 2 días previo al tratamiento con el sap-displacement method, esto facilito mucho el trabajo de desplazamiento de savia y los resultados fueron buenos; más información al respecto se puede apreciar en las conclusiones y discusión de los resultados.

## 2.2 DENSIDAD

La densidad es el cociente entre la masa “m” - su peso en gramos y el volumen “v” en cm<sup>3</sup> de la guadua referenciada a una humedad que puede ser cero y se denomina Densidad anhídrida, la densidad “ρ” se expresa en (g/cm<sup>3</sup>).

$$\rho = \left[ \frac{m}{V} \right]$$

En la mayoría de las especies en madera y bambú, un incremento del contenido de humedad provoca un aumento tanto de la masa (normalmente en mayor medida) como del volumen de la guadua que a su vez provoca que el valor de la densidad aumente. Por encima del punto de saturación de la fibras este aumento se produce a un ritmo notablemente superior ya que el volumen permanece constante a partir de el.

Las definiciones de densidad que más comúnmente son empleados son los siguientes:

- **Densidad anhídrido:** cociente entre la masa y el volumen al 0% de humedad ( $m_0/v_0$ ).
- **Densidad normal:** cociente entre la masa y el volumen al 15% (en Pereira el 15%) de humedad ( $m_{15}/v_{15}$ ).
- **Densidad verde:** cociente entre la masa y el volumen de una guadua recién cortada ( $m_s/v_s$ ).
- **Densidad básica:** cociente entre la masa anhidra y el volumen en verde ( $m_0/v_s$ ). aporta el dato de la cantidad de guadua realmente existente en un volumen en verde de guadua.

### 3. MATERIALES Y EQUIPO

#### 3.1. MATERIALES

Para el desarrollo del experimento del método se emplearon los siguientes materiales y equipos.

- Guadua *angustifolia kunth*.
- Solución Preservante al 3%, compuesta por ácido bórico y borax, con una concentración de 2% y 1% respectivamente [3].
- Agua y energía eléctrica.

Las trozas de Guadua fueron seleccionadas de los lugares que muestran en la Tabla 2, se suministran los datos de altitud de los sitios con el objeto de evaluar su posible influencia, en la estructura interna..

Tabla 2. Datos altitud de los lugares donde se tomó la Guadua para experimento y hectáreas sembradas

Municipio/Sitio	Altitud promedio (msnm)
Montenegro	1200
Pereira (Cerritos)	1100
Dosquebradas (Frailes)	1550
SantaRosa (Termales)	1650

Fuente: Proyecto Eco-región cafetera, Alma Mater, 2001

#### 3.2. EQUIPO-PROTOTIPO

Se construyó un equipo con una capacidad de almacenamiento de 150 L en tanque de Almacenamiento y 40 L el tanque de Alimentación, mangueras flexibles, tuberías galvanizadas, válvulas de paso, manómetros, boquillas flexibles, como se muestra en el plano Figura 1.

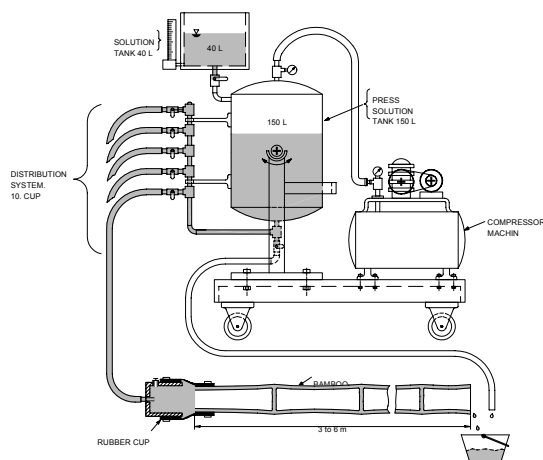


Figura 1. Equipo Prototipo, Método de desplazamiento de savia. (Montoya J. A., 2002) Proyecto Investigación Tecnológica en Métodos de preservación de la Guadua [5].

### 3.3 PROCEDIMIENTO

Para el tratamiento de las trozas de Guadua, se realizó el siguiente procedimiento:

- Corte de la trozas de Guadua (tener cuidado con el manejo, no rayarla ni desgajar las ramas).
- Sumergir las trozas de Guadua en agua durante 24 horas [7].
- Preparar la solución de Pentaborato al 3% ; 2% ácido bórico y 1% de bórax; en el siguiente tema de costos se explica las cantidades.
- Cargar el equipo con la solución Preservante.
- Presurizar el sistema 137,88 kpa =1,36 bar = 20 psi
- Conectar las boquillas a las trozas, por el lado de abajo.
- Verificar que el tornillo de Purga quede en la parte superior, para que no forme bolsas de aire.
- Abrir válvula de paso del fluido preservante.
- Abrir purga de aire de las boquillas hasta que evacue todo el aire y no salgan burbujas.
- Cerrar purga de Aire.
- Verificar el paso del preservante usando un colorante.

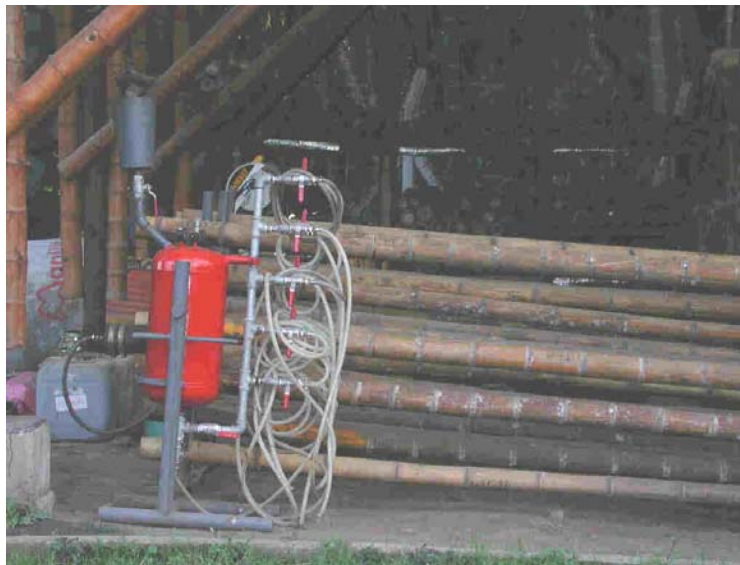


Foto 1. Equipo Prototipo, Método de desplazamiento de savia. (Montoya J. A., 2002), Laboratorio experimental del Proyecto Investigación Tecnológica en Métodos de preservación de la Guadua[5], vivero de la UTP.

### 3.4 DATOS TECNICOS

Tabla 1. Datos Técnicos del equipo, Método de desplazamiento de savia. (Montoya J. A., 2002) Proyecto Investigación Tecnológica en Métodos de preservación de la Guadua [5].

DATOS TECNICOS	UNIDAD	CANTIDAD
Tanque de Alimentación	L	40
Tanque de Almacena.	L	150
Dimensiones	LxWxH	180x45x150
Peso total aprox	Kg	200
Potencia del motor	Hp	0,5
Potencia del motor	KW	0,37
Voltaje	V	110/127
Fases	Ph	1
Frecuencia	Hz	60
Presión max.	Bar	10
Presión de trabajo	Bar	1,36
Caudal de Aire	L/min	70 aprox.
Consumox m de Guadua	L/m	0,33 aprox.

### 3.5. COSTOS

Los costos fueron calculados especialmente para este proyecto, con una concentración de la solución preservante de Pentaborato al 3%; empleando 2% de ácido bórico y 1% de borax [3]

$$CT_{\text{Bbor.}} = C_{\text{Mat.}} + C_{\text{MO}} + C_{\text{Fun.}}$$

#### **Costo Material**

Cantidades: Para una solución de 100 Litros, se empleo 97 L de agua, 2 Kg. de ácido bórico y 1 Kg. de borax.

Costo de ácido bórico: \$4.000/Kg → 1.73 US\$/Kg

Costo de borax: \$3.000/Kg; → 1.30 US\$/Kg

$$(2 \times 1.73 \text{ US$/Kg}) + (1.30 \text{ US$/kg})$$

$$= 3.46 \text{ US\$} + 1.30 \text{ US\$}$$

$$= 4.76 \text{ US\$/100 L}$$

$$1 \text{ US\$} = \$2.300^6$$

Costo por litro = 4.76 US\$ ÷ 100 m lineales

**= 0.0476 US\$/L (sin tomar el costo de agua)**

<sup>6</sup> Precio del Dollar en mayo de 2005

Costos por Químicos para el caso del Método de desplazamiento de savia (Método Boucherie) con Pentaborato.

Una guadua de 6 metros se consume 2 litros de solución Pentaborato [ 6], lo que daría una relación de 0.33 L/m aprox.

$$0.33 \text{ L/m} \times 0.0476 \text{ US\$/L} = \mathbf{0.0157 \text{ US\$/m}}$$

### **Costo Mano de Obra**

El costo por mano de obra es de \$14.400/operario-día y el tiempo promedio de llenado fue de 30 minutos/m, lo que nos daría

$$14.400 \text{ \$/Per.-día} \times 1 \text{ día} / 8 \text{ h} \times 0.5 \text{ h} / \text{m} \times 1 \text{ US\$/2300 US\$}$$

$$= \mathbf{0.39 \text{ US\$/ operario.}}$$

### **Costo de funcionamiento**

Costo de funcionamiento del compresor de 0.5 hp

$$0.5 \text{ hp} \times 1 \text{ KW} / 1.341 \text{ hp} = 0.37 \text{ KW}$$

$$0.37 \text{ KW} \times 0.5 \text{ h} / 1 \text{ m} \times 191.02 \text{ \$/KWH} \times 2300 \text{ US\$/4} = \mathbf{0.015 \text{ US\$/m}}$$

$$CT = C_{\text{Mat.}} + C_{\text{MO}} + C_{\text{Fun.}}$$

$$= \mathbf{0.0157 \text{ US\$/m} + 0.39 \text{ US\$/op} + 0.015 \text{ US\$/m}}$$

$$= \mathbf{0.42 \text{ US\$/m (967.6\$/m)}}$$

**Ejemplo:** Optimizando el proceso para el cálculo de Boucherie, en caso que se desee industrializar y mejorar un sistema en serie, entonces disminuirían los costos.

$$CT = C_{\text{MAT}} + C_{\text{MO}} + C_{\text{FUNCIÓNC}}$$

$C_{\text{MO}}$  = Se puede pensar que en 60 min , se pueden preservar 10 guaduas con 6 m de longitud, en total 60 m lineales.

Si en una (1) hora salen 60m teniendo en cuenta la operación emboquillar las guaduas, en un (1) mes con una eficiencia del 90%, se tiene:

$$= 60 \text{ m/h} \times 8 \text{ h/día} \times 6 \text{ día/sem} \times 4 \text{ sem/mes} \times (0.9)$$

$$= 10.368 \text{ m/mes}$$

Costos de MO, para 2 operarios es de \$357.500x2=\$715.000

Costo MO por metro de producción \$715.000÷10.368m=69\$/m

$$C_{\text{MO}} = \mathbf{69\$/m}$$

$$C_{\text{MAT}} = 0.0476 \text{ US\$/L} \times 0.33 \text{ L/m} \times 10.368 \times 2300 \text{ \$/US\$}$$

$$= \mathbf{\$374.579}$$

pero ; \$374.579  
10.368m

$$C_{MAT} = 36 \text{ \$/m}$$

$$C_{FUNCI.} = 29.6 \text{ \$/h (El mismo costo si fuera 1 m)}$$

$$C_{SAP} = C_{MAT} + C_{MO} + C_{FUNCIÓN}$$

$$C_{SAP} = 36 \text{ \$/m} + 69\text{\$/m} + 29.6\text{\$/m} = \$ 135/\text{m}$$

$$C_{SAP} = 0.0156 \text{ US\$/m} + 0.03 \text{ US\$/m} + 0.0128 \text{ US\$/m} \quad C_{SAP} = \$0.058 \text{ US\$/m}$$

Para establecer comparaciones con los otros métodos, multiplicamos por un factor de 1.845, que representa el 45.8%, de los costos totales.

$$C_{SAP} = \$ 135/\text{m} \times (1.845) = \$249/\text{m (Optimizado)}$$

$$C_{SAP} = \$249/\text{m (0,108 US\$/m)}$$

### 3.6 NORMAS TECNICAS

#### 3.6.1 NORMAS ICONTEC

Estas son algunas de las normas que en Colombia tienen relación con el tema de la preservación, las 3 últimas están más enfocadas a la madera.

- **NTC 549-03:** Norma para Cosecha y postcosecha de la la Guadua *Angustifolia Kunth*.
- **NTC 225-04:** Norma para Preservación y Secado, de la la Guadua *Angustifolia Kunth*.
- **NTC 1767:** Normas para maderas, preservativos y pentaclorofenoles.
- **NTC 2673:** Normas para maderas, laminados decorativos de alta presión.
- **NTC 2500:** Normas para el uso de la madera en la construcción.

#### 3.6.2 NORMAS ASTM

Las siguientes son las normas Americanas, que están relacionadas con el tema de la preservación de la madera, más no de la Guadua.

- ◆ **D5583-00:** Standard Test Method for detection and estimation of retention of wood preservatives by aspergillus Bioassaying.
- ◆ **D1758-96:** Standard Test Method of evaluating wood preservatives by field test with stakes.
- ◆ **D3224-95:** Standard Test Method for water solubility of auxiliary solvent for wood preserving solutions. "Pentachlorophenol".
- ◆ **D3345-7(1.999)** Standard Test Method for Laboratory Evaluation of Wood and other cellulosic Materials for resistance to termites.  
Documentos referentes: D1413 Test Method for wood preservatives by laboratory soil-block cultures.
- ◆ **D1860-95(2.000):** Standard Test Method for Moisture and Creosote-Type preservative in wood.  
Documentos referentes: D143 Methods of testing small clear specimens of timber; D841 Specifications for nitration grade toluene; D846 Specification for Ten-degree Xylene.

### 4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

- ◆ Se pudo comprobar que la permeabilidad aumenta en el Método de desplazamiento de savia [7], cuando es sumergida en agua antes de hacerle el tratamiento.
- ◆ Es muy importante el manejo en el guadua, se debe procurar por no desgarrar las ramas de la guadua, hacerlo con herramientas de corte, preferiblemente de abajo hacia arriba.
- ◆ Se debe mejorar la tecnología en el proceso, ya existe en Pereira empresas como DANSA Int., que lideran los empresarios, Ingenieros Cesar A. Tobón y Fabio Caicedo; quienes han logrado tecnificar el proceso, principalmente en la boquilla, incrementando su eficiencia y productividad.
- ◆ Se puede emplear otra solución preservante, que sea más soluble en agua, como por ejemplo soluciones insecticidas piretroides que tienen compuestos de piretrinas.
- ◆ Se recomienda emplear un colorante y mezclarlo con el líquido preservante, para saber el momento en que pasa éste al otro lado de la Guadua.
- ◆ Se recomienda preparar la solución en agua caliente menor de 90°C, para mejorar la solubilidad de la solución.
- ◆ La dirección del flujo de solución debe ser de abajo hacia arriba (Cepa hacia la Basa)<sup>7</sup>, en su dirección natural ya que se facilita su paso a través de los haces vasculares.

## 5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] CRUZ R., Hormilson. La Guadua Nuestro Bambú, Centro Nacional para el Estudio del Bambú Guadua CRQ-Corporación Regional del Quindío, páginas 237-256, Armenia, 1994.
- [2] GONZALEZ, Guillermo; CABRONERO C., Róger y GUTIERREZ, Jorge A., Preservación de Esterilla y trozas de Bambú, Proyecto Nacional de Bambú, Proyecto COS/87/001, PNUD-HOLANDA, páginas 31, San José Costa Rica, 1991.
- [3] LIESE, Walter. GUTIERREZ, Jorge A. GONZALEZ, T. Guillermo., Preservation of Bamboo for the construction of houses for low-income people, Bamboo for Sustainable Development, Proceedings of the Vth International Bamboo Congress and the VIth International Bamboo Workshop, INBAR Proceedings N°7, páginas 481-494, San José Costa Rica, 1998.
- [4] LIESE, Walter. Bamboos, Biology, Silvics, properties, utilization. GTZ- Gesellschaft Technische Zusammenarbeit, paginas 30, Eschborn, Germany, 1995.
- [5] MONTOYA A., Jorge Augusto. Jorge Augusto. Tesis Maestría "Investigación Tecnológica en Métodos para la Preservación de la Guadua *Angustifolia Kunth*, Universidad Nacional de Colombia, páginas 190, Manizales, 2002.
- [6] MONTOYA A., Jorge Augusto y OROZCO H., Carlos A., Ecoeficiencia de los sistemas producción aplicando PML, Scientia et technica, Universidad Tecnológica de Pereira, Volumen N°13, páginas 33-40, Pereira, 2000.

---

<sup>7</sup> CEPA: se denomina a los 4 m iniciales  
BASA: se denomina a los 4 m siguientes a la CEPA.

- [7] PURUSHOTHAN A., SUDAN S. K., and SAGAR V., Preservative treatment of green Bamboos under low pneumatic pressures, Indian Forest Bulletin N° 178, páginas 20, Dehra Dun, India, 1954.
- [8] SÁENZ A., Adriana, MONTOYA A., Jorge Augusto y TISTL Michael, Artrópodos asociados con *Guadua angustifolia* almacenada en Pereira Colombia, Revista Manejo Integrado de Plagas, Volumen N°13, páginas 33-40, Pereira, 2000.

**PÁGINAS WEB:** Estas son algunas direcciones electrónicas relacionadas con el tema:

[www.inbar.int](http://www.inbar.int)

[www.bamboovillagehawaii.org/report.htm](http://www.bamboovillagehawaii.org/report.htm)

[www.bamboocostarica.com/preservation.asp](http://www.bamboocostarica.com/preservation.asp)

[www.icfes.gov.co/revistas/ingeinve/n38/art2.htm](http://www.icfes.gov.co/revistas/ingeinve/n38/art2.htm)

## ANEXOS

### LISTA DE PRESERVANTES PARA EL BAMBÚ Tomado de Apéndice A.1 (Liese *et al.*, 2003)

Nota: Éstos Preservantes con sus concentraciones no siempre son aceptados en todos los países, se debe consultar la legislación específica para cada país de UE

#### **Fungicidas**

Cloruro de Zinc.

Sulfato de Cobre.

Pentaclorofenol (PCF) de Sodio (Sustancia prohibida en UE, 1996)

#### **Insecticidas**

Lindane (gamma-HCH)

Cypermethrin

Deltamethrin

#### **Preservantes de amplio Espectro**

*Disueltos en Agua.*

Acido Boric: borax (tambien se conoce como Octoborato de Sodio, Timbor, Solubor)

Cobre-cromo-arsenico (CCA)

Cobre-cromo-boro (CCB)

Acido-cobre-cromo (ACC)

Ammoniaco cobre arsenico (AAC)

Bis-(N-cyclohexyl diazeniumdioxyd)-cobre (Cu-HDO)

Quaternario alcalino componentes ammonio (Quats; ACA)

*Preservantes de derivados del petróleo*

Carbón Tar (Alquitran) creosote (CTC)

**Preservantes basados en Solventes Livianos.**

Pentachlorofenol (PCF) (Sustancia prohibida en UE, 1996)

Tri-butyl Tin Oxide (TBTO)

Cobre/Zinc jabón; Cobre/zinc naftenico, cobre/zinc abietate, etc.

Cobre -8 Quinolate (Cu-8)

*Retardantes de Fuego*

Cloruro de Zinc 54 partes y Fosfato de Amonio 46 partes.

Magnesium pyrophosphate.

**Retardantes de Fuego, composiciones antisépticos**

-. Acido Borico: borax (tambien se conoce en el mercado como Octoborato de Sodio, Timbor, Solubor).

- Fosfato de Amonio 1parte, Sulfato de Amonio 6 partes, Borax 1 parte y acido bórico 2 partes.
- Fosfato de Amonio 3 partes, Acido Borico 3 partes, Cloruro de Zinc 5 partes, Sulfato de Cobre 1 parte, Dicromato de Sodio 3 partes.
- Acido Borico 3 partes, Sulfato de Cobre 1 parte, Cloruro de Zinc 5 partes, Dicromato de Sodio 6 partes.
- Sulfato de Cobre 1 parte, Boric acid 3 partes, Dicromato de Sodio 3 partes y Sulfato de Aluminio 9 partes.

**Toxicos Naturales**

Polvo de Neem o aceite de Neem

Polvo de Calotropin

Stemonacol

**CONCENTRACIÓN RECOMENDADA, MINIMA RETENCION Y MODO DE APLICACION DE PRESERVANTES PARA USOS DIFERENTES DEL BAMBÚ (revisado por Kumar *et al.* 1994).**

Tomado de Apéndice A.2 (Liese *et al.*, 2003)

Nota: Éstos Preservantes con sus concentraciones no siempre son aceptados en todos los países, se debe consultar la legislación específica para cada país de UE

	<u>Preservante</u>	<u>Conc.</u> ( % )	<u>Retención</u> (kg/m <sup>3</sup> )	<u>Método de aplicación</u>
<b>1. Expuesto al Aire y en contacto con la tierra (postes, tutores, cercos, etc.)</b>				
a) Bambú verde (húmedo)				
Rollizo	CCA, ACA	10	8 – 12	Inmersión, Desplazan. de savia, Presión alterna
	CCB	10 – 12	10 - 15	vació doble
b) Bambú seco				
Rollizo	cresota	RTU	50 – 100	vac/presión
latas	“	RTU	50 – 80	vac/presión, cal& frio
Rollizo/latas	CCA, ACA	6 - 8	8 - 12	vac/presión
Rollizo/latas	CCB	8 - 10	10 – 15	vac/presión, cal& frió
“	Cu-HDO	1.5 - 3	3 - 5	vac/presión
<b>2. Expuestas a las condiciones climáticas, pero no en contacto con la tierra (puentes, andamios, escaleras, etc.)</b>				
a) Bambú verde (Húmedo)				
Rollizo/latas	CCA, ACA	6 - 8	8	Inmersión, sap-replacement alternating presión
	ACC, CCB	8	8 - 12	vacio doble
b) Bambú seco				
Rollizo/latas	cresota	RTU	50 – 80	vac/presión, cal&frio
Rollizo/latas	CCA, ACA	6	8	vac/presión
Rollizo/latas	ACC, CCB	8 - 10	8 - 12	vac/presión
“	Cu-HDO	1	2 - 5	vac/presión

“ AAC (Quats) 6 10 vac/presión

### 3. Estructuras bajo cubierta(Construcción de casas, vigas, paredes, puertas, etc.)

a) Bambú verde (humedo)				
Rollizo	ACA	4 - 6	4	desplazamie. savia
	ACC, CCB	8	4 – 6	Inmersión
Latas	ACA	6	4	Inmersión
	ACC, CCB	6 - 8	4 – 6	Inmersión
b) Bambú seco				
Rollizo/latas	ACA	3 - 4	4	presión
Rollizo/latas	ACC, CCB	5 - 6	4 - 6	presión
Rollizo/latas	Cu jabón	4% Cu	-	Inmersión, Vació doble
Rollizo/latas	Zn jabón	5% Zn	-	Inmersión, Vació doble
latas	TBTO	RTU	-	humedecido, brocha

### 4. Ventanas, Laminas de tablillas (expuestas a las condiciones climáticas)

a) Bambú verde (humedo)				
latas	CCA, ACA	4 - 6	5	Inmersión
	ACC, CCB	5 - 8	6 - 8	Inmersión
b) Bambú seco				
latas	CCA, ACA	4 - 6	5	presión
	ACC, CCB	5 - 8	6 - 8	presión
	Cu-HDO	1	2 - 5	presión
	AAC (Quats) 6		10	presión
	Cu-jabón	4 %Cu	-	humedecido, Inmersión
	Zn-jabón	6% Zn	-	humedecido, Inmersión.
	TBTO	RTU	-	humedecido, brocha

## 5. Muebles expuestos a las condiciones climáticas

a) Bambú verde (húmedo) rollizo	CCA, ACA	6 - 8	8	Desplaza. de savia, difusion
	ACC, CCB	6 - 8	10	presión
latas	CCA, ACA	6 - 8	8	difusion
	ACC, CCB	8 - 10	10	difusion
b) Bambú seco rollizo	CCA, ACA	4 - 6	8	presión
	ACC, CCB	6 - 8	10	presión
latas	CCA, ACA	6 - 8	8	presión
	ACC, CCB	8-10	10	presión
	Cu-HDO	1	2 - 4	presión
	AAC (quats)	6	10	presión
	Cu-jabón	4% Cu	-	humedecido, Inmersión
	Zn- jabón	6% Zn	-	humedecido, Inmersión
	TBTO	RTU	-	humedecido, brocha

## 6. Muebles interiores

a) Bambú verde (húmedo)	CCB	3 - 5	4	Desplazam-savia, Inmersión
b) Bambú seco	Ácido Bórico /bórax	2 - 4	4	presión/inmersión
	Cu-HDO	1 - 2	2	presión
	AAC (Quats)	6	10	presión
	Cu-Jabón	4% Cu	-	humedecido,

Zn-Jabón	6% Zn	-	Inmersión. humedecido, Inmersión
TBTO	RTU	-	humedecido, brocha

## 7. Artículos-canastos

### *Usos en Agricultura:*

a) Bambú verde (húmedo) latas	ACC, CCB	6 - 8	8	difusión
b) Bambú seco latas	ACC, CCB	6 - 8	8	alcalinizar
	Tebuconazole	RTU	-	humedecido
	TBTO	RTU	-	humedecido
	Cu-jabón	2% Cu	-	humedecido
	Zn-jabón	3% Zn	-	humedecido

### *Empacado de comestibles:*

Boric acid/borax	2	4	difusión, Inmersión, presión
Cu-8	1% Cu	-	brocha, humedecido

- RTU= ready to use (Listo para usar)

## SECADO DE LA GUADUA

### PRINCIPALES PROPIEDADES QUE INFLUYEN EN EL SECADO DE LA GUADUA

En esta parte se explican las propiedades de la guadua mas relacionadas con el secado, como son la humedad, la contracción volumétrica y la densidad. Asimismo en e ultimo apartado se explica el movimiento del agua en la guadua.

#### 1. HUMEDAD DE LA GUADUA

La humedad de la guadua o contenido de humedad de la guadua se define como el cociente entre la masa de agua presente y la masa anhidra de la guadua, expresado en tanto por ciento.

$$CH = \frac{m_h - m_0}{m_0} \times 100$$

CH: Contenido de humedad de la guadua (%)

$m_h$ : masa de la guadua húmeda

$m_0$ : masa de la guadua totalmente seca (anhidra)

La humedad de la guadua en estado completamente verde presenta grandes variaciones y también según la posición que ocupe dentro de su longitud y la época de corte si es verano o invierno.

El agua esta presente en la guadua como agua en canutos, agua libre, agua fija o higroscópica y vapor de agua.

- Agua en canutos, es el agua que se deposita internamente en la Guadua.
- El agua libre, tanto en forma líquida como gaseosa, rellena el interior de las cavidades celulares, está presente cuando la guadua tiene un contenido de humedad superior al 30%, pero desaparece cuando estamos por debajo de este punto.
- El agua fija como su nombre lo indica esta fijada en las paredes celulares mediante fuerzas de gran intensidad de tipo físico y químico.
- Vapor de agua, esta Agua también se encuentra ligada a las paredes celulares de las células en la guadua e igualmente se requiere de gran cantidad de energía para su remoción.

#### a. Agua libre:

El proceso de secado elimina en primer lugar toda el agua libre y a continuación empieza a eliminar una parte del agua fijada. La eliminación del agua libre se realiza rápidamente y el consumo de energía que requiere es relativamente bajo, ya que el agua libre esta muy débilmente fijada a la guadua.

La guadua empieza a perder agua hasta que se llega a un punto, denominado punto de saturación de las fibras PSF ( que como media para todas las especies se suele considerar el 30%, para el caso del Bambú también), en el que ya no tiene agua libre que perder. Durante esta fase no se producen cambios dimensionales en la guadua, ya que se ha eliminado el agua que se encontraba en el interior de los vasos vasculares.

#### b. Agua fija:

La eliminación del agua fija es mas lenta y según el secado avanza, tanto el tiempo como la cantidad de energía que es necesaria aportar aumentan ya que el agua esta cada vez mas ligada a las paredes celulares de las células de la guadua. Durante esta fase se producen cambios dimensionales ya que estamos eliminando el agua que se encuentra en la pared celular.

La terminología utilizada para referirse a los distintos grados de humedad de la guadua es la siguiente:

<b>Estados de la guadua</b>	<b>Humedad (%)</b>	<b>Comentarios</b>
Verde	>30	<i>En pie o recién cortada</i>
Saturada PSF (Punto Saturación Fibras)	30	<i>Expuesta al aire saturado</i>
Semi-seca	23-30	<i>Presecada u oreada</i>
Comercialmente seca (Shipping.dry)	18-22	<i>Lista para el transporte</i>
Seca al aire	13-17	<i>Seca al aire (humedad limite)</i>
Muy seca	<13	<i>Secada artificialmente (en cámara)</i>
Anhidra	0	<i>Secada en estufa</i>

#### c. Vapor de agua:

Ésta Agua también se encuentra ligada a las paredes celulares de las células en la guadua e igualmente se requiere de gran cantidad de energía para su remoción.

##### 1-1 Medición de la humedad

Los métodos mas empleados para la medición de la humedad de la guadua son el gravimétrico y el método eléctrico.

##### - Método gravimétrico

Es un método lento y destructivo pero muy exacto, que consiste en extraer un aro de 5 cm exactamente de la mitad del primer canuto, es decir, de la parte inferior de la guadua denominada cepa. Se pesa la muestra y se determina su masa húmeda ( $m_h$ ). Posteriormente la muestra se introduce en una estufa a 103

+ - 2 °C hasta que alcanza una masa constante (24 horas) y se vuelve a pesar determinando su masa anhidra ( $m_0$ ).

Aplicando la expresión de cálculo de la humedad ( $(m_h - m_0 / m_0) \times 100$ ), se halla la humedad de la pieza de guadua.

#### - **Método eléctrico**

Es un método instantáneo no destructivo y menos exacto que el anterior; no es muy confiable para el caso de la guadua puesto que se emplea para guaduas de diferente escalas, la más fiable es la escala No 1 medidores marca "GANN" con intervalos de 7-27% que puede ser empleado para efectuar medidas a distancia (control en cámaras o secaderos).

Se basa en la relación lineal que existe entre la humedad de la guadua y el logaritmo de la resistencia eléctrica que presenta esta al paso de una corriente.

Esto solo se cumple por debajo del 25-30% de humedad por lo que aporta datos muy fiables en el intervalo 7-27% e indicativos por encima del 27%. No debe usarse para el control de la humedad de la guadua verde, o con porcentajes mayores al 40%.

La medida se efectúa clavando los dos electrodos con los que viene dotado el aparato hasta una profundidad de 1/3 del espesor de la pieza si se quiere conocer el calor medio, o de 1/2 si se quiere determinar el calor máximo. El aparato suele llevar diversos mecanismos para la corrección de la medida según sea la especie de madera y la temperatura.

#### **Contenido de Humedad de Equilibrio (CHE)**

La guadua es un material higroscópico (absorbe por naturaleza agua) y va perdiendo o ganando agua en función de la temperatura y humedad relativa del ambiente en que se encuentra hasta que alcanza una situación de equilibrio con el entorno. El calor del contenido de humedad de la guadua en esta situación de equilibrio se denomina contenido de humedad de equilibrio y suele ser conocida con las siglas CHE o también humedad de equilibrio Higroscópico (HEH).

La Humedad de Equilibrio Higroscópico es una propiedad de enorme trascendencia ya que cualquier guadua en servicio o en proceso de secado tenderá a tomar o perder humedad hasta alcanzar dicho valor. El valor de la CHE varía con la temperatura y muy especialmente con la humedad relativa del medio circundante. La determinación de la CHE se puede efectuar de forma teórica empleando ábacos de tipo general como el de la figura 3.1 que recoge las curvas de la humedad de equilibrio de la guadua en función de la humedad de equilibrio de la guadua en función de la humedad relativa y la temperatura del ambiente en donde está situada. Estos ábacos son prácticamente iguales para cualquier especie de madera o bambú.

Por ejemplo si un lote de guadua se mantiene en un ambiente a 30 °C y 45% de humedad relativa, antes o después y dependiendo del tamaño de las piezas alcanzara un contenido final de humedad cercano al 8%.

### Humedad de uso o aplicación

El conocimiento de la humedad de uso tiene una gran utilidad para determinar la humedad final del proceso de secado.

La humedad de uso esta muy relacionada con la humedad de equilibrio higroscópico de la guadua correspondiente a la zona geográfica y al ambiente de uso (interior o exterior) en los que presumiblemente va a ser instalada la guadua.

## 2. DENSIDAD

La densidad es el cociente entre la mas (m) y el volumen (V) del la guadua a una humedad (h) expresado en g/cm<sup>3</sup>.

$$\rho = \left[ \frac{m}{V} \right]$$

El valor de la densidad siempre ha de ir referenciado con el contenido de humedad para el que se da.

En la mayoría de las especies en madera y bambú, un incremento del contenido de humedad provoca un aumento tanto de la masa (normalmente en mayor medida) como del volumen de la guadua que a su vez provoca que el valor de la densidad aumente. Por encima del punto de saturación de la fibras este aumento se produce a un ritmo notablemente superior ya que el volumen permanece constante a partir de el.

Los valores de densidad que más se utilizan son los siguientes:

- **Densidad anhidrida:** cociente entre la masa y el colimen al 0% de humedad ( $M_0/V_0$ ).
- **Densidad normal:** cociente entre la masa y el volumen al 12% (en Francia el 15%) de humedad ( $M_{12}/V_{12}$ ).
- **Densidad verde:** cociente entre la masa y el volumen de una guadua recién cortada ( $M_s/V_s$ ).
- **Densidad básica:** cociente entre la masa anhidra y el volumen en verde ( $M_0/ V_s$ ). aporta el dato de la cantidad de guadua realmente existente en un volumen en verde de guadua.

Una guadua con densidad elevada se caracteriza por presentar paredes celulares gruesas y lúmenes de pequeño diámetro, por lo cual ofrecerá una mayor resistencia al paso del agua por su interior que una guadua ligera con grandes lúmenes y paredes muy delgadas.

Las guaduas densas tienen capacidad de fijación de agua (higroscópica diferente a las ligeras, a igualdad de contenido de humedad una guadua densa fija en su interior mucha mayor cantidad de agua que una ligera que se traducirá en tiempos de secado mas prolongados.

El conocimiento de los valores de la densidad para la guadua que se esta secando puede ser de gran utilidad para:

- Calcular la cantidad de agua que es necesario evaporar en un lote de guadua para pasar de una humedad inicial  $h_i$  a una final  $h_f$ .
- Calcular la cantidad de agua contenida en un lote de guadua.
- Elegir el programa de secado mas adecuado.
- Tener una indicación de las propiedades de la guadua ya que casi todas las propiedades de al guadua se relacionan con su densidad.

La cantidad de agua que es necesario evaporar se calcula mediante la expresión:

$$M = \frac{M_0}{V_s} \times V_i \times \frac{h_i - h_f}{100}$$

En donde:

$M$  = cantidad de agua en Kg por  $m^3$

$M_0/V_s$  = densidad básica en  $Kg/m^3$

$V_i$  = volumen de guadua a secar en  $m^3$

$h_i, h_f$  = humedad de al madera en porcentajes.

### 3. MOVIMIENTO DEL AGUA EN LA GUADUA

El secado de la guadua es un fenómeno consistente en la eliminación superficial del agua, a la vez que esta migra desde el interior hacia el exterior de la guadua y viceversa. Conforme avanza el secado el frente de evaporación, que al principio estaba en la superficie se interioriza dentro de la guadua por lo que el proceso de evaporación se efectuará en su estructura interna, migrando el agua en forma de vapor y de agua fija mediante un fenómeno que sigue las leyes de la difusión o fenómeno de difusión celular, desde el frente de evaporación hasta la superficie de la guadua. El fenómeno termina cuando la pieza de guadua alcanza en su conjunto la humedad de equilibrio (HEH).

Cuando la guadua se encuentra en esto verde el agua liquida rellena todas las cavidades celulares existiendo normalmente burbujas de aire en su estructura interior. El proceso de circulación del agua libre desde el interior hacia el frente de evaporación donde pasa a estado gaseoso, se efectúa por la acción de fuerzas de tipo capilar, generadas por la existencia de meniscos en las interfaces aire-agua de los poros de las membranas celulares. El proceso en esta fase es altamente dependiente del tamaño de los capilares donde se

generan los citados meniscos, siendo las fuerzas tanto mayor conforme estos capilares son más estrechos.

La presencia de burbujas de aire en el interior del agua líquida ayuda en el proceso ya que el calentamiento del aire interior por acción de la temperatura obliga a su dilatación, empujando al agua hacia el exterior a través de los capilares citados.

La presencia de las burbujas de aire en el interior de las cavidades celulares hace muy difícil la aparición del colapso motivo por lo cual este suele presentarse solo en guaduas altamente impermeables (capilares reducidos) y en zonas donde no exista burbujas de aire. Esto explica la causa por la cual el colapso se produce únicamente en determinadas guaduas muy impermeables y solamente en la primera fase del secado cuando la guadua está totalmente verde.

Evaporada el agua líquida en el frente de evaporación tiene que migrar, por difusión, desde el frente de evaporación hasta la superficie de la pieza, donde es eliminada por el aire que circula dentro del secadero.

Este fenómeno regirá el proceso de secado desde su principio cuando la guadua se introduzca presecada (contenido de humedad inferior al 30%) en el secadero.

La difusión es un fenómeno conocido que sigue unas leyes determinadas (Fick) y que puede ser debido a la existencia de gradientes de humedad (la humedad migra de las zonas de alta con contracción a las de baja concentración), de temperatura (la humedad migra de las zonas caliente a las frías), a su combinación o a causas algo más complejas, actualmente en estudio. En estas circunstancias, una buena práctica de secado tratará de conseguir que los gradientes de temperatura y humedad actúen en el mismo sentido, o que su balance sea positivo hacia el exterior (recordemos que normalmente el centro de la pieza está más frío que el exterior), de forma que la humedad migre desde el interior hacia exterior de la forma más rápida posible.

Conforme el grado de humedad de la guadua disminuye el proceso de difusión se ralentiza, por lo que para mantener el ritmo del secado, y por consiguiente el de la difusión, es necesario aumentar la temperatura, razón que explica la causa por la cual los programas de secado van haciendo uso de temperaturas cada vez más altas en el secadero conforme el contenido de humedad disminuye.

Los programas de secado, son recetas basadas en la práctica que tratan de extraer el agua, tanto libre (primera fase) como fijada (segunda fase) a la máxima velocidad permitida por cada guadua.

Se basan en una larga experimentación y no deben ser consideradas como reglas inmutables, sino como recomendaciones de carácter general que deben ser adaptadas a las características especiales de cada secadero y guadua.

## PROPIEDADES DEL AIRE HÚMEDO

El aire húmedo se puede definir como una mezcla gaseosa de aire seco y vapor de agua. En el secado por convección, que como se verá más adelante es el más extendido, el aire actúa como agente secante, motivo por el cual sus características como temperatura, humedad relativa, capacidad de absorción, velocidad, presión, etc., tienen una notable influencia en el proceso.

Para la mejor comprensión del proceso de secado así como para el correcto diseño y mantenimiento de los secaderos, parece indispensable pasar una somera revista a aquellas propiedades del aire húmedo que tienen una incidencia más marcada en el secado de la guadua.

### 1. TEMPERATURA

#### 1.1 Definición de temperatura y tipos.

La temperatura es una medida de la energía calorífica almacenada en un cuerpo.

El término general de temperatura engloba, a su vez a los siguientes tipos de temperatura:

##### **-Temperatura seca:**

Es lo que normalmente se entiende por temperatura, correspondiendo a la temperatura marcada por un termómetro (termómetro seco) que mantiene su bulbo (punto de medida) seco.

##### **-Temperatura húmeda:**

Es la temperatura marcada por un termómetro (termómetro húmedo) que mantiene la superficie exterior de su bulbo en estado húmedo.

La evaporación de agua es un proceso que produce un enfriamiento de la superficie donde se produce. De acuerdo con esto, si el bulbo de un termómetro es rodeado por una tela que se mantiene primariamente húmeda y es sometido a una corriente de aire no saturado, se producirá una evaporación que hará descender la temperatura en la gasa y, por tanto en el bulbo del termómetro, siendo detectada por este, al valor que marca el termómetro en estas condiciones se le denomina temperatura húmeda.

La temperatura húmeda se estabilizará en un valor que corresponde a un equilibrio entre la aportación calorífica que se hace en el aire que pasa sobre el bulbo húmedo y el calor absorbido por el agua líquida al evaporarse sobre dicho bulbo.

Conforme el ambiente sea más seco (mayor temperatura seca, mayor capacidad de absorción del aire), la diferencia entre las lecturas del

termómetro seco y el húmedo será mayor, siendo cero en situación de saturación del aire circundante. De acuerdo con esto, para una temperatura seca dada, la caída térmica detectada por el termómetro húmedo es una medida indirecta de la humedad relativa el aire.

### **-Temperatura de rocío:**

El aire húmedo puede ser considerado como una mezcla gaseosa de aire seco y vapor de agua. Existe una temperatura para la cual el vapor de agua contenido en el aire húmedo comienza a condensarse en forma de agua líquida. Esta temperatura se denomina temperatura de rocío. Esta propiedad depende directamente de la capacidad máxima de absorción de agua del aire (máxima cantidad de vapor de agua que puede ser contenida en la unidad de volumen de aire a una temperatura dada), la cual es altamente dependiente de la temperatura (por eso al bajar la temperatura se condensa el agua sobrante).

De acuerdo con esto, si la temperatura del aire desciende, se considerará (rocío) la cantidad de vapor de agua que no pueda contener en su seno, produciendo los denominados "lagrimeos" en las paredes de los secaderos.

Este fenómeno se produce tanto en las paredes del secado, como en la superficie de la guadaña, debiendo ser tenido en cuenta en el diseño de los sistemas de drenaje, ya que puede cobrar una importancia grande si es muy abundante.

## **1.2 Medición de la temperatura.**

### **- Escalas:**

Aunque existen varias escalas para efectuar su medida, las más empleadas industrialmente son solo dos, los Centígrados y la Fahrenheit. En la primera el intervalo fundamental (el que va desde el punto de congelación al de ebullición del agua a una presión normal de 760 mm/Hg) es dividido en 100 partes iguales, llamadas grados, mientras que partes considerados. En la escala de centígrados se asigna el punto de congelación del agua al 0° y el de ebullición al 100°, mientras que en Fahrenheit se hace a 32° y 212°, respectivamente.

Aun cuando el uso de la escala Fahrenheit esta disminuyendo, es todavía frecuente encontrarla en equipos, libros y manuales anglosajones (especialmente norteamericanos), motivo por lo cual es conveniente conocer una sencilla regla de paso, que consiste en aplicar la siguiente expresión:

$$\frac{^{\circ}\text{C}}{100} = \frac{^{\circ}\text{F}-32}{180}$$

Haciendo uso de esta expresión, una temperatura en centígrados de 25 °C corresponde a 77°F , mientras que 60°F se corresponde con 15,6°C.

## - **Termómetros:**

La temperatura se mide mediante termómetros clásicos, normalmente de líquidos como el mercurio, el tolueno, el alcohol etílico, etc., o más recientemente mediante pirómetros termoeléctricos y de resistencia.

El uso de termómetros clásicos ha caído en desuso, pese a su exactitud, debido a la imposibilidad de emplearlos con los actuales sistemas automáticos asistidos por computador de regulación de los secaderos al no permitir la lectura remota.

En el control del proceso de secado se pueden utilizar para medir la temperatura los nuevos termómetros denominados pirómetros termoeléctricos y pirómetros de resistencia.

## **2. HUMEDAD RELATIVA Y ABSOLUTA**

### **2.1 Humedad relativa:**

La humedad relativa del aire húmedo es función de la presión del vapor de agua y de la presión de saturación, por lo que antes de definirla es necesario conocer el significado de dichas presiones.

Se vuelve a recordar que el aire húmedo puede ser considerado como la mezcla de dos gases, el aire seco y el vapor de agua. El aire ejerce una presión de valor cercano a 760 mm/Hg, que será la suma de la presión ejercida por el aire seco más la ejercida por el vapor de agua.

Conforme la cantidad de vapor de agua contenida en el aire crece, también lo hará la presión del vapor, disminuyendo la otra componente, la presión ejercida por el aire seco. En el límite (saturación) esta presión del vapor adquirirá un valor máximo denominado presión de saturación o también presión de vapor. Es de destacar que tanto la presión de vapor como la presión de saturación varían con la temperatura. En la figura 3.1 (ábaco) se recogen estas variaciones.

Se entiende por humedad relativa al cociente, en tanto por ciento, entre la presión de vapor y la presión de saturación, a una temperatura dada. Lógicamente, su valor máximo es del 100%.

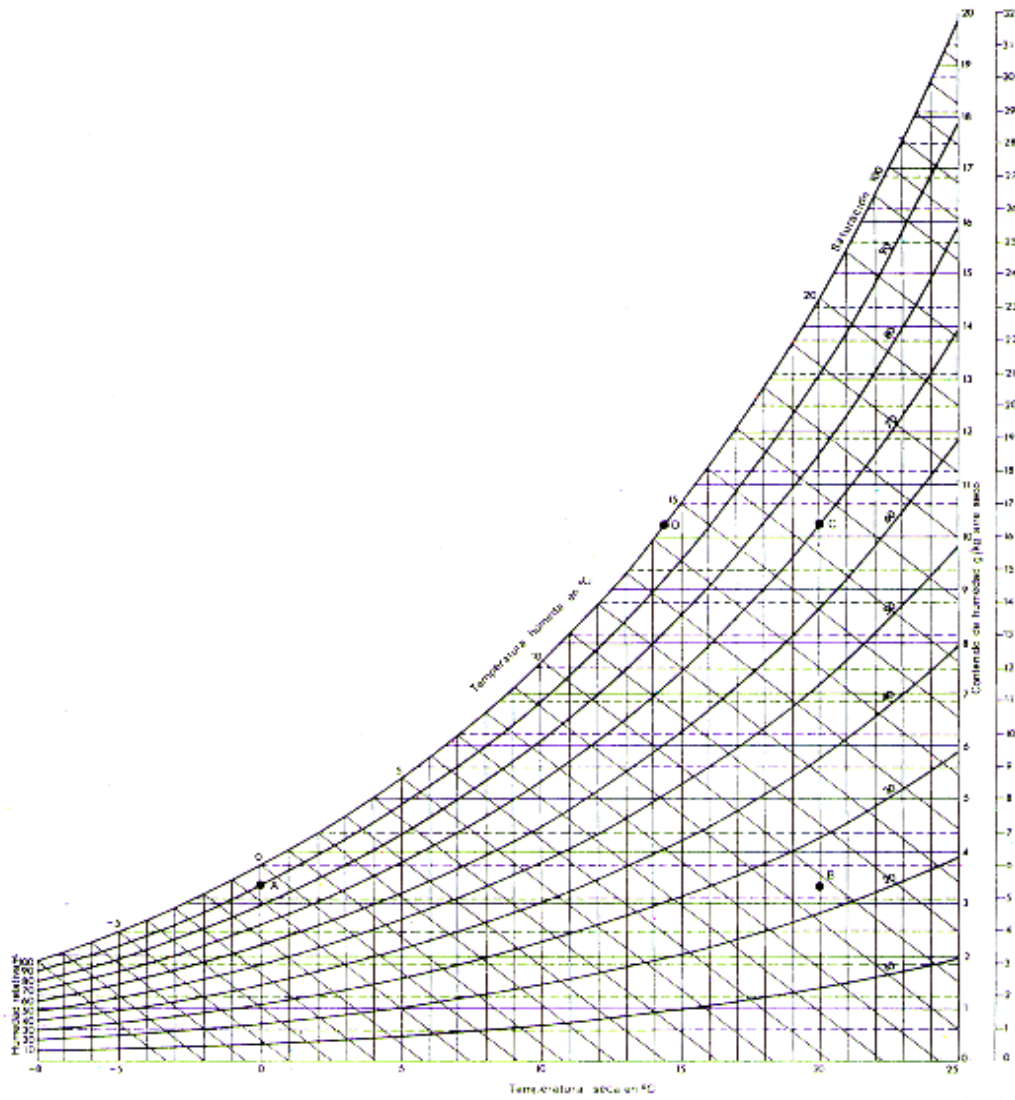


Figura 3.1. Abaco psicrométrico

## 2.2 Humedad absoluta:

Por humedad absoluta se entiende la masa de agua asociada a cada Kg de aire seco o como es más normal referido a volumen, es decir a  $m^3$ . Existen ábacos (ábaco de Villiere) que permiten calcular la cantidad de vapor de agua (en gramos) existente en un  $m^3$  de aire a temperatura y humedad relativa dadas, así como la capacidad de absorción de vapor de agua residual que tiene dicho aire (también en  $g/m^3$ ).

-Importancia de la humedad relativa y absoluta en el secado:

El conocimiento de las humedades absoluta y relativa es de extraordinaria importancia para el adecuado dimensionamiento del sistema de admisión y expulsión de aire del secadero así como, en los secaderos por bomba de calor, para el dimensionamiento de la potencia frigorífica necesaria para el mantenimiento (por condensación) de las condiciones ambientales exigidas.

Otro aspecto de enorme interés es el referente a los tipos de vapor. En un aire húmedo si la presión del vapor es inferior a la presión de saturación (humedad relativa inferior al 100%), se dice que el aire es secante. Por tanto, un aire de estas características es susceptible de generar evaporación.

Si a la presión atmosférica en un secadero a 100°C y 100% de humedad relativa, se eleva la temperatura por encima de dicho valor, sin dejar entrar aire exterior, se dice que el valor es sobrecalentado. En tales circunstancias la presión de saturación aumenta, mientras que la temperatura del vapor de agua, que está a la presión atmosférica, no puede sobrepasar los 100°C y por lo tanto la presión del vapor de agua sería la misma. Como consecuencia la humedad relativa será menor del 100% y el aire será secante. Por ejemplo si la temperatura es de 110°C, la humedad relativa dentro del secadero es del 85% y si la temperatura es de 120°C, la humedad será del 51%.

Si en el secadero se mantiene una temperatura seca superior a 100°C y una humedad inferior al 100% el vapor ya no será sobrecalentado como antes, sino húmedo (mezcla vapor-aire). Esto ocurre cuando en el secadero existe entrada de aire.

## **TECNOLOGÍA DEL SECADO DE LA GUADUA**

Las tecnologías que serán abordadas de mayor implantación industrial o con un previsible mayor interés en un futuro inmediato son:

Secado al aire libre o natural.  
Secado al aire libre seguido de secado en cámara convencional.  
Presecado - Secado industrial  
Secado con Deshumidificador  
Secado solar.

Aunque a lo largo de los años han sido numerosos los intentos llevados a cabo para el desarrollo de métodos alternativos, al secado de la madera aserrada por aire caliente climatizado o deshumidificador, realmente han sido pocos los que han tenido aplicación industrial; ya que, normalmente sus altos costos y niveles de riesgo no han podido ser asumidos por la industria.

Esto justifica que en la actualidad, el secado al aire libre y el secado con energía solar por radiación siga siendo el más implantado industrialmente.

## 1. Secado al aire libre

### *Descripción del método:*

En el secado a la intemperie el aire es el agente secante. Su temperatura, humedad relativa y velocidad de los vientos, son los elementos determinantes en el proceso de secado.

Dado que en la práctica no existe control alguno sobre las variables del proceso, el ritmo del secado depende del clima local y de su variabilidad a lo largo del año. Este ritmo puede ser prácticamente cero en zonas o días con fuertes nieblas y ausencia de viento o excesivamente rápido en ciertos días del verano en los que pueden atravesar las pilas de guadua vientos fuertes y altamente secantes.

### *Ubicación en perchas*

El método consiste en apilar las guaduas recién cortada en perchas ubicadas a la intemperie o preferentemente bajo cobertizos transparentes, de forma que estén sometidas a las condiciones medioambientales y muy especialmente al aire, que es quien favorece el intercambio calorífico y el arrastre del vapor de agua procedente de la guadua.

La circulación horizontal del aire por la perchas se consigue colocando la guadua entre cruzadas en la percha. Las guaduas en posición vertical, se giraran sobre su eje y posteriormente se rotarán o girarán de abajo hacia arriba, se consigue un buen secado separando las guaduas en la parte inferior, y colocándolas sobre alguna superficie dura que puede ser madera o esterilla de guadua. Se deja también en el interior de las perchas un espacio vacío en forma de chimenea para permitir una mejor circulación descendente del aire húmedo y frío.

### *Apilado en sombra*

Después del perchado cuando el contenido de humedad de la guadua esta en el 30% se debe apilar las guaduas en un sitio a la sombra y que este bastante aireado. La forma de realizar el apilado es fundamental para asegurar un secado correcto, ya que hay que conseguir una buena circulación del aire por el interior de la pila.

### *Protección de las pilas*

Las pilas, una vez construidas, deben ser protegidas de la lluvia y de los rayos del sol. Para eso se recomienda o colocar techos provisionales sobre el extremo superior o efectuar el secado bajo cubierta, lo que en ocasiones es altamente recomendable.

Los techos provisionales deben cubrir suficientemente a la pila, de forma que efectúen correctamente su misión de protección contra la intemperie.

### *Disposición de las pilas*

Las pilas, correctamente construidas, deben ser dispuestas en el patio alineadas en filas paralelas. Las filas de pilas tendrán así una longitud variable según la superficie de la que se dispone, una altura de 2 a 3 metros y un ancho de 2 a 3 metros y preferiblemente que vayan dentro de un marco exterior para que las guadas no corran el riesgo de rodarse y dañar la pila y en ocasiones de riesgo para las personas. Entre cada dos pilas consecutivas de una fila se debe dejar un espacio de 0.5 a 0.6 metros. Entre estas filas, o dobles filas, se dejarán calles cuya ancho dependerá de los medios de transporte o movilización de las guadas. La orientación de las pilas se elegirá en función de los vientos dominantes, que deben soplar perpendicularmente a ellas.

El sistema de apilado más habitual es el horizontal, no obstante, en ocasiones se pueden emplear métodos de apilado en vertical. Para el caso de la madera las piezas aserradas se apilan verticalmente cruzándose en tijera. Este método permite un presecado rápido de las guadas muy húmedas ya que se ha podido comprobar que una madera situada verticalmente se seca de 1.5 a 2 veces más rápidamente, al principio del secado, que si estuviese colocado horizontalmente. El procedimiento permite alcanzar rápidamente el 30% de humedad, no siendo recomendable continuar el secado con este método, ya que el nivel de deformaciones que con él se produce es más elevado.

### *Duración del secado*

La duración del secado al aire depende de los factores climáticos (temperatura, humedad relativa y velocidad del aire) y de los inherentes a la propia guada (diámetro, grosor, humedad, distancia entre canutos), por lo que no se pueden dar normas exactas; se podría decir que en época de verano seco, el tiempo puede estar de dos meses y en invierno llegar hasta seis meses para conseguir un resultado de HEH (Humedad de equilibrio higroscópico).

## **2. Secado al Aire Libre Seguido de Secado en Cámara**

La rentabilidad de los costosos equipos necesarios para el secado en cámara de la guada, exige que los tiempos de secado sean reducidos.

Cuando se secan guadas que necesitan para su secado en cámara más de 4 ó 5 semanas, normalmente resulta más económico reducir los primeros grados de humedad (desde 150% a 30 – 35%) mediante secado al aire, para luego introducir la guada en una cámara de secado hasta la humedad final requerida.

Esta recomendación, no obstante, no siempre es válida, pues depende de la existencia o no de una superficie cercana para efectuar el oreo previo de la guada, de la disponibilidad de medios adecuados para el movimiento de la guada (recuérdese que el perchado, apilado y carga consume gran parte del tiempo de operación de los operarios) y de la calidad final exigida.

### 3. Presecado – Secado Industrial

#### *Descripción del método*

Este método muy común en USA y en el norte de Europa para el presecado (hasta un 25 o 30% de humedad) de maderas poco permeables y de alto valor, consiste en el apilado de la madera verde en el interior de naves de gran capacidad (500-1500 m<sup>3</sup>), son cámaras equipadas con ventiladores, sistemas de calefacción y sistemas de regulación de la humedad relativa interior (normalmente por apertura y cierre de las ventanillas de ventilación). Las temperaturas en su interior rara vez superan los 40-45°C, siendo los valores más habituales de 25 a 30°C.

Debe existir una adecuada relación entre la capacidad del presecado y de los sistemas industriales de secado posterior, hasta conseguir valores entre el 8% y el 10%. Normalmente se considera que un presecado debe tener una capacidad útil total de los secaderos de acabado final, siempre y cuando toda la materia prima sea comercializada seca industrialmente; para el caso de la guadua no se tiene experiencia con este sistema pero se podría hacer una adaptación del caso de la madera.

El presecado industrial permite no solo mejorar la calidad final respecto del obtenido con el presecado al aire, pues las condiciones del oreo están controladas y no dependen de las condiciones exteriores, sino también reducir notablemente la duración del proceso.

### 4. Secado en Cámara mediante Deshumidificador

En éste método del aire, que ha sido convenientemente climatizado y que se encuentra a la presión atmosférica, actúa como agente secante al forzar su paso por las pilas de guadua. El secado se realiza en el interior de cámaras especiales denominadas cámaras de secado.

El aire climatizado se obtiene impulsando el aire en el interior de las cámaras mediante ventiladores que fuerzan su paso a través de las baterías de calefacción y utilizando los sistemas de humidificación y/o deshumidificación.

Los posibles métodos para secar la guadua en cámara mediante aire caliente climatizado son:

Secado tradicional a temperatura media ( $\leq 80^{\circ}\text{C}$ )

Secado a alta temperatura ( $>100^{\circ}\text{C}$ )

Secado con bomba de calor

Los secaderos que se utilizan constan de forma general, de los siguientes elementos y dispositivos:

-Cámara de secado

-Sistema de circulación del aire

-Dispositivos de climatización del aire interior (Bomba de calor).

Las características constructivas de las cámaras y el diseño de circulación del aire interior son comunes para todos los métodos.

Algunos métodos de secado presentan características especiales en los sistemas de circulación del aire y en los dispositivos de climatización del aire interior, que se recogen de forma particular en los correspondientes métodos de secado.

## 5. Secado solar.

### *Descripción del método.*

El método de secado por radiación solar consiste en recircular el aire caliente en un sistema cerrado tipo invernadero, en donde el aire al pasar por una placa negra se calienta y es inducido a través de las pilas de guadua removiendo a su paso el agua o contenido de humedad en ellas. Este método se ha trabajado para el caso de tablillas en guadua y esta en proceso de experimentación para la guadua rolliza. En época de verano se pueden alcanzar temperaturas de 50 a 55°C en la placa colectora y a la entrada de las pilas hasta 45°C. Este sistema consta de ventiladores axiales, placa de zinc negra y túnel de secado.

Se puede obtener en verano y época relativamente secas, valores hasta del 8% en contenido de humedad.

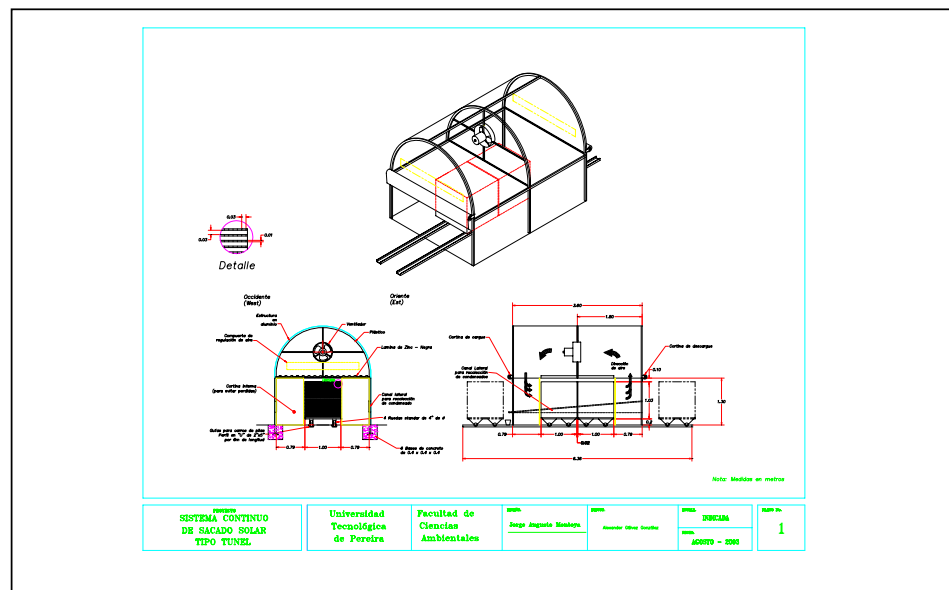


Figura 2: Sistema solar con ventilación longitudinal.

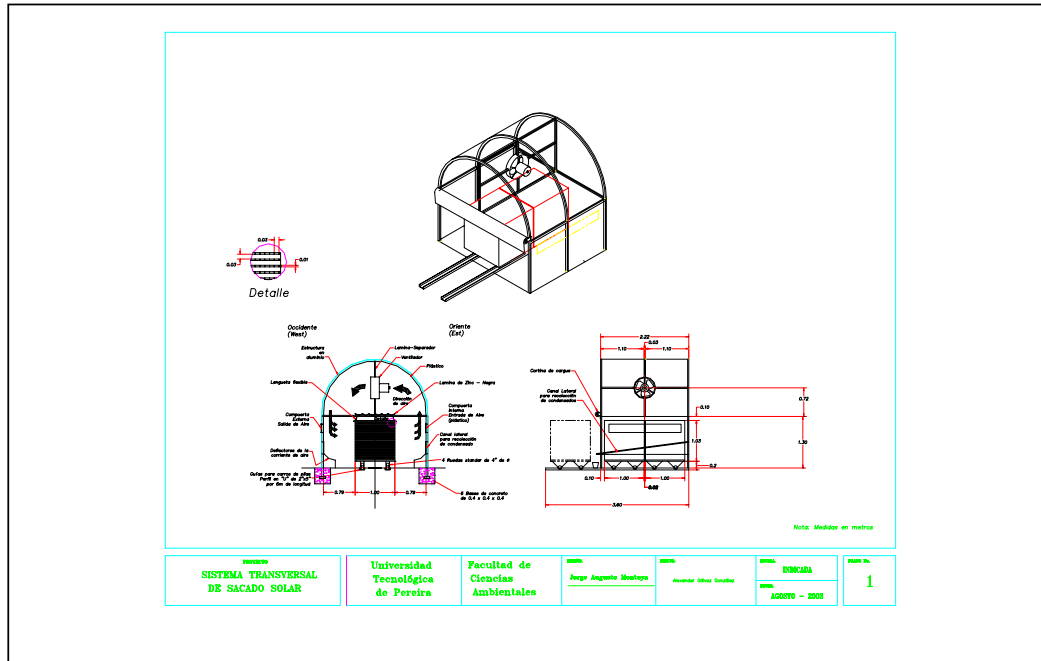


Figura 3: Sistema solar con ventilación transversal.

## CÁLCULOS PARA LA CARACTERIZACION DEL SECADOR SOLAR.

- Procedimiento para caracterizar secadores de aire.

$A_c = 5,2 \text{ m}^2$  (Área de la placa negra).

—

$H_t$ : Calor en Pereira  $\approx 5,12 \text{ kWh/m}^2\text{-d}$  Promedio anual.

$\eta_c$ : La eficiencia diaria del colector se puede asumir entre 50% y 60%, que se puede comprobar con la  $\eta_c$  instantánea, siguiendo la norma técnica ASHRAE 99-77 para colectores solares con aire.

$$\dot{Q}_\mu = \eta_c A_c H_t$$

$$\dot{Q}_\mu = 0,5 \times 5,2 \text{ m}^2 \times 5,12 \text{ kWh/m}^2\text{-d} = 13,32 \text{ kWh}$$

$$\dot{Q}_\mu = 13,32 \text{ kWh/d} \quad 1\text{Kw} = 1 \text{ Kj / s} \quad 1\text{Kwh} = \text{Kj/s} \times 3600 \text{ s}$$

$$\dot{Q}_\mu = \frac{Q_u \eta_s}{hfg} = \frac{13,32 \text{ kWh/dia} \times 0,7}{2501 \text{ kj/kg}}$$

$$\dot{M}_w = 13,42 \text{ Kg/dia}$$

$$\dot{M}_w = \dot{M}_g (w_i - w_f) \quad (w_i - w_f): \text{Diferencia de la Humedad de entrada y Humedad de salida (120\% - 8\%)}$$

$$\dot{M}_g = \frac{\dot{M}_w}{(w_i - w_f)} = \frac{13.42}{1.2 - 0.08} = 11,98 \text{ Kg./d}$$

$$\dot{M}_g = 90.5 \times 2 \text{ Pilas de tablillas} = 181 \text{ Kg}$$

$$t = \frac{\dot{M}_w}{\dot{M}_g} = \frac{181 \text{ Kg}}{11.98 \text{ Kg / día}} = 15,18 \text{ días} \quad \{\text{Demora el tiempo de secado con tablillas húmedas}\}$$

### Cantidad de calor necesario para calentamiento del prototipo, por volumen.

$$\dot{Q} = n_i c_p \Delta t \square \rho_E \nabla_E C_p \Delta t$$

$$\nabla: \text{Volumen especifico el prototipo} = 22 \text{ m}^3$$

$$C_p = 1.003 \text{ Kj / Kg, coeficiente para el aire.}$$

$$\rho_E = \text{Densidad del aire} = 1 \text{ Kg / m}^3$$

$$\dot{Q}_{\text{requerido}} \cong 1 \text{ Kg. / m}^3 \times 22 \text{ m}^3 \times \frac{1.003 \text{ Kj (120 - 8) K.}}{3600 \text{ s Kg. x K}}$$

$$\dot{Q}_r \cong 0.686 \text{ Kw (Calor requerido para calentar el prototipo).}$$

### Cantidad de calor necesario cuando se conoce el área de la placa.

$$A_{\text{colector}} = 2.0 \times 2.60$$

$$A_c = 5.20 \text{ m}^2$$

$$A_c = \frac{\dot{Q}_{\text{su ministrada}}}{\eta_c \bar{H}_T} \left[ \frac{(\text{Kw})}{\frac{\text{Kw} - H}{\text{m}^3 - \text{dia}}} \right]$$

$$A_c = 5.20 \text{ m}^2$$

$$\eta_c = \text{Eficiencia del colector, asumimos 50 \%}$$

$$H_t = \text{Calor en Pereira} \approx 5.12 \frac{\text{KwH}}{\text{m}^2\text{d}} \text{ promedio}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q}_{\text{sum}} &= A_c \eta_c H_t \\ &= 5.20 \text{ m}^2 \times 0.5 \times 5.12 \frac{\text{KwH}}{\text{m}^2 - 6H} \\ &= 2.21 \text{ Kw} \end{aligned}$$

### **Determinación de la cantidad de masa de agua o humedad a remover de las tablillas de Guadua.**

$\dot{m}$  = Masa de agua a remover.

hfg = Para Pereira la entalpía es de 2501 Kj / Kg.

$\eta_s$  = Eficiencia 60 %. (se asume entre el 50% al 60%)

$$\dot{Q}_{\text{sum}} = \frac{\dot{m} w hfg}{\eta_s}$$

$$\dot{m}_w = \frac{\dot{Q}_{\text{sum}} \eta_s}{2.501 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m}_w = \frac{2.21 \text{kw} * \frac{1 \text{Kj}}{\text{sg}} * 0.6}{2501 \frac{\text{Kj}}{\text{kg}}}$$

$$\dot{m}_w = 1.90 \frac{\text{kg}}{\text{H}} \text{ remoción de agua por hora}$$

$$\dot{m}_w = 1.90 \frac{\text{kg}}{\text{H}} * \frac{6 \text{ horas Pereira}}{\text{dia}} = 11.40 \text{ kg / dia} \text{ remoción de agua por día.}$$

## BIBLIOGRAFIA

- ◆ **Hoheisel, Hannes., 1989**, Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas, 1ª Edición, Carvajal S. A., Lima Perú, 124 pp.
- ◆ **Orozco, Carlos Alberto., 1993**, Elementos de Ingeniería Solar, 1ª Edición, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 269 pp.
- ◆ **Corvalan R., Horn M., Roman R., Saravia L., 1992**, Ingeniería del Secado solar, 1ª Edición, CYTED.D-Programa de Ciencia y Tecnología, para el Desarrollo del V Centenario, Madrid, 12-59 pp
- ◆ **Sibaja, Eduardo; Peterson, Donald., 1985**, Colectores Solares, 1ª Edición, Editorial Tecnologica de Costa Rica, San José de Costa Rica, 144 pp.
- ◆ **Lohmann, Ulf; Annies, Thomas; Ermschel, Dieter., 1986**, Holz Handbuch, 3ª Auflage , DRW – Verlag, Rosenheim- Germany, 320 pp.
- ◆ **Brunner-Hildebrand, 1987**, Die Schnittholztrocknung, 5a Auflage, Buchdruckwerkstätten Hannover GmbH, Hannover, 322 pp
- ◆ **Fernández-Golfin Seco, Juan I.; Álvarez Noves, Humberto., 1998**, Manual de Secado de Maderas, 1ª Edición, Ministerio de Industria y Comercio, Graficas Palermo S.L., Madrid, 169 pp.
- ◆ **Fernández-Golfin S., Juan I.; Alvarez N., Humberto., 1992**, Fundamentos Teóricos del Secado de la Madera, 1ª Edición, Ministerio de Industria y Comercio, Neografitis S.L., Madrid, 193 pp.
- ◆ **Montoya, J.A., 2002**, Investigación tecnológica en métodos para la preservación de la Guadua. Universidad Nacional de Colombia, Tesis MSc., 180 p.

## **ANEXOS**

### **PRACTICAS DE LABORATORIO DE PRESERVACION Y SECADO.**

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE PEREIRA  
FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES  
Practica de Laboratorio de Guadua  
“Método Boucherie”**

#### ***OBJETIVO***

Realizar la practica del proceso de preservación, empleando el método Boucherie modificado, usando agua como sustrato de preservación.

#### ***PROCEDIMIENTO***

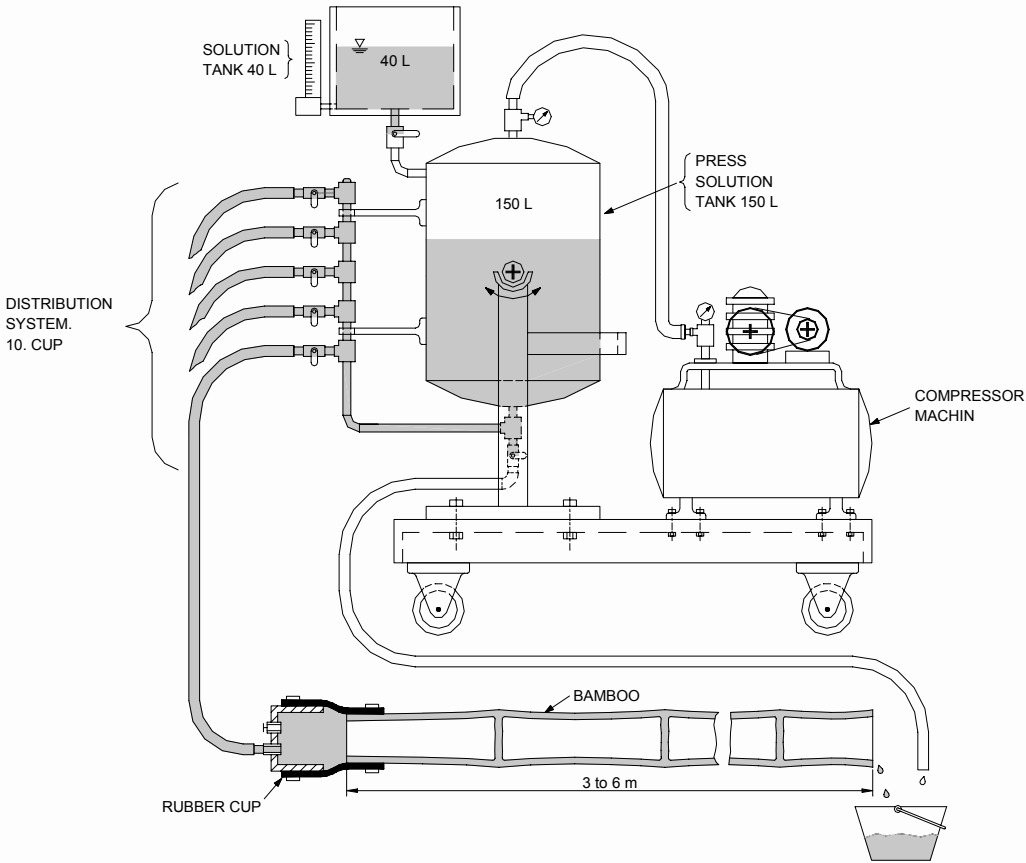
##### **1. Partes o elementos del equipo.**

- Tanque de alimentación de la solución.
- Tanque presurizado.
- Compresor.
- Manómetros.
- Boquilla.

##### **2. Descripción del método.**

- Preparación del compresor, graduación de la presión (15 – 20 Psi).
- Cargue del tanque de alimentación.
- Conexión de la boquilla.
- Purga del sistema.
- Inicio del procedimiento.

3. Esquema del equipo.



**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**Práctica de Laboratorio de Guadua**  
**“Determinación del contenido de humedad (CH)”**

### **OBJETIVO**

Realizar la práctica para la determinación del contenido de humedad (CH) empleando horno de secado de laboratorio, para la medición de la humedad en la guadua.

### **PROCEDIMIENTO**

#### **1. Partes o elementos del equipo.**

- Sierra o herramienta de corte.
- Horno de secado a 105°C +/- 2°
- Balanza para pesar muestras.
- Guantes.
- Pinzas para extracción de muestras.
- Recipiente para depositar las muestras (Bandeja).

#### **2. Descripción del método.**

- Fórmula CH% =  $\frac{Ph - Ps}{Ps} \times 100$
- Cortar un tramo de 5 cm de longitud, tomando el primer canuto completo de la parte inferior de la guadua.
- Pesar la muestra antes de introducirla al horno (Peso húmedo).
- Introducirla al horno durante 24 horas.
- Extraer las muestras y dejarlas estabilizar en desecador
- Pesar las muestras (Peso seco).
- Emplear fórmula para calcular.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**Práctica de Laboratorio de Guadua**  
**“Método de inmersión”**

**OBJETIVO**

Realizar la práctica del proceso de preservación empleando el método de inmersión y utilizando Pentaborato de sodio (sales de bórax) al 6%.

**PROCEDIMIENTO**

**1. Descripción del método.**

- Perforar las guaduas. Realizar dos agujeros con broca de 1/8 de diámetro, parte superior e inferior del canuto, a un ángulo de 90° entre agujeros.
- Sumergir las guaduas durante un mínimo de cuatro días.
- Preparar los elementos a emplear (Tanque, ácido bórico, bórax).

**2. Partes o elementos del equipo.**

- Tanque de mezcla.
- Agua (100 L) o su proporción.
- Acido Bórico 4 Kg.
- Bórax 4 Kg.
- Guantes.

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES**  
**Práctica de Laboratorio de Guadua**  
**“Prueba de preservación de la guadua con harina cúrcuma”**

***OBJETIVO***

Realizar la prueba cualitativa, empleando harina cúrcuma a guaduas que hayan sido tratadas o preservadas con pentaborato o sales de boro, empleando una concentración de 5% de cúrcuma.

***PROCEDIMIENTO***

1. Descripción del Método.

- Preparar en 1 litro de agua, 50 gramos de harina de cúrcuma.
- Aplicar superficialmente con brocha o pincel.
- Si la guadua tiene sales de boro, al color amarillo de la cúrcuma cambia a rojo.
- Si la guadua no tiene sales de boro, el color amarillo se conserva.

2. Elementos o equipos.

- Litro de agua.
- Harina de cúrcuma.
- Recipiente.