

## SECADO SOLAR Y CONVENCIONAL DE LA *GUADUA ANGUSTIFOLIA*

### RESUMEN

El objetivo de este artículo es la descripción del secado de la guadua, tanto La Guadua Rolliza como la Guadua en tablillas para una adecuada aplicación en usos y comercialización de productos de la especie de bambú "*Guadua angustifolia*". Las tecnologías que se han probado son las del secador solar tipo invernadero, secado convencional en cámaras y en proyecto de desarrollo de investigación futuro el secado con ventilación por tiro forzado. Esta investigación es fundamental para desarrollar un producto a escala industrial y/o de exportación. Como resultado principal, se construyeron 2 prototipos solares, el primero ubicado en el vivero de la Universidad Tecnológica de Pereira y el segundo en la localidad de Cerritos, para el secado de Guadua en tablillas. En cuanto al secado en cámara convencional se tienen resultados concretos en secado de Guadua rolliza, realizado en los hornos del Centro Nacional de la Madera del SENA Medellín. En la UTP se acaban de automatizar dos hornos, uno solar-asistido por gas y otro convencional.

**PALABRAS CLAVES:** Guadua, Secado Guadua en tablillas, Secado Guadua rolliza.

### ABSTRACT

*The objective of this article is to describe the dried of bamboo "Guadua angustifolia" in different shapes. Different technologies have been proved: solar and conventional dried. This research is very important in order to industrialize and make a product to export. Two solar prototype dryers have been proved one at UTP and other closed to Pereira, called "Cerritos", to dry tablets. The conventional dryer took place at National Center for Wood in Medellin, Colombia. At UTP two dryers were automatized: a solar-gas assisted and other conventional*

**KEYWORDS:** bamboo, "*Guadua angustifolia*, drying of bamboo in different shapes.

### 1. INTRODUCCIÓN

Esta investigación es fundamental para desarrollar un producto a escala industrial y/o de exportación, como resultado principal se construyeron 2 prototipos solares, el primero ubicado en el vivero de la Universidad Tecnológica de Pereira y el segundo en la localidad de Cerritos, para el secado de Guadua en tablillas. En cuanto al secado en cámara convencional se tienen resultados concretos en secado de Guadua rolliza, realizado en los hornos del Centro Nacional de la Madera del SENA Medellín. Se acaba de instalar un horno nuevo automatizado para posteriores ensayos.

En la Facultad de Ciencias Ambientales de la Universidad Tecnológica de Pereira (Risaralda-Colombia) en el marco del Centro Regional de Producción Más Limpia, se desarrolla el proyecto de investigación denominado "Aprovechamiento de la Energía Solar para el Secado Industrial de la *Guadua*

### JORGE AUGUSTO MONTROYA

M.Sc, Profesor Auxiliar  
Facultad de Ciencias Ambientales,  
Universidad Tecnológica de  
Pereira.  
jorgeama@utp.edu.co

### CARLOS ALBERTO OROZCO

M.Sc. Profesor Titular  
Ingeniería Mecánica, Universidad  
Tecnológica de Pereira.  
corozco@utp.edu.co

*Angustifolia*", que busca establecer diferentes métodos en el secado de tablillas en Guadua, que puedan ser aplicados en todas las regiones Tropicales, principalmente en la región cafetera como una alternativa de desarrollo socio-económico a la crisis del café y una oportunidad para aprovechar sosteniblemente los recursos naturales. Este proyecto contó con el apoyo financiero de la Cooperación Internacional Alemana de la GTZ, Colciencias y la Universidad Tecnológica de Pereira.

En total son dos los métodos que fueron sometidos a evaluación: secado solar tipo invernadero, secado en cámara convencional. Esta investigación tiene como propósito principal el de recomendar la implementación de éstos sistemas de secado donde aplican tecnologías más limpias para una eventual industrialización en todo el país.

## 2. MATERIALES Y METODOS

### 2.1 Guaduas seleccionadas

Para evaluar los diferentes métodos de secado de la guadua en tablillas, se seleccionaron 2 proveedores, ASOCATEG de Quebrada Negra, municipio de Calarcá Quindío y COLGUADUA del municipio de Alcalá norte del Valle. Para el caso de secado de Guadua rolliza se adquirieron 400 Guaduas en los depósitos de Guadua de la ciudad de Pereira.

Las áreas cubiertas en guadua en el eje cafetero suman aproximadamente 15.851 hectáreas para el año 1998. De este total el 10% corresponde a bosque plantado y el 90% a bosque natural (Tabla 1).

MUNICIPIO	CANTIDAD	
	TABLILLAS	ROLLIZA
Calarcá-Quindio	5200	
Alcalá-Valle	2000	
Pereira-Risaralda		400
<b>Total</b>	<b>7200</b>	<b>400</b>

Tabla 1. Localidad y cantidad de guadua de los municipios estudiados.

Se trabajaron 9 lotes de 800 tablillas aprox. por lote de secado, para el caso de secado solar tipo invernadero, para el de cámara convencional 2 lotes de 120 Guaduas de 3 m de longitud.

El procedimiento de la selección del muestreo en las 800 tablillas fue aleatorio, obteniendo un total de 25 tablillas para el monitoreo y control del peso, el método de la medición del contenido humedad (CH%) fue gravimetrítico, realizado a una temperatura en horno de 105° C.

### 2.2 Materiales para el secador solar tipo invernadero

El secador solar tipo invernadero se diseño para tablillas con las siguientes especificaciones:

ACCESORIOS PVC 1"	
Materiales	Cantidad
Tubería de PVC 1"	25 tubos de 6m
Tee PVC 1"	78 Unidades
Tee rectificada en torno internamente PVC 1"	38 Unidades
Codos 90° PVC 1"	26 Unidades
Pegante PVC (soldadura)	1/8
Limpiador PVC	1/8

Velcro 1"	2 Rollos (20 mts)
Plástico invernadero calibre 6 UV	10 mts (10 mts x 6 mts)
Pegante PL 285	2 Botellas
Cinta multiseal	30 Mts
Gravilla	3 m <sup>3</sup>
Piedras oscuras de diámetro de 5 – 10 cms	3 m <sup>3</sup>
Angulos acero 1" x 1" x 6 mts	2 Unidades
Vigas chanul 12 x 6 x 6	2 Unidades
Canecas 55 galones	2 Unidades
Tubería PVC 3" A.LL	2 Unidades
Tubería PVC presión 1/2"	10 ml
Valvula de control 1/2"	1 Unidad
Acometida encanchedada	50 ml
Lamina galvanizada	6 m <sup>2</sup>
Amarras de techo	8 Unidades
Poliuretano	38 Kg

Tabla 2.1 Materiales para construcción de secador solar en PVC

LOSA CONCRETO	
Materiales	Cantidad
Afirmado de base.	7 m <sup>3</sup>
Cemento	9 sacos
Arena	3 m <sup>3</sup>
Triturado	3 m <sup>3</sup>
Formaleta	20 tablas
Malla electrosoldada	2 Unidades
Hierro	20 Kg
Alambre amarre	5 Kg
ESTRUCTURA	
Tubería aluminio 1"	32 ml
Angulo 1" x 1" aluminio	14 ml
Plástico invernadero	10 m (10 x 6)
Velcro 1"	2 rollos
Pegante PL 285	3 botellas
Cinta multiseal	30 m

Tabla 2.2. Materiales de construcción para el secador solar en aluminio

### 2.3 Método de secado tipo invernadero

El secador solar tipo invernadero se diseño para tablillas con un área,  $A_c = 5,2 \text{ m}^2$  (Área de la placa negra). La radiación disponible en la zona según Ref. 2, es  $H_T$ : Radiación en Pereira =  $5,12 \text{ kWh/ m}^2\text{-día}$  Promedio anual. La eficiencia diaria,  $\eta_c$  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 (ver ref. 2). Para ese colector solar la energía útil que se podría obtener es:

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

$$\dot{Q}_\mu = 0.5 \times 5.2 \text{ m}^2 \times 5.12 \text{ kWh/ m}^2\text{-día}$$

$$\dot{Q}_\mu = 13.31 \text{ kWh/día}$$

$$1 \text{ kW} = 1 \text{ kJ/ s} \quad 1 \text{ kWh} = \text{kJ/s} \times 3600 \text{ s}$$

Con este calor es posible evaporar la siguiente cantidad de agua por día:

$$\dot{M}_w = \frac{\dot{Q}_{sum} \eta_s}{2.501 \frac{\text{kJ}}{\text{kg}}} \quad \text{ó}$$

$$\dot{M}_w = \frac{13,31 \text{ kWh/día} \times 0,7}{2501 \text{ kJ/kg}}$$

$\dot{M}_w = 13,42 \text{ kg/día} = \dot{M}_w = \dot{M}_{ug} (w_i - w_f)$   
donde  $w_i - w_f$  es la diferencia de la humedad entre la entrada y la salida, 120% - 8%.

$\dot{M}_{ug} = \frac{\dot{M}_w}{(w_i - w_f)} = 13,42 / (1,2 - 0,08) = 11,98$   
kg de guadua / día, cantidad de guadua que se podría secar en un día.

Sin embargo, con esa misma cantidad de energía disponible en  $5,2 \text{ m}^2$ , se desean secar una cantidad de kilos que se pueden disponer debajo de la placa, en este caso son 181 kilos dispuestos en dos pilas de tablillas.

$\dot{M}_g = 90,5 \times 2$  Pilas de tablillas = 181 Kg, capacidad del secador. Esa cantidad de kilos se secara en un tiempo promedio:

$$t = \dot{M}_g / \dot{M}_{ug} = 181 \text{ kg} / 11,98 \text{ kg guadua / día} = 15,1 \text{ días}$$

15,1 días es el tiempo estimado de secado con tablillas húmedas

### 2.3 Método de secado tipo cámara convencional

Se utilizó una cámara convencional de secado tipo deshumidificador de 15 metros cúbicos equivalente a 100

rastras de madera, con 5 ventiladores en la parte superior y sistema de control WESTAIR LUMBER DRYING.

## 3. EL SECADOR SOLAR

### 3.1 Diseño y construcción del Prototipo

Este artículo muestra un los planos adjuntos del secador solar. Ver pagina después de las referencias. Los materiales de construcción son dados en la sección 2.2, registrados en las Tablas 2.1 y 2.2.

## 4 MÉTODO GRAVIMÉTRICO PARA LA MEDICIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD (CH%)

Es un método lento y destructivo pero muy exacto, que consiste en extraer un aro de 5 cm exactamente de la parte intermedia del primer canuto, es decir, de la parte inferior de la guadua denominada cepa, para Guadua rolliza y para tablillas un trozo rectangular de 5 cm. Se pesa la muestra y se determina su masa húmeda ( $m_h$ ). Posteriormente la muestra se introduce en una estufa a  $103 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  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 con la siguiente formula, se halla la humedad de la pieza de Guadua.

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

CH: Contenido de Humedad de la guadua (%)  
 $m_h$ : masa de la guadua húmeda  
 $m_0$ : masa de la guadua totalmente seca (anhidra)

## 5. EVALUACIÓN DE LOS MÉTODOS

### 5.1 Secado Solar.

El método de secado solar, no ha empleado todavía sistemas de control de temperatura y humedad, ni variador de velocidad en el motor del ventilador, sin embargo los resultados después del 9 lote y de los ajustes físicos y de métodos de los tiempos del lateado, transporte y secado, se ha logrado secar al 8,5% resultado obtenido en 16 días para 25 muestras, sin horario de secado en el secador. Tiempo muy similar al calculo de la sección 2.3 que fue de 15,1 días y cuyo modelo requiere precisar las eficiencias mediante ensayo (trabajo de grado).

La Tabla No. 3 se muestra los resultados obtenidos para el análisis de 25 muestras.

Para el secado de Guadua Rolliza en cámara convencional con sistema de deshumidificación se obtuvo el siguiente programa de secado:

Pasos	CH %	Tbs(°C)	Tbh(°C)	$\Delta T(^{\circ}C)$
1	>80	38	33	5
2	60-80	38	32	6
3	40-60	38	31	7
4	30-40	43	35	8
5	20-30	43	33	10
6	10-20	43	33	10

Tbs : temperatura de bulbo seco.

Tbh : temperatura de bulbo húmedo.

$\Delta T$  : Delta de temperaturas.

Tabla 4. Resultados secado convencional horno SENA Medellín.

## 6. CONCLUSIONES

Para el caso del secado solar los resultados después del noveno lote son muy buenos en términos de contenido de humedad pues se ha logrado secar hasta el 8%, cifra que se consideraba imposible de obtener mediante un sistema solar sin control automático; el tiempo de secado fue de 16 días.

Con guadua rolliza no se ha experimentado todavía en secador solar, pero ya se tiene construido el prototipo.

Los resultados en deformaciones se presentan en buena cantidad, por ej: el alabeo o combado, abarquillado y torceduras; todos estos defectos se presentan, pero con mayor presencia del alabeo, esto debido a que las guadas se introducen en el horno muy húmedas o verdes las tablillas procurando evitar el hongo azul.

No hay presencia de hongo azul en las pilas de secado, a excepción de unos pequeños puntos en las aristas laterales, por causa de la ubicación continua de las tablillas, se deben colocar un poco separadas.

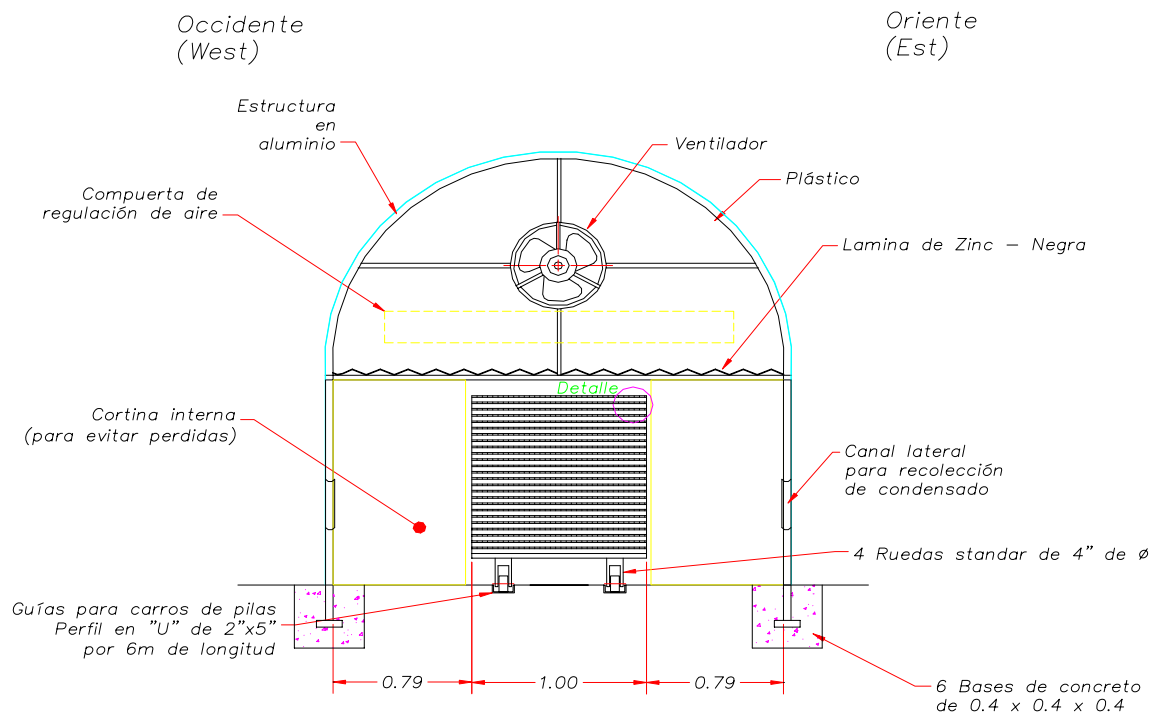
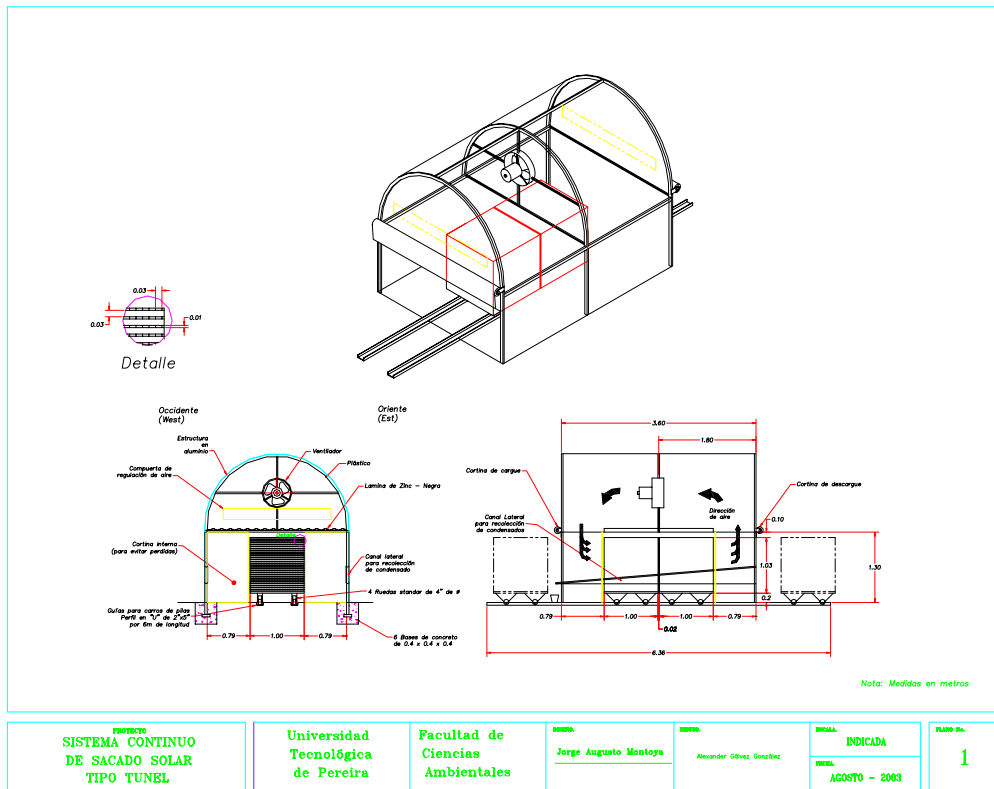
Se debe seguir mejorando el proceso de experimentación con secado solar automatizado, buscando un punto de equilibrio en las variables de humedad y temperatura.

Para el caso del secado en cámara convencional de guadua rolliza con tabiques, el 2° lote fue bueno, se obtuvieron los resultados fueron: rajaduras fuertes el 7 %, rajaduras leves en las puntas fue del 25%, de un lote de 132 Guadas.

El tiempo de duración del secado convencional; acorde con el programa de secado de la Tabla 4, fue de 12 días y 8 horas, tiempo que sería mejor si las guadas rollizas no tuvieran tabiques.

## 7. BIBLIOGRAFIA

- [1] Hoheisel, Hannes., 1989, Manual del Grupo Andino para el Secado de Maderas, 1ª Edición, Carvajal S. A., Lima Perú, 124 pp.
- [2] Orozco, Carlos Alberto., 1993, Elementos de Ingeniería Solar, 1ª Edición, Universidad Tecnológica de Pereira, Pereira, 269 pp.
- [3] 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
- [4] Sibaja, Eduardo; Peterson, Donald., 1985, Colectores Solares, 1ª Edición, Editorial Tecnológica de Costa Rica, San José de Costa Rica, 144 pp.
- [5] Lohmann, Ulf; Annies, Thomas; Ermschel, Dieter., 1986, Holz Handbuch, 3ª Auflage, DRW – Verlag, Rosenheim- Germany, 320 pp.
- [6] Brunner-Hildebrand, 1987, Die Schmittholz-trocknung, 5a Auflage, Buchdruckwerkstätten Hannover GmbH, Hannover, 322 pp
- [7] Fernabdez-Golfin Seco, Juan I.; Alvarez Noves, Humberto., 1998, Manual de Secado de Maderas, 1ª Edición, Ministerio de Industria y Comercio, Graficas Palermo S.L., Madrid, 169 pp.
- [8] Fernandez-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.



# Muestra 5 crms	Peso ini.16d grs -Laborat. med.borde	Peso fi.16d grs 24 h-Lab. med. Borde	CH% 16d. 24 h - Lab. med.borde	Peso ini.16 d grs-Laborat. med. Centro	Peso final grs 24 h-Lab. med. Centro	CH% 16 d. 24 h- Lab. med. Centro
1	9,95	9,20	<b>8,2%</b>	10,65	9,80	<b>8,7%</b>
2	10,80	9,90	<b>9,1%</b>	10,90	10,10	<b>7,9%</b>
3	13,00	11,95	<b>8,8%</b>	13,25	12,25	<b>8,2%</b>
4	11,35	10,45	<b>8,6%</b>	11,90	10,95	<b>8,7%</b>
5	12,10	11,10	<b>9,0%</b>	12,45	11,50	<b>8,3%</b>
6	11,06	10,20	<b>8,4%</b>	12,30	11,30	<b>8,8%</b>
7	9,55	8,75	<b>9,1%</b>	9,70	8,95	<b>8,4%</b>
8	9,80	9,05	<b>8,3%</b>	11,80	10,90	<b>8,3%</b>
9	8,30	7,60	<b>9,2%</b>	9,85	9,10	<b>8,2%</b>
10	9,55	8,85	<b>7,9%</b>	9,45	8,75	<b>8,0%</b>
11	9,60	8,85	<b>8,5%</b>	10,75	9,95	<b>8,0%</b>
12	10,35	9,55	<b>8,4%</b>	10,60	9,75	<b>8,7%</b>
13	11,35	10,45	<b>8,6%</b>	12,15	11,20	<b>8,5%</b>
14	12,20	11,20	<b>8,9%</b>	13,00	12,00	<b>8,3%</b>
15	8,25	7,60	<b>8,6%</b>	9,55	8,80	<b>8,5%</b>
16	9,05	8,35	<b>8,4%</b>	10,10	9,30	<b>8,6%</b>
17	9,95	9,20	<b>8,2%</b>	10,70	9,90	<b>8,1%</b>
18	8,95	8,30	<b>7,8%</b>	11,10	10,25	<b>8,3%</b>
19	9,15	8,45	<b>8,3%</b>	11,05	10,20	<b>8,3%</b>
20	9,15	8,45	<b>8,3%</b>	10,35	9,55	<b>8,4%</b>
21	8,55	7,85	<b>8,9%</b>	7,15	6,60	<b>8,3%</b>
22	11,30	10,45	<b>8,1%</b>	13,00	12,00	<b>8,3%</b>
23	9,70	8,95	<b>8,4%</b>	12,00	11,05	<b>8,6%</b>
24	11,30	10,40	<b>8,7%</b>	10,60	9,75	<b>8,7%</b>
25	11,7	10,75	<b>8,8%</b>	9,9	9,10	<b>8,8%</b>
			<b>8,5%</b>			<b>8,4%</b>

Tabla 3. Resultados secado solar horno cerritos