

## COMPARACIÓN DEL SECADO SOLAR DE *Guadua angustifolia* Kunth CON DOS SISTEMAS DE VENTILACIÓN

### Comparison of the drying solar of bamboo *angustifolia* kunth with two systems of ventilation

#### RESUMEN

En este artículo los autores muestran los resultados de la investigación de comparación entre dos sistemas de secado solar para *Guadua angustifolia* Kunth, primero, utilizando ventilación axial y ventilación centrífuga forzada y segundo, solo utilizando ventilación axial. Además de la comparación de los métodos de secado pretende comprobar la constante de secado  $\alpha = 0,0018$  encontrada para *Guadua rolliza* (Montoya J. A., 2006).

**PALABRAS CLAVES:** comparación, secado solar, constante de secado.

#### ABSTRACT

*In this publication, the authors shows the results of the research comparison between two systems of solar drying for Guadua angustifolia Kunth, one, using axial ventilation and centrifugal ventilation forced and other, using only axial ventilation. Besides the comparison of the drying methods, it seeks to check the constant drying = 0,0018 for round Guadua (Montoya J. A., 2006).*

**KEYWORDS:** comparison, solar drying, constant drying.

#### JORGE AUGUSTO MONTOYA ARANGO

Profesor Asistente  
Facultad de Ciencias Ambientales.  
Universidad Tecnológica de Pereira  
jorgeama@utp.edu.co

#### HÉCTOR ÁLVARO GONZÁLEZ B.

Profesor Asociado  
Escuela de Tecnología Mecánica.  
Universidad Tecnológica de Pereira  
hagonza@utp.edu.co

#### PEDRO FELIPE GONZÁLEZ ALZATE

Escuela de Tecnología Mecánica.  
Universidad Tecnológica de Pereira  
tmpfga@gmail.com

## 1. INTRODUCCIÓN

En esta investigación se realizaron dos pruebas de secado, una solo con ventilación axial y la otra con ventilación centrífuga forzada más ventilación axial. Éstas se realizaron en el secador solar del vivero de la Universidad Tecnológica de Pereira de la Facultad de Ciencias Ambientales.

Investigaciones anteriores han realizado estudios sobre este tema de secado tanto con ventilación axial, como centrífuga en forma independiente, sin determinar sus ventajas comparativas, razón por la cual, en este artículo se hace un aporte en este campo [1].

El gradiente de secado es una medida del potencial de secado de la guadua, en donde en cualquier momento del proceso de secado artificial existen dos valores del contenido de humedad. Estos valores son el contenido de humedad real (CH real) de la guadua en un determinado momento y el contenido de humedad en equilibrio (ECH) hacia el cuál tiende la Guadua en su proceso de secado, de acuerdo a las condiciones de temperatura y humedad relativa fijadas en el secadero. La relación entre estos dos valores se denomina Gradiente de Secado (GS) [2] y se expresa con la siguiente fórmula (1):

$$GS = \frac{CH_{real}}{ECH} \quad (1)$$

## 2. MATERIALES Y METODOS

El material a utilizar en las pruebas de secado es *Guadua angustifolia* Kunth, fue extraído de la plantación del Jardín Botánico de la Universidad Tecnológica de Pereira [3], las muestras empleadas fueron cepas sin diafragma, y con el objeto de acelerar el procedimiento de secado, se utilizaron tramos iguales de 1 m de longitud.

La determinación del contenido de humedad se hace considerando los valores del agua libre y de saturación o higroscópica. Es decir, que en la práctica, la madera se considera totalmente seca cuando se lleva a una estufa a  $103 \pm 2$  grados Celsius y alcanza un peso constante.

El Contenido de Humedad (%CH) [4] se define cómo el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de guadua, expresado en función del peso de esa pieza en condición seca al secador o anhídrico. Su valor numérico se expresa en porcentaje y se calcula por medio de la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{(P_h - P_s)}{P_s} * 100\% \quad (2)$$

Donde:

CH = Humedad de la Guadua expresada como un porcentaje de su peso anhídrico.

P<sub>h</sub> = Peso de la Guadua en estado húmedo o peso inicial.

P<sub>s</sub> = Peso de la Guadua en estado anhídrico; peso final o constante.

Para determinar los tiempos de secado de la madera y Guadua, se emplea la ecuación de tipo exponencial (3), se debe determinar el contenido de humedad inicial [5]

$u_b$  en el proceso de secado.

$$u_m = u_b e^{[-\alpha t]} \quad (3)$$

Donde:  $u_m$  = contenido de humedad final (%),  
 $u_b$  = contenido de Humedad de corte (%),  
 $t$  = tiempo de secado,  
 $\alpha$  = Constante de secado

La constante de secado  $\alpha$ , depende de varios factores entre los que se podrían mencionar los siguientes: En primer lugar del método de secado, en segundo del tipo de secador y sus características, en tercero, la forma del material (Guadua rolliza/latas) y un cuarto sí tienen diafragma o no. Esta investigación además de la comparación de los métodos de secado pretende comprobar la constante de secado  $\alpha = 0,0018$  encontrada para Guadua rolliza [5]

La prueba de secado con ventilación axial y ventilación centrífuga forzada se realizó en el secador solar de la Facultad de Ciencias Ambientales de la UTP (ver figura 1) y se hace con aire que proviene del ambiente circundante e ingresa al secador solar a través del ventilador axial de inyección (ver punto 1 en la Figura 2) ubicado en el lado norte. Después de que el aire pasa por el ventilador de inyección, es succionado por el ventilador axial de recirculación (ver punto 2 en la Figura 2) ubicado en la mitad del secador. Este aire es calentado al pasar sobre la placa colectora de energía (ver punto 3 en la Figura 2). Después de ser calentado, el aire es forzado por el ventilador centrífugo (ver punto 5 en la Figura 2) a pasar a través de los tramos de cepas dispuestos en el secador en forma longitudinal.

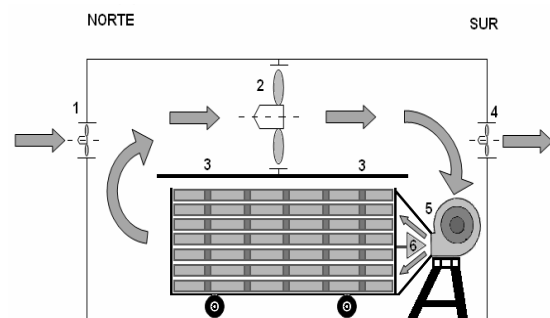


Fuente: Autores

Figura 1. Secador solar utilizado en la investigación.

El ventilador centrífugo está ubicado sobre el suelo del secador y dispuesto de tal manera que su descarga de aire caliente ingrese a las cepas, por la parte con menor contenido de humedad a través de su sección transversal. Si el aire caliente tiene una humedad relativa alta (mayor al set point), una porción de este aire se evacua del

secador por la acción del ventilador axial de extracción (ver punto 4 en la Figura 2) ubicado en el lado sur. Cuando el aire caliente ha atravesado las cepas se mezcla con aire inyectado del ambiente y nuevamente es succionado por el ventilador de recirculación para repetir el ciclo. Es importante resaltar que el ventilador de recirculación funciona continuamente durante todo el proceso de secado y que la operación de los ventiladores de inyección y extracción es simultánea, pero no continua, debido al control que gobierna su funcionamiento. Para lograr que el flujo de aire caliente ingresara homogéneamente a través de los tramos de cepa, se instaló un dispositivo cónico después de la descarga del ventilador centrífugo (ver punto 6 en la Figura 2 y detalle en la figura 4).



Fuente: Autores

Figura 2. Esquema de circulación de aire caliente con ventilación axial y ventilación centrífuga forzada

La circulación de aire en la prueba de secado con ventilación axial es igual que la anterior, con la diferencia de que en esta prueba no se utilizó el ventilador centrífugo en la entrada de los tramos de cepa. Aquí el flujo de aire se hace pasar a través de los tramos de guadua solo con la acción del ventilador de recirculación, ver figura 5. Obsérvese en la figura 3 el detalle real del apilamiento de las guaduas en el secador y el tamaño de los orificios por donde circula el aire. El diafragma de las guaduas fue cortado para mejorar la circulación del aire.

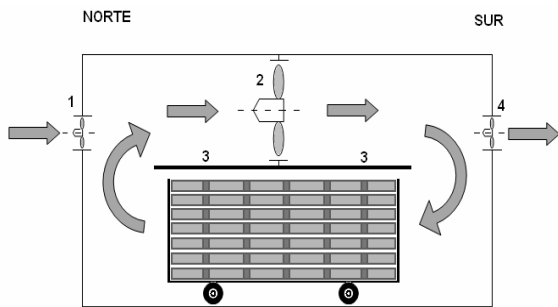


Fuente: Autores

Figura 3. Detalle real del apilamiento de las guaduas en el secador



Fuente: Autores  
 Figura 4. Detalle flujo de aire caliente a través del dispositivo cónico a la salida del ventilador centrífugo.



Fuente: Autores  
 Figura 5. Esquema de circulación de aire caliente con ventilación axial

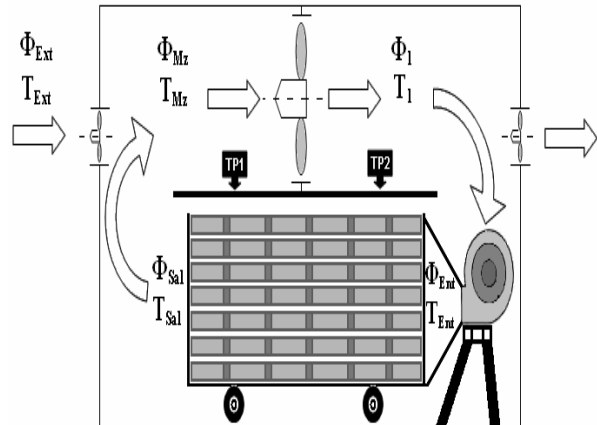
**2.1. Caracterización del secador solar.** Mediante el registro de temperaturas de bulbo seco y humedades relativas del aire en la prueba de secado con ventilación axial y ventilación centrífuga forzada, se realiza la caracterización del secador, para establecer la eficiencia del secado a la entrada y la salida de la pila de guadua. Para realizar el registro de temperaturas y humedades relativas del aire en el proceso de secado se establecieron diferentes zonas, las cuales se muestran en la Figura 6. Este registro de datos se realizó en las zonas establecidas cada 20 minutos con un termohigrómetro digital MANNIX SAM990DW, para obtener valores promedio confiables que puedan ser utilizados en la caracterización del proceso de secado.

Los valores promedio obtenidos durante esta prueba de secado se pueden observar en la Figura 7.

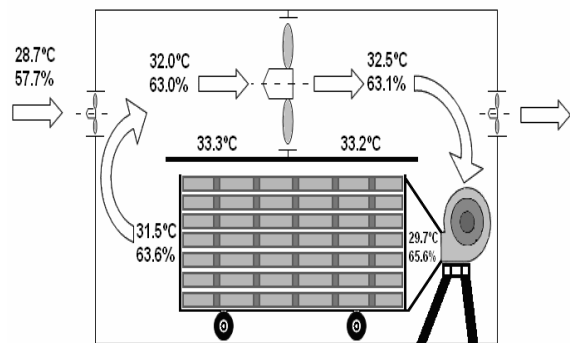
En la Figura 6. Se establecen las siguientes zonas:

- Zona Ambiente externo ( $\Phi_{Ext}$ ,  $T_{Ext}$ )
- Zona de Mezcla de aire de entrada y recirculación ( $\Phi_{Mz}$ ,  $T_{Mz}$ )

- Zona 1 después del ventilador ( $\Phi_1$ ,  $T_1$ )
- Zona de Entrada ( $\Phi_{Ent}$ ,  $T_{Ent}$ )
- Zona de Salida ( $\Phi_{Sal}$ ,  $T_{Sal}$ )
- TP1 y TP2. (Estos datos se tomaron a 1 cm. de la placa colectora de energía)

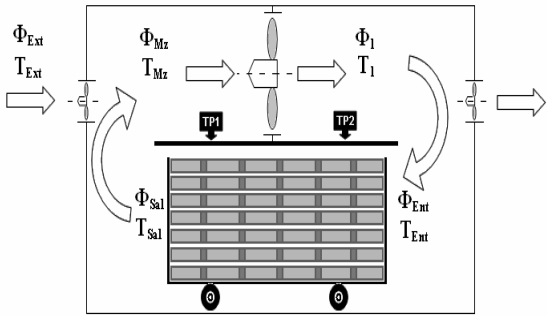


Fuente: Autor  
 Figura 6. Zonas establecidas de temperaturas y humedades en la prueba de secado con ventilación axial y ventilación centrífuga forzada

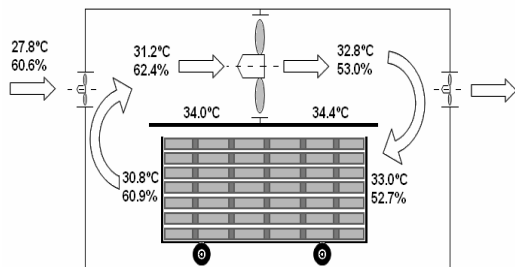


Fuente: Autor  
 Figura 7. Valores promedio de Humedades y Temperaturas correspondientes a las zonas establecidas en la prueba de secado con ventilación axial y ventilación centrífuga forzada

Para realizar el registro de temperaturas y humedades del aire en el proceso de secado con ventilación axial se establecieron diferentes zonas, las cuales se muestran en la Figura 8. Este registro de datos se realizó de igual forma que en la prueba de secado anterior. Los valores promedio obtenidos durante esta prueba de secado se pueden observar en la Figura 9.



Fuente: autores  
 Figura 8. Esquema de circulación de aire caliente y zonas establecidas en la prueba de secado con ventilación axial



Fuente: Autores  
 Figura 9. Valores promedio de humedades y temperaturas correspondientes a las zonas establecidas en la prueba de secado con ventilación axial

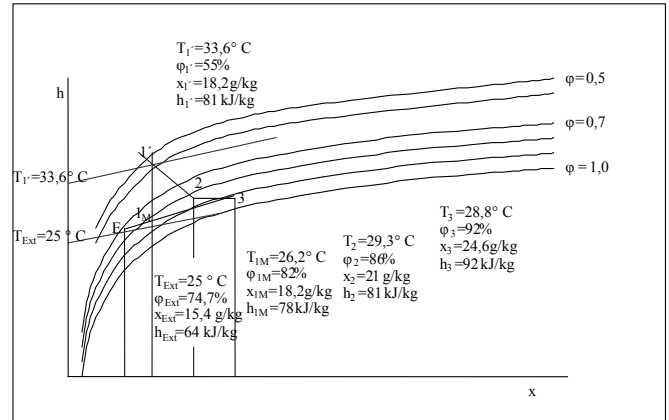
Con la ayuda del diagrama de Mollier (ver figura 10) y de acuerdo a los datos de caracterización del secador, se puede calcular “x” que es la cantidad de humedad del ambiente por Kg. de aire seco en el secador y en cada uno de los puntos, siendo el punto 2, los datos de entrada y el punto 3, los datos de salida. Se aprecia que estos valores son los de mayor de contenido de humedad por Kg. de aire seco. Al mismo tiempo se calcula la entalpía en cada uno de esos puntos; la entalpía de saturación en kJ/ Kg. de aire seco, también es mayor en el punto 3, que corresponde a la salida de las Guaduas, la entalpía resultante fue de 92 kJ/ Kg. de aire seco.

**3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

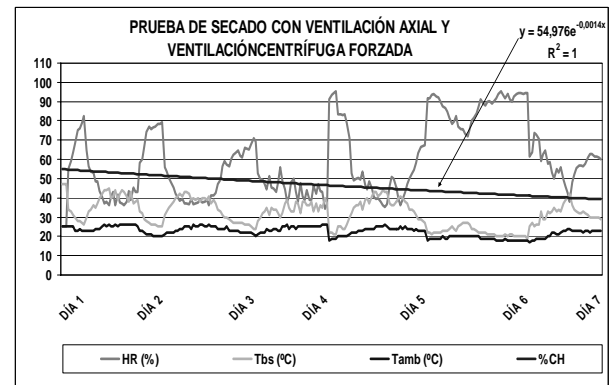
Se realizó monitoreo de secado durante 7 días a los parámetros de %HR, Temperatura de bulbo seco, Temperatura ambiente y contenido de humedad en la Guadua, de la Figura 11 se calculo la ecuación del comportamiento del secado en forma exponencial  $u_m = 54.976 e^{-0.0014t}$ ; ecuación que conociendo el contenido de humedad inicial de la Guadua y el

contenido final deseado, se puede determinar “t” el número de días.

A pesar de que el sistema con ventilación centrífuga forzada y el sistema axial actuando en conjunto y que presentó una velocidad de entrada a la pila de Guadua rolliza mayor; la rata de secado fue menor, lo que indica que el secado debe realizarse a una velocidad menor a 2,5 m/s [6].



Fuente: Montoya Arango J. A., 2006 [5]  
 Figura 10. Diagrama de Mollier con datos de secador solar ventilación axial



Fuente: Autores  
 Figura 11. Curvas de secado y determinación de la curva exponencial

También se aprecia que la pérdida de peso fue un 60% mayor en la ventilación axial su valor fue de 3,2 Kg./m de longitud

Los datos de la Tabla 2; muestran los datos de la caracterización de cada punto del secador en forma comparativa. Se aprecia que algunos datos son muy similares y no presentan diferencias significativas, pero para el caso de la HR (phi) la de Entrada en la axial fue mucho menor HR = 52,7%, esto debido a la baja velocidad de circulación que favorece la disminución de la HR, además se realiza un arrastre de humedad al pasa

el aire a través de la Guadua, obteniéndose HR = 60,9% a la salida.

Prueba de secado	Con ventilación centrífuga forzada y ventilación axial	Con ventilación axial
Valores Promedio		
(%CH) inicial	54,89	73,01
(%CH) final	39,30	26,15
%CH	15,59	46,86
Peso inicial (Kg)	9,50	6,90
Peso final (Kg)	7,50	3,70
Peso Perdido (Kg)	2,00	3,20
Horas de secado (h)	62,00	134,00
Rata de secado ( $\Delta\%CH/h$ )	<b>0,25</b>	<b>0,35</b>
Gradiente de Secado (%CHreal/%ECH)	3,66	4,86
Velocidad de entrada (m/s)	4,60	1,70
Velocidad de salida (m/s)	2,80	0,50

Fuente: autores

Tabla 1: Diferencias de las variables medidas en ambas pruebas de secado

Prueba de secado	Con ventilación centrífuga forzada y ventilación axial	Con ventilación axial
Valores Promedio		
$\Phi_{Ext}$ (%)	57.7	60.6
$T_{Ext}$ (°C)	28.7	27.8
$\Phi_{Mz}$ (%)	63.0	62.4
$T_{Mz}$ (°C)	32.0	31.2
$\Phi_1$ (%)	63.1	1.0
$T_1$ (°C)	32.5	32.8
$\Phi_{Ent}$ (%)	65.6	52.7
$T_{Ent}$ (°C)	29.7	33.0
$\Phi_{Sal}$ (%)	63.6	60.9
$T_{Sal}$ (°C)	31.5	30.8
$TP_1$ (°C)	33.3	34.0
$TP_2$ (°C)	33.2	34.4

Fuente: autores

Tabla 2: Comparación de temperaturas de bulbo seco y humedades relativas en ambas pruebas de secado

#### 4. CONCLUSIONES

- En la prueba de secado con ventilación axial y ventilación centrífuga forzada se dificulta obtener velocidades del aire uniformes en las entradas y en las salidas de los tramos de cepa utilizados; ya que, se emplearon altas velocidades del aire.
- En la prueba de secado con ventilación axial se obtuvo velocidades del aire más uniformes en las entradas y en las salidas de los tramos de cepa utilizados.

- La transferencia de calor por convección y radiación entre la superficie de la guadua con el flujo de aire en circulación en la prueba de secado con ventilación axial y ventilación centrífuga forzada no cumplió con los resultados esperados; ya que el valor promedio de humedad relativa en la entrada de los tramos de cepa (65.5%) fue mayor que el valor promedio de humedad relativa en la salida (63.6%) debido a la alta velocidad del aire.
- La transferencia de calor por convección y radiación entre la superficie de la guadua con el flujo de aire en circulación en la prueba de secado con ventilación axial cumplió con los resultados esperados; ya que el valor promedio de humedad relativa en la entrada de los tramos de cepa (52.74%) fue menor que el valor promedio de humedad relativa en la salida (60.9%), debido a la baja velocidad y el arrastre de humedad.
- El comportamiento de las curvas del Contenido de Humedad (%CH) en la prueba de secado con ventilación centrífuga forzada, presentó un comportamiento de tipo exponencial  $u_m = 54.976 e^{-0.0014 t}$  planteado en (Montoya Arango J. A., 2006) [5] y para la prueba de secado con ventilación axial fue  $u_m = 73.146 e^{-0.0019 t}$ , cumpliéndose así con las ecuaciones establecidas para el tipo de secado solar. La constante del secador ( $\alpha$ ) que se obtuvo en ambas pruebas de secado fue similar ( $\alpha = -0.0014$  y  $\alpha = -0.0019$ ), lo que muestra la confiabilidad de los resultados obtenidos en ambas pruebas.
- La eliminación de los diafragmas de los tramos de cepa utilizados en ambas pruebas de secado mejoró el paso del flujo de aire caliente a través del interior de los tramos de cepa.
- El valor promedio de la rata de secado para la prueba con ventilación axial y ventilación centrífuga forzada fue de 0.25 y para la prueba de secado con ventilación axial fue de 0.35, lo que indica que el secado en la segunda prueba fue más rápido.
- Con base en el análisis de los resultados obtenidos en las pruebas de secado desarrolladas en esta investigación se puede concluir que la ventilación centrífuga forzada es menos eficiente para el proceso de secado solar de tramos de cepa de *Guadua angustifolia* de tipo rolliza sin diafragma.

#### BIBLIOGRAFÍA

- [1] Montoya Arango, Jorge A. & Orozco Hincapié, Carlos A. (2005): Secado Solar y Convencional de la

*Guadua angustifolia*, Scientia et Técnica, UTP, Vol. XI, N° 27, Abril 2005.

- [2] Hoheisel, Hannes., (1989) : Manual del Grupo Andino Para el Secado de Maderas, 1ª Edición, Carvajal S. A., Lima Perú, 124 pp.
- [3] González B. Héctor Álvaro, & Montoya Arango, Jorge A. (2006): Metodología de preparación de muestras experimentales en procesos investigativos con *Guadua angustifolia* Kunth, Scientia et Técnica, UTP, Vol. XIII, N° 34, Agosto 2006.
- [4] Corvalan R., Horn M., Román 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.
- [5] Montoya Arango, Jorge A (2006): Trocknungs - verfahren für die Bambusart *Guadua angustifolia* Kunth unter tropischen Bedingungen, tesis Ph.D, Universität Hamburg-Germany.
- [6] Brunner-Hildebrand (1987): Die Schnittholztrocknung 5a Auflage, Buchdruckwerkstätten Hannover GmbH, Hannover, 322 pp.