

51397  
53B87

**UNIVERSIDAD DE LOS ANDES  
CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES DE POSTGRADO  
OPCION TECNOLOGIA DE PRODUCTOS FORESTALES**

**SECADO AL HORNO DE SAQUISAQUI APLICANDO UN HORARIO  
COMBINADO: CONVENCIONAL - ALTA TEMPERATURA**

**POR: ING. FOR. AMARILIS BURGOS FRANCO  
TUTOR: JORGE DURÁN PULIDO, PHD**

**TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO DE MAGISTER  
SCIENTIAE**

**MÉRIDA, OCTUBRE 1995**

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
(CC BY - NC - SA 3.0 VE )

## CONTENIDO

	Pág.	
1	INTRODUCCION	1
2	REVISION BIBLIOGRAFICA	4
3	MATERIALES Y METODOS	10
3 1	Materiales	10
3 2	Equipo	11
3 2 1	Otros equipos utilizados	11
3 3	Métodos	15
3 3 1	Selección de la madera	15
3 3 2	Apilado	18
3 3 3	Muestras para control del secado	19
3 3 3 1	Selección de las muestras	19
3 3 3 2	Preparación de las muestras	19
3 3 3 3	Determinación del contenido de humedad y del peso seco al horno de las muestras	21
3 3 3 4	Colocación de las muestras de secado en la pila	22
3 3 3 5	Uso de las muestras durante el secado	22
3 3 3 6	Control con electrodos o sensores	23
3 3 4	Preparación de la cámara	23
3 3 5	Proceso de secado y control	24
3 3 6	Contenido de humedad final, prueba de esfuerzos y gradiente de humedad	27
3 3 7	Evaluación de los defectos de secado	27
4	ANALISIS DE LOS RESULTADOS	34
4 1	Tiempo de secado	34
	a) Fase de calentamiento	34
	b) Fase de secado	36
	c) Fase de ecualización y acondicionamiento	40
4 2	Alabeo	42
4 3	Grietas y colapso	47
4 4	Contracciones	49
4 5	Contenido de humedad final	52
5	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
6	BIBLIOGRAFIA	62
7	ANEXOS	65

## LISTA DE CUADROS

N°	DESCRIPCION	Pág.
1	.Secado convencional *	25
2	Tratamientos de secado al horno para saquisaqi *	26
3	Contenido de humedad, tiempo de procesamiento y temperaturas de secado para el secado al horno del saquisaqi *	35
4	Análisis de varianza para el defecto de abarquillado	43
5	Análisis de varianza para el defecto de arqueadura	44
6	Análisis de varianza para el defecto de encorvadura	44
7	Análisis de varianza para el defecto de torcedura	45
8	Tipos de alabeo en madera de saquisaqi seca al horno	46
9	Porcentaje de tablas con grietas y colapso por tratamiento	48
10	Análisis de varianza para contracciones	49
11	Contracciones en tablas de saquisaqi	51
12	Análisis de varianza para el contenido de humedad final	52
13	Datos de contenidos de humedad final promedio y tiempo de secado por tratamiento.	59

## LISTA DE FIGURAS

<b>N°</b>	<b>DESCRIPCION</b>	<b>Pág.</b>
1	Vista de la cámara de secado	13
2	Sistema de Control Automático y Computarizado	14
3	Carro diseñado para el experimento	16
4	Puntos de medición: Largo (L), Ancho (a) y Espesor (e) cada tabla	17
5	Preparación de las muestras para el control del contenido de humedad de la madera durante el secado	20
6	Medidor de humedad del tipo de resistencia	29
7	Medición de abarquillado	31
8	Medición de arqueadura	32
9	Medición de encorvadura	33
10	Gráfico de secado del tratamiento 1	37
11	Gráfico de secado del tratamiento 2	38
12	Gráfico de secado del tratamiento 3	39
13	Gráfico de secado del tratamiento 4	41
14	Histograma de frecuencia del contenido de humedad final del tratamiento 1	54
15	Histograma de frecuencia del contenido de humedad final del tratamiento 2	55
16	Histograma de frecuencia del contenido de humedad final del tratamiento 3	57
17	Histograma de frecuencia del contenido de humedad final del tratamiento 4	58

## **AGRADECIMIENTO**

Al Dr. Jorge Durán Pulido, quien guió y asesoró todos mis trabajos.

Al Proyecto Planta de Secado de la Facultad de Ciencias Forestales, por su inestimable colaboración en el aporte de la materia prima para tres tratamientos, equipos y personal, para realizar la investigación.

Al Centro de Estudios Forestales de Postgrado de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad de Los Andes por su ayuda económica durante mis primeros años de estudio.

Al Profesor Darío Garay, por su gran ayuda y colaboración.

Al Laboratorio Nacional de Productos Forestales por la valiosa colaboración de su estructura instalada. A su personal Docente, Técnico, Administrativo y de Servicio, por su buena disponibilidad y atención..

A la Sra. Virginia de Durán por su ayuda incondicional.

A mi hijo Luis Eduardo, mi hermana Josefa y mi sobrina Karen, por su estímulo y comprensión en los momentos difíciles.

A todos aquellos amigos que contribuyeron a la feliz culminación de esta investigación.

**Para todos, mi profundo agradecimiento...**

**Amarilis.**

## RESUMEN

Una de las últimas modificaciones que se han introducido en la tecnología del secado en cámara, ha sido la de incrementar la temperatura con el fin de reducir la duración del secado. En este estudio, tablas de saquisaqi de 3m de largo, 2,5 cm de espesor y anchos variables fueron secadas mediante la aplicación de cuatro tratamientos. Al tratamiento 1 se le aplicó un horario de secado convencional, al tratamiento 4 un horario de alta temperatura y a los tratamientos restantes (2 y 3) un horario convencional hasta lograr contenidos de humedad promedio de 25 y 35% antes de aplicarles el horario de alta temperatura hasta alcanzar contenidos de humedad final de más o menos 10%. Al finalizar cada tratamiento se evaluó tiempo de secado, contracción, clase y cantidad de defectos y variabilidad en contenido de humedad final. El tiempo requerido para secar saquisaqi en tablas varió desde 81 horas para la carga secada enteramente a un horario de alta temperatura y 172 horas para la carga secada mediante un horario convencional. El ahorro de tiempo de secado comparado con el horario convencional fue de 52% para el horario a alta temperatura y de 28 y 36 % respectivamente para los horarios combinados. La mayor contracción promedio en espesor la presentó el tratamiento 4, en ancho el tratamiento 1 y en largo el tratamiento 3. La arqueadura y la encorvadura fueron los tipos de alabeo mas frecuentes en todos los tratamientos. El porcentaje de grietas superficiales y en los extremos y el colapso superficial fue mayor con la aplicación del tratamiento a alta temperatura cuando la madera tenía contenidos de humedad promedio por encima o igual al 35%. Estos defectos en su mayoría están asociados a la presencia de médula y altos contenidos de humedad final.

## ABSTRACT

One of the latest modifications in kiln drying technology has been the increment in drying temperature over the 100°C range with the objective of reducing drying time. In this research, saquisahui (*Bombacopsis quinata*) boards of 25 mm thick by 3m long and random width were kiln dried by application of four treatments. Treatment 1 consisted of a conventional drying schedule, treatment 4 was a high temperature schedule at 110°C, and treatments 2 and 3 were a combination of a conventional drying schedule applied until of the average moisture content of the charge was 25 and 35% respectively, before applying the high temperature drying schedule to obtain an average final moisture content of 10%. Treatments were evaluated for drying time, shrinkage, type and quantity of drying defects, and final moisture content variability. The time required for drying saquisahui boards ranged from 81 hours for the high temperature schedule to 172 hours for the conventional schedule. The drying time for the high temperature schedule was 52% shorter than for the conventional drying schedule; and 28 to 36% less than for the combined schedule conventional-high temperature. Shrinkage for treatment 4 showed the greatest average value in thickness and treatment 1 in width, while treatment 3 showed the greatest shrinkage in length. Bow and crook were the most frequent defects in all treatments. The amount of surface checks, end checks, and surface collapse were the greatest for the high temperature treatment when the boards had an average moisture content greater than or equal to 35%. These defects were associated with the presence of pith and a high final moisture content.

## 1. INTRODUCCION

En las Reservas Forestales de Occidente, se ha producido un sostenido aumento en la industrialización de la especie saquisaqui, generándose una alta competitividad en su comercialización. En consecuencia, un adecuado secado de esta madera ofrece interesantes expectativas de ingresos a nuevos mercados internos y externos, de mayor exigencia en cuanto a la calidad de la misma, siendo de importancia contar con un estudio sobre las mejores condiciones de secado, a fin de obtener madera seca de calidad en el menor tiempo posible.

Se hace necesario determinar las mejores condiciones de secado posibles con el objeto de minimizar los defectos de secado a través de programas que optimicen el proceso.

La madera puesta en servicio, para que se mantenga estable dimensionalmente y cumpla las funciones para las que se utiliza, debe estar seca, hasta una humedad de equilibrio con el ambiente en que se encuentra.

De lo expuesto anteriormente concluimos que un buen proceso de secado es indispensable para obtener una buena calidad en la madera elaborada. Por secado al horno se entiende la eliminación del exceso de agua de la madera, bajo condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, en condiciones rápidas, económicas y con producción mínima de defectos.

Una de las últimas modificaciones que se han introducido en la tecnología del secado en cámara ha sido la de incrementar la temperatura con la finalidad de reducir la duración del secado.

Los horarios de secado convencional, recomiendan utilizar temperaturas comprendidas entre 40 y 70 °C y como caso extremo 80 y 90 °C solo en la última etapa de secado de algunas especies.

Desde hace 30 a 35 años, se sabe que algunas especies pueden ser secadas empleando temperaturas de 120 °C, e incluso mas, sin riesgo de sufrir daños.

El problema de la aplicación de altas temperaturas ( >100 °C) surge con el hecho de que cada especie y, aún dentro de ésta, cada tipo de pieza reacciona de manera diferente ante este procedimiento de secado, por lo que los avances habidos en este campo están basados en la experimentación práctica sobre cada especie, espesor y tipo de pieza.

Las experiencias realizadas hasta el momento en diferentes países, demuestran que ciertas especies pueden ser secadas a alta temperatura de principio a fin, mientras que otras solamente la toleran al final de la operación.

El secado a alta temperatura es en este momento una realidad industrial. La lista de coníferas que pueden ser secadas a temperaturas superiores a 100 °C desde el estado verde, aumentan continuamente, incluso el secado de latifoliadas es posible con ciertas limitaciones.

Indudablemente, para lograr una buena calidad de secado se deben cuidar algunos aspectos relacionados tanto con el diseño del secador como con el proceso de secado en sí.

El secado a alta temperatura tiene un futuro prometedor, pero con ciertas limitaciones en cuanto a especies a secar y calidad de secado a obtener. Actualmente son ya muchos los casos en que se obtiene material de buena

calidad, mas económico y en menor tiempo que con el procedimiento convencional.

La investigación en el área de secado de las maderas en nuestro país, no ha prosperado lo suficiente, posiblemente por falta de equipos adecuados, aplicación de técnicas de secado y promoción tanto a los industriales como a los consumidores de los beneficios que proporciona la madera seca al horno.

Para esta investigación se seleccionó la especie *Bombacopsis quinata* (saquisaqi) porque esta representa aproximadamente el 50% del volumen rollizo total extraído de las Reservas Forestales de Occidente y a nivel nacional e internacional existe una gran demanda de esta madera seca al horno, especialmente en el área de mueblería, construcción, ebanistería, etc., que no está satisfecha debido a las pocas empresas que secan madera al horno.

El presente trabajo se realizó en la planta de secado de la Facultad de Ciencias Forestales ubicada en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LABONAC) con una capacidad calorífica instalada de 250.000 Kcal/h y una tecnología de punta.

Con la presente investigación se propone el secado de la especie *Bombacopsis quinata* (saquisaqi) mediante un horario combinado: convencional - alta temperatura, comenzando desde la condición verde a temperatura convencional y cambiando a alta temperatura cuando la madera alcanza un contenido de humedad promedio de 35 y 25%, la condición de alta temperatura se mantuvo hasta alcanzar el contenido de humedad final establecido (10%). Para hacer comparaciones se secaron dos cargas: una carga se secó con un horario convencional y la otra carga con un horario a alta temperatura, evaluando al terminar el secado la contracción dimensional, clase y cantidad de defectos de

secado que ocurre en cada tratamiento y variabilidad en contenido de humedad final y tiempo de secado.

La información obtenida de esta investigación es de gran importancia para la industria forestal nacional, especialmente las que procesan latifoliadas, principalmente en la reducción de tiempos de secado, inventarios de madera y costos y en el aumento de la productividad de la empresa. Estimar el tiempo de secado de una determinada especie maderera, es de gran interés, especialmente para calcular el costo de secado y la productividad de una determinada instalación.

## **2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA**

El secado a altas temperaturas se ha definido como el secado de madera a temperaturas mayores o iguales a 100 °C (Hildebrand 1970, Bachich y Graham 1980; Culpepper 1990;).

El secado a altas temperaturas no es una idea nueva. Una patente para este proceso fue expedida en 1987. En Australia se usa el secado a altas temperaturas desde 1971. Para esa época secaban *Pinus ellioti* de 40 mm de espesor a 120 °C de temperatura a 12% de contenido de humedad final en 16 horas después del período de calentamiento, ahora lo secan a 200 °C desde la condición verde hasta 10% de contenido de humedad en 2,5 h (McMillen y Wengert 1978).

En los años 1920 a 1930, hornos que operaban a altas temperaturas utilizando vapor supercalentado fueron reportados en el Noroeste del Pacífico en los Estados Unidos y en Europa. Debido a que estos hornos corroían excesivamente y no producían material de calidad, especialmente con latifoliadas, su presencia en la industria fue corta. Mas tarde (Fischer y Cepek 1941 citados por Boone 1979)

desarrollaron pequeños hornos de secado calentados eléctricamente y con circulación forzada de una mezcla aire-vapor. Posteriormente el desarrollo de cámaras de secado en aluminio, prefabricadas contribuyeron al avance del secado a altas temperaturas, minimizando los problemas relacionados con la expansión térmica y degradación que se producían en los hornos de mampostería y ladrillo.

El uso de técnicas de secado a altas temperaturas en los Estados Unidos ha sido limitado mayormente a coníferas (Culpepper 1990). Mientras en Europa ha sido utilizado comercialmente en latifoliadas previamente secadas al aire. Investigaciones en Canadá y Estados Unidos han indicado que el proceso es técnicamente factible en muchas especies de los Estados Unidos secadas previamente al aire. También es aplicable a latifoliadas desde la condición verde en especies muy permeables (McMillen y Wengert 1978).

Las investigaciones sobre horarios a alta temperatura de doce especies latifoliadas concluyeron en que algunas especies de densidad media a baja pueden ser secadas desde la condición verde, recién aserrada, a 110 °C con resultados aceptables, dependiendo del uso del producto final (Boone 1984). Para muchas especies un horario combinado, comenzando con un horario convencional para la condición verde, pasando a un horario de alta temperatura cuando la madera tiene un contenido de humedad entre el 20 y 25%, genera resultados aceptables. Otras investigaciones sugieren que el cambio de temperatura de convencional a alta pueda ser realizado cuando el contenido de humedad esta en un rango de 30 a 40%. De esta forma se disminuye el tiempo de secado en un 80%, mientras los defectos de secado se incrementan en un 15% (Boone 1986).

Mackay (1974) diseñó un procedimiento de secado a alta temperatura para mezclas de postes de Aspen y Balsam poplar incorporando un proceso suave de acondicionamiento. El tiempo total fue 4 días, los postes secaron lo suficiente en

las capas externas para cumplir el 19% de contenido de humedad máximo establecido. Investigaciones posteriores demostraron que bolsas de agua (wet spots) aun presentes continuaron secando, produciendo contracción y colapso (Mackay 1976).

Avramidis y Mackay (1988) demostraron que el Pacific Coast Hemlock de 4 x 4 pulgadas puede ser secado desde la condición verde (aproximadamente 70%), a un contenido de humedad promedio de 18% en menos de 7 días con un mínimo de endurecimiento superficial y muy poco agrietamiento superficial.

Wengert (1974) realizó un estudio exploratorio de doce especies latifoliadas para determinar a que nivel de contenido de humedad el secado a alta temperatura puede ser iniciado con éxito. Los resultados indicaron que solamente los oaks (*Quercus spp*) y las tablas de sweetgum (*Liquidambar styraciflua*) y aspen (*Populus spp*) con bolsas de agua no secaron exitosamente desde la condición verde de la sierra, mientras que soft maple (*Acer rubrum*), basswood (*Tilia americana*), white ash (*Fraxinus americana*), hackberry (*Celtis occidentalis*) y black cherry (*Prunus serotina*), secaron sin excesivo alabeo u otros defectos cuantificables, aunque el maple desarrolló un ligero oscurecimiento.

Las latifoliadas a ser secadas bajo horarios de alta temperatura se dividen en tres categorías: La primera incluye especies que secan desde la condición verde de la sierra a 110 °C con niveles razonables de calidad. La segunda categoría de latifoliadas no tolera el secado de altas temperaturas desde la condición verde de la sierra, requiriendo de un presecado. Estas especies incluyen birch (*Betula spp*), beech (*Fagus grandifolia*) y otras, probablemente walnut (*Juglans nigra*). La tercera categoría la componen las especies refractarias o difíciles de secar como el oak (*Quercus spp*), hickory (*Carya spp*), pecan (*Carya illinoensis*) y otras, donde es preferible un período de presecado hasta lograr un contenido de humedad del 20%

antes de aplicar alta temperatura. Teniendo presente estas tres categorías, el secado a altas temperaturas será exitoso (Wolfe 1979).

El uso de altas temperaturas en secado de latifoliadas aún está en período de investigación, en general las latifoliadas no responden tan bien como las coníferas al proceso. Aún a temperaturas convencionales, el secado de coníferas es diferente al de latifoliadas. El éxito con latifoliadas es muy dependiente de la especie. Algunas especies pueden ser secadas exitosamente desde la condición verde recién aserrada; otras requieren un proceso antes de ser sometidas a altas temperaturas. El éxito del secado de latifoliadas se determina por la calidad de la madera a un contenido de humedad final logrado en un tiempo determinado. Los mejores resultados usando material verde han sido con maderas latifoliadas de baja densidad, tales como yellow poplar (*Liriodendron tulipifera*), cottonwood (*Populus deltoides*) y basswood (*Tilia americana*). Estas especies no son particularmente difíciles de secar a temperaturas convencionales (Boone 1979b).

Boone (1986) secó red maple de 4/4 mediante un horario convencional (T8-D4) a contenidos de humedad promedio de 45, 30 y 20% antes de la aplicación del horario de alta temperatura, finalizando el secado con un contenido del 6%. Incrementando la temperatura a 110 °C al 20% de contenido de humedad, redujo el tiempo de secado en un 30% y se produjo un 8% de tablas con grietas en los extremos. A la misma temperatura de 110 °C y 45% de contenido de humedad, se redujo el tiempo de secado en un 60%, aumentando en un 30% el agrietamiento en los extremos de las tablas.

Kozlik y Boone (1987) realizaron un estudio para encontrar un horario de corto tiempo y de rendimiento comparable a los obtenidos con horarios comerciales en término de cuatro criterios: mínimo degradado a 7% de contenido de humedad final; buen color y uniformidad; secado sin excesivas contracciones y resultados

*aceptables. La temperatura del bulbo seco fue mantenida a 110 °C y la depresión del bulbo húmedo fue variada. Aunque el secado a 110 °C causó excesivas contracciones, el problema fue corregido acondicionando a 102 °C de temperatura de bulbo seco y una depresión entre 1,7 y 2,8 °C. El horario sugerido tuvo un tiempo total de secado de 50 a 55 horas, mucho mas bajo que el de práctica comercial, produjo un mínimo de grado, uniformidad de color y mínima contracción. El resultado sugiere que el horario de alta temperatura puede ser práctico para hornos comerciales.*

Herzber, Taylor y Rosen (1983) realizaron un estudio para determinar el efecto del ancho de la pila, espesor de los separadores, velocidad del aire y reverso de los ventiladores, sobre el tiempo de secado y uniformidad del contenido de humedad dentro de una pila de madera de pino sureño secada a alta temperatura, reportando que el tiempo de secado fue significativamente influenciado por la velocidad del aire, ancho de la pila y espesor de los separadores, mientras que el tiempo del reverso de los ventiladores no tuvo un efecto significativo sobre el tiempo de secado. El ancho de la pila tuvo efecto limitado sobre la uniformidad del contenido de humedad, mientras que la velocidad de aire, espesor de los separadores y reverso de los ventiladores no tuvieron un efecto significativo sobre el mismo.

Hart, et al. (1989) desarrollaron un modelo de simulación computarizado construyendo familias de curvas de secado para demostrar la importancia relativa que tienen las variables sobre la tasa de secado del pino del sur. Ellos encontraron que la variación en contenido de humedad inicial, variación en anchos y espesores tienen un pronunciado efecto sobre la variación en contenido de humedad final y en el tiempo de secado. Entre la temperatura del bulbo seco y la tasa de secado hay una relación directa. La temperatura del bulbo húmedo en términos prácticos tiene muy poco efecto. En cuanto a la velocidad del aire, ésta tiene un efecto

pronunciado sobre la rata de secado. El espesor de los separadores no tuvo ningún efecto sobre la misma.

En el secado a altas temperaturas las temperaturas del bulbo seco se usan generalmente en el rango de 110 a 127 °C y las temperaturas del bulbo húmedo se monitorean pero normalmente no se controlan. Se recomiendan velocidades de aire altas de 5 a 6 m/seg con anchos de pilas de 1,20 a 1,50 m. Se debe usar peso sobre el tope de la carga de 244 Kg./m<sup>2</sup> o mas para controlar el alabeo en la madera de las últimas hileras. Con el uso de estas técnicas, el tiempo de secado varía; por ejemplo, el pino del sur de 8/4 es secado exitosamente a un contenido de humedad del 15% en 15 a 24 horas (Boone 1979a).

El grado de calidad asignado a las piezas de madera es afectado por el tipo y tamaño de defectos presentes en las mismas (Harding et al. 1993). De acuerdo a las normas de la National Hardwood Lumber Association (NHLA), el grado de calidad es determinado por el área de cortes libres de defectos sobre las piezas de madera. El secado a altas temperaturas incrementa el degrado en la mayoría de las latifoliadas (Bachich 1980). Los defectos mas comunes en secados a altas temperaturas son grietas internas, colapso, grietas superficiales y en los extremos, además oscurecimiento de la madera (Wolfe 1979, Boone et al. 1988).

Uno de los problemas característicos en el secado de latifoliadas a altas temperaturas es la variabilidad de contenido de humedad final. Milota et al. (1993) en su trabajo sobre Hem-fir indica que una pos selección de las piezas húmedas, sometiénolas luego a un segundo secado (resecado) puede incrementar la capacidad del secador entre 10 a 15% y reducir el rango de los valores de contenido de humedad final. Otra alternativa para reducir la variabilidad de contenido de humedad final es mediante un proceso de ecuación y acondicionamiento (Dubois et al. 1992; Boone 1989; Wolfe 1979). La principal

ventaja que presenta el proceso de ecualización y acondicionamiento es la uniformidad de la humedad final y la liberación de tensiones en la madera (Melo y Pabón 1987). Sin embargo este método produce una coloración indeseable y una considerable elevación del costo específico de secado.

Dubois et al. (1992) muestra en su investigación que el agrietamiento interno o panal de abejas (honeycomb) en Hemlock de la Costa del Pacífico de 1,20 m de longitud y 5 x 10 cm de sección transversal no es significativamente reducido por 2, 4 y 6 horas de acondicionamiento inmediatamente después de secado a altas temperaturas.

Los resultados de los estudios realizados por la JUNAC (1983) mostraron que tablas de la especie saquisaqui de 1,20 m de longitud, 15 cm de ancho y 2,5 cm de espesor, con un peso específico básico de 0,39, se secaron al aire en 425 días sin defectos, desde un contenido de humedad inicial de 168% hasta un contenido de humedad final de 20%. También experimentaron un secado al horno, con tablas de iguales dimensiones que las anteriores, aplicando un programa F (fuerte). La madera fue secada desde la condición verde con 168% de contenido de humedad hasta 40% de contenido de humedad final en 110 horas sin defectos.

Otro de los problemas importantes en el secado de latifoliadas a altas temperaturas es su efecto colateral sobre la cámara de secado. Un secador de alta temperatura requiere un programa de mantenimiento estricto, para evitar su corrosión por efecto de la humedad y los ácidos que desprende la madera durante el proceso (Wolfe 1979).

El secado a altas temperaturas según Rosen (1979) tiene la posibilidad de ahorrar un 10% de energía en comparación con un secado convencional, siempre que se tenga en cuenta ciertos elementos tales como: 1) eliminar fugas: Al existir en la

cámara en un secado a altas temperaturas, aumentan los costos, ya que estas fugas requieren de mayores temperaturas y mas energía que las de un secado convencional. 2) prever un buen aislamiento, por dos razones: Una es prevenir pérdidas a través de las paredes del secador, debido a las diferencias de temperatura interior y exterior, y la otra es prevenir la condensación sobre las paredes y 3) mantener una apropiada ventilación para evitar la entrada de aire fresco en exceso al secador.

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Materiales**

La madera de saquisaqui (*Bombacopsis quinata*) utilizada en este trabajo procedió de las Reservas Forestales de Occidente. El material para tres tratamientos procedió del aserradero DAFORANACA ubicado en Santa Bárbara de Barinas. La planta de secado compró el material al Comodato ULA-MARNR, y de ese material se seleccionaron las tablas para los tratamientos. El material para el cuarto tratamiento se le compró a la empresa EMALLCA ubicada en Socopó, Estado Barinas.

#### **3.2 Equipo**

Para la elaboración del presente estudio se empleó la planta de secado de la Facultad de Ciencias Forestales ubicada en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LABONAC), la cual presenta las siguientes características:

- Una cámara de secado construida en aluminio, marca Gottert, modelo TG90AR, con capacidad instalada para 20 m<sup>3</sup>/carga, sistema de calefacción



**Figura 1. Vista de la cámara de secado**



**Figura 2. Sistema de Control Automático y Computarizado**

### **3.3 Métodos**

#### **3.3.1 Selección de la madera**

Del material existente en la planta de secado se seleccionó el material necesario para tres tratamientos. Las tablas se seleccionaron en su mayoría de madera de duramen, con un mínimo de defectos evitando la presencia de grietas, rajaduras, médula y pudriciones. En caso de existir grietas y rajaduras se marcó su magnitud, para ser evaluadas después del proceso de secado. El material para el tratamiento restante procedió de la empresa EMALLCA. Aproximadamente se utilizaron 3 m<sup>3</sup> de tablas de saquisqui por tratamiento.

Respecto a las dimensiones, las tablas fueron cortadas a 3 m de longitud, de acuerdo a la capacidad del carro diseñado para el experimento (Figura 3), el ancho varió entre 16 y 40 cm y el espesor 2,5 cm. La selección por espesor es indispensable, ya que el tiempo de secado varía en forma exponencial con el espesor.

El material que se le compró a la empresa EMALLCA (3 m<sup>3</sup>), se solicitó a 3 m de longitud, 2,5 cm de espesor y anchos variables entre 16 y 30 cm.

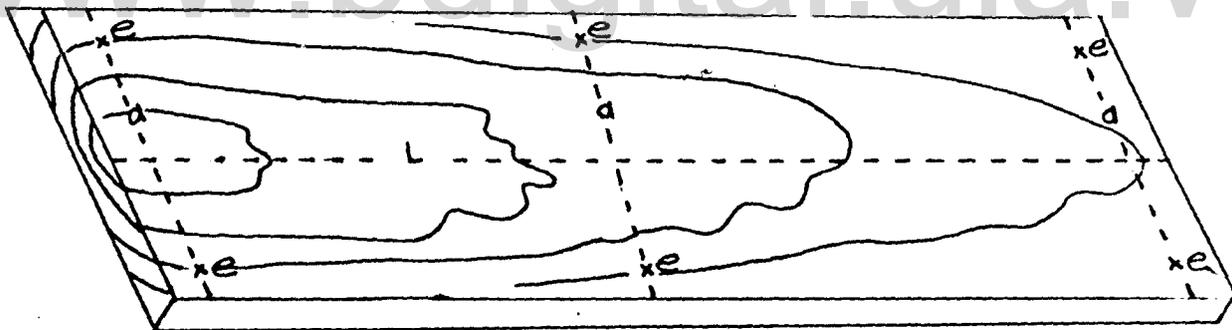
Después que el material fue cortado a la medida, se le asignó un código para su identificación, se procedió a cantar paralelamente los cantos de cada tabla.

Inmediatamente después de cortar y cantar las tablas se procedió a cubrir los extremos con pintura resistente a la humedad, capaz de evitar la rápida evaporación del agua a lo largo del grano de la madera, y así proteger los extremos contra la formación de grietas y rajaduras.

Luego a cada tabla se le midió el largo, el ancho en los extremos y en el centro de la tabla y el espesor en seis puntos como lo indica la Figura 4. El largo y el ancho se midieron con cinta métrica, mientras el espesor se hizo con un vernier digital.



**Figura 3. Carro diseñado para el experimento**



**Figura 4. Puntos de medición: Largo (L), Ancho (a) y Espesor (e) de cada tabla**

Estas mediciones se realizan con la finalidad de calcular la contracción que sufre la pieza de madera cuando es sometida a un proceso de secado, la cual se expresa como un porcentaje de la dimensión original. La contracción se calculó mediante la fórmula siguiente:

$$C(\%) = \frac{Dv - Do}{Dv} \times 100$$

Donde: C = Contracción

Dv = Dimensión en verde

Do = Dimensión final a determinado contenido de humedad.

A cada una de las tablas se le midió el contenido de humedad con el medidor de humedad del tipo de resistencia y a las tablas muestras se les calculó el CH por el método de secado en estufa.

El contenido de humedad final establecido, de acuerdo a las condiciones ambientales a que está expuesta la madera después del secado y al uso posible que se le da, fue de 10 %.

### **3.3.2 Apilado**

Una vez preparado el material fue colocado sobre el carro diseñado para el experimento formando en cada carga de secado una pila de 27 hileras de tablas de 1,60 m de alto por 1,20 m de ancho y 3 m de longitud con tablas de 2,5 cm de espesor, de 15 a 40 cm de ancho y 3 m de largo.

Los separadores utilizados fueron de madera seca, libres de defectos de 2,5 cm de ancho por 2 cm de espesor y 1,60 m de largo colocados correctamente cada 50 cm. Los separadores de los extremos de las tablas se colocaron formando un solo

piano con las caras transversales de ellas. De esta forma se redujo las deformaciones, grietas y rajaduras en los extremos.

La localización exacta de cada tabla en la pila fue registrada en un croquis que se levantó para tal efecto con el objeto de obtener el máximo posible de información.

La velocidad del aire a través de la carga fue 5 m/seg. Los ventiladores fueron reversados cada 4 horas para mejorar la distribución de la humedad final.

### **3.3.3 Muestras para control del secado**

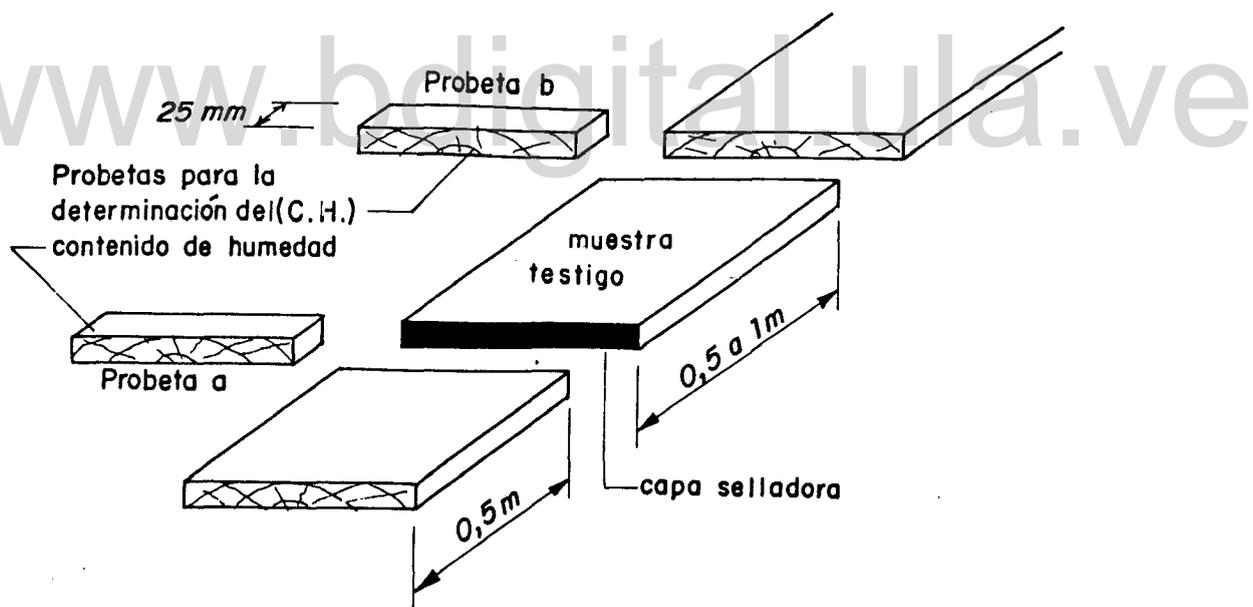
Terminadas las mediciones de las dimensiones se procedió a obtener las muestras para el control del secado. A medida que la madera se va secando, desarrolla esfuerzos que siguen un patrón asociado con los cambios de humedad (JUNAC 1989). Como no es posible medir la humedad de toda la madera durante el proceso, es necesario recurrir a muestras representativas de la carga.

#### **3.3.3.1 Selección de las muestras**

Para la selección de las muestras se escogieron las tablas mas rojas, libres de defectos y anchos representativos de la carga. Se monitorearon ocho muestras por tratamiento, a seis de las cuales se les determinó el peso periódicamente durante el secado para determinar el contenido de humedad actual.

#### **3.3.3.2 Preparación de las muestras**

En la Figura 5 se observa la forma como se obtuvieron las muestras para el control del secado.



**Figura 5. Preparación de las muestras para el control del contenido de humedad de la madera durante el secado**

**Las probetas para determinar el contenido de humedad tenían 25 mm de ancho, igual espesor que el de la tabla y una longitud equivalente al ancho de la misma. El corte se hizo a una distancia de 50 cm de los extremos para evitar el efecto del secado longitudinal.**

Todas las muestras para contenido de humedad o control de secado se pesaron inmediatamente después de ser cortadas. Se evitaron muestras con nudos, corteza, médula, grietas y partes atacadas por hongos e insectos.

### **3.3.3.3 Determinación del contenido de humedad y del peso seco al horno de las muestras**

El contenido de humedad de las muestras se obtuvo del promedio de las probetas cortadas de cada uno de los dos extremos, utilizando el sistema de secado en estufa. Para tal efecto, después de cortadas, las probetas se limpiaron, marcaron y pesaron; luego se colocaron dentro de la estufa con temperatura de  $103 \pm 2$  °C hasta obtener peso constante; finalmente, se volvieron a pesar y se determinó su contenido de humedad mediante la siguiente fórmula:

$$CH = \frac{P_v - P_{sh}}{P_{sh}} 100$$

Donde:

**CH=** Contenido de humedad de la madera expresada como un porcentaje de su peso anhidro.

**Pv=** Peso de la madera en estado húmedo o peso inicial.

**Psh=** Peso seco al horno de la madera; peso final constante.

Inmediatamente después de cortadas las muestras de secado se limpiaron, se codificaron, se sellaron en los extremos con pintura impermeabilizante, resistente a altas temperaturas y se pesaron. Este peso corresponde al peso inicial o verde de esa muestra.

El peso final o peso seco al horno de las muestras se calcularon teniendo presente que el porcentaje de humedad de las muestras de secado en el momento de ser cortadas y secadas es la media aritmética de los valores del porcentaje de humedad de las dos secciones de humedad que se cortaron de los extremos de las muestras. Conociendo este valor y el peso de la muestra testigo en el momento que las secciones fueron cortadas, se calculó el peso seco al horno (Psh) de las muestras testigos utilizando la siguiente fórmula:

$$Psh = \frac{\text{Peso Inicial de la muestra}}{100 + CH \text{ de la muestra}} \times 100$$

#### **3.3.3.4 Colocación de las muestras de secado en la pila**

La colocación de las muestras testigos de secado se hizo con el criterio de una correcta representación de la pila. Además, permitiendo su fácil extracción y nueva colocación durante los chequeos periódicos a lo largo del proceso.

#### **3.3.3.5 Uso de las muestras durante el secado**

Las condiciones climáticas de la cámara se cambiaron según el horario de tiempo preestablecido en cada tratamiento. Las muestras fueron pesadas cada 24 horas durante los primeros días, hasta que la temperatura en la cámara alcanzó 93 °C.

Para determinar el contenido de humedad de las muestras cada vez que se pesaron se utilizó la siguiente fórmula:

$$\text{CH actual (\%)} = \frac{\text{Peso actual} - \text{Peso seco calculado}}{\text{Peso seco calculado}} \times 100$$

Los contenidos de humedad calculados de las muestras testigos durante cada pesada fueron comparados con los contenidos de humedad indicados por los sensores de la computadora.

#### **3.3.3.6 Control con electrodos o sensores**

La colocación de los electrodos o sensores se hizo en el momento del apilado, se clavaron un par de electrodos en cada muestra de control, perpendicular a la fibra de la madera y en el centro de la tabla, con una profundidad de penetración de aproximadamente la mitad del espesor de la tabla y separados entre ellos a una distancia de 3 cm, mediante un cable se conectaron los sensores al equipo control, colocado al lado de la cámara de secado.

#### **3.3.4 Preparación de la cámara**

De la misma forma como la madera se preparó para el secado, la cámara de secado también se preparó antes de cada carga. De esta manera se asegura un secado libre de defectos, uniforme y mucho más rápido.

La verificación del buen funcionamiento de la cámara comprendió la revisión del sistema de calefacción, sistema de ventilación, sistema de humidificación, sistema de control y registro y, finalmente, una inspección general.

### **3.3.5 Proceso de secado y control**

El diseño de la investigación contempló cuatro tratamientos. Al tratamiento N° 1 se le aplicó un horario de secado convencional (Cuadro 1) hasta alcanzar un contenido de humedad del 10%, al tratamiento N° 4 un horario de secado de alta temperatura, los dos tratamientos restantes fueron una combinación de horario convencional y de alta temperatura, en los cuales se aplicó el horario convencional hasta alcanzar los niveles de contenido de humedad de la madera de 25 y 35% respectivamente antes de la aplicación del horario de alta temperatura para obtener el CH deseado, el cual era de 10%.

El material fue sometido a un proceso de secado siguiendo las condiciones climáticas establecidas en los horarios para cada uno de los tratamientos según el Cuadro 2.

El control del proceso se realizó a través de las muestras testigos obtenidas y de los electrodos o sensores colocados en las muestras control, con la finalidad de obtener el contenido de humedad en el estado actual del secado.

Las muestras testigos fueron sometidas a la mismas condiciones de secado que el resto de la carga, ellas se colocaron a ambos lados de la pila, con la finalidad de facilitar su extracción y reposición en el momento de realizar la pesada. El cálculo del contenido de humedad actual de las muestras testigos se determinó en función del peso seco al horno calculado para cada muestra testigo y el peso anhidro correspondiente al día en que se realiza la pesada.

**Cuadro 1. Secado convencional \***

<b>PASOS</b>	<b>TIEMPO (h)</b>	<b>TEMPERATURA (°C)</b>	<b>CHE (%)</b>
1	2	55	13
2	10	75	11
3	24	75	8
4	24	80	6
5	24	85	5
6	24	88	4
7	48	93	3
8	4	85	3
9	4	85	7
10	5	85	13
<b>TOTAL</b>	<b>169</b>		

- \* Horario que está siendo utilizado por el Dr. J. Durán en la Planta de Secado de la Facultad de Ciencias Forestales con muy buenos resultados.

**Cuadro 2. Tratamientos de secado al horno para saquisqui \***

Tratamientos	Convencional		Alta Temperatura		
	Horario de secado	Contenido de humedad	Temperatura	CHE	CH
		%	°C	%	%
1	Convencional	Verde a $\pm 10$	-	-	-
2	Convencional	Verde a $\pm 25$	110	3	10
3	Convencional	Verde a $\pm 35$	110	3	10
4	-	-	110	3	10

\* Todas las cargas fueron ecualizadas al 7% de contenido de humedad de equilibrio y acondicionadas al 11% de CHE.

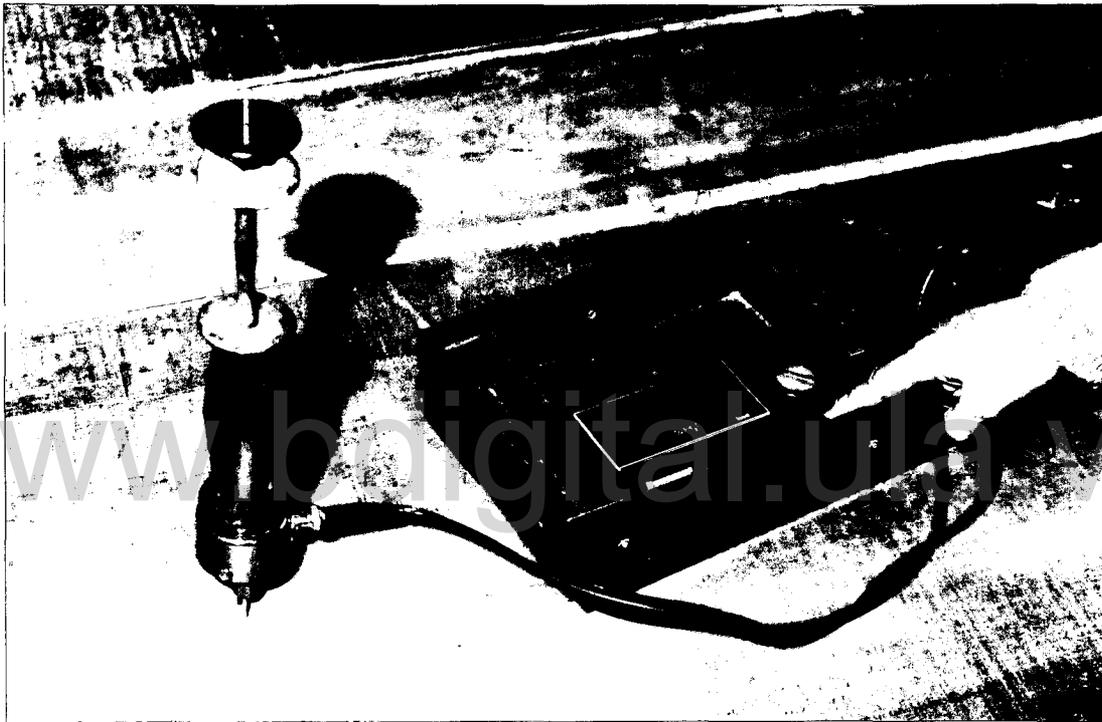
A través de los electrodos o sensores de contenido de humedad de las muestras de control en proceso de secado se obtuvo en forma directa leyendo en el equipo control al cual estaban conectados los sensores.

Con los registros obtenidos por ambos métodos se realizaron los cambios al paso de alta temperatura siguiendo los horarios de secado establecidos.

Al finalizar cada uno de los tratamientos de secado, las tablas fueron evaluadas, con la finalidad de determinar los defectos de secado. Al material se le cuantificó los tipos de alabeo (abarquillado, arqueadura, encorvadura y torcedura), los cuales son a menudo causados por la diferencia entre contracción radial, tangencial y longitudinal cuando el agua es removida de las paredes de las células. Para ello se utilizó un banco plano con plataforma de madera contraenchapada de 4 m de longitud y 60 cm de ancho, una escuadra y un vernier digital.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)





**Figura 6. Medidor de humedad del tipo de resistencia**

Para la medición de abarquillado, se apoyó la pieza con la cara convexa sobre la plataforma. A continuación se colocó la escuadra y con el vernier se midió la mayor deformación de la cara con respecto a los bordes (Figura 7).

Para la medición de arqueadura, se colocó la pieza con la cara cóncava sobre la plataforma, se apoyaron los extremos de la pieza y con el vernier se midió el punto de mayor deformación (Figura 8).

Para la medición de la encorvadura, se colocó la pieza de canto, apoyando sus extremos sobre la plataforma y con el vernier se midió el punto de mayor deformación (Figura 9).

Para la medición de la torcedura, se apoyaron tres esquinas de la pieza sobre la plataforma, posteriormente se procedió con el vernier de manera análoga para medir los otros tipos de alabeo, midiendo la deformación máxima.



**Figura 7. Medición del defecto abarquillado**



**Figura 8. Medición del defecto arqueadura**



**Figura 9. Medición del defecto encorvadura**

## **4. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

### **4.1 Tiempo de secado**

El tiempo requerido para secar saquisaqi desde la condición verde hasta el 10% de contenido de humedad final varió desde 81 horas para madera secada completamente a 110 °C (tratamiento 4) a 172 horas para el tratamiento convencional (tratamiento 1) (Cuadro 3). El tiempo que la madera fue expuesta a 110 °C varió desde 54 a 0 h. El contenido de humedad logrado tanto en las muestras como el contenido de humedad final promedio de cada una de las cargas estuvieron muy cerca del contenido de humedad deseado.

En la conducción del secado en cada uno de los tratamientos se cumplieron las siguientes fases o pasos:

#### **a) Fase de calentamiento**

Esta fase consistió en elevar la temperatura dentro de la cámara hasta alcanzar el primer valor deseado para la iniciación del programa de secado.

La capacidad calorífica del secador permitió el calentamiento del aire en aproximadamente tres horas en todos los tratamientos; esto está dentro de la regla general donde se calcula una hora de calentamiento por centímetro de espesor para maderas livianas.

**Cuadro 3. Contenido de humedad, tiempo de procesamiento y temperaturas para el secado al horno del saquisaqui \***

Tratamiento	CHI	Tiempo <110°C	CH antes de 110°C	Tiempo a 110°C	Tiempo de ecualización	Tiempo de acondicion.	CHF	Tiempo total (h)
1	143	159	-	-	4	5	9,68	172
2	136	81	26	14	11	11	8,05	121
3	100	60	36	24	10	12	10,26	109
4	100	-	100	54	11	12	8,88	81

\* Los tratamientos 1, 2 y 4 tuvieron 4 h de enfriamiento antes del proceso de ecualización y el tratamiento 3 tuvo 3 h.

Para el periodo de calentamiento se proyectó 13% de contenido de humedad de equilibrio (CHE) dentro de la cámara para evitar un secado prematuro de la madera, pero el CHE real fue 11% para el secado convencional, aproximadamente 10% para los tratamientos 2 y 3 y 4% para el secado a alta temperatura, esto explica en parte porque el material de esta carga presentó el mayor porcentaje de colapso.

En la fase de calentamiento por la alta humedad relativa inyectada a la cámara la madera ganó un 4% de humedad a excepción del tratamiento 4 donde la madera por la alta temperatura suministrada empezó inmediatamente a perder humedad.

## **b) Fase de secado**

Después de tres horas de calentamiento se procedió a la aplicación del programa de secado correspondiente en cada caso. En el paso inicial se empezó a bajar el CHE, para continuar luego modificando las condiciones climáticas de la cámara de acuerdo al programa establecido y al contenido de humedad de la madera.

El contenido de humedad de la madera por encima de 30% no es el real de la madera, ya que las lecturas obtenidas con el medidor de contenido de humedad por encima de este valor no son precisas. Además no sensó en ningún momento los altos contenidos de humedad iniciales, calculados mediante el método de secado en estufa.

La fase de secado para el tratamiento convencional se realizó en 156 horas, de las cuales 84 h se emplearon en llevar el CH promedio de la madera al 30%, empleando temperaturas hasta 85 °C y bajando gradualmente el CHE a 5%, las otras 72 h se utilizaron en bajar el CH de la madera al 10% (según los sensores), la temperatura se subió hasta 93 °C y el CHE bajó hasta 2,3% (Figura 10).

El tratamiento 2 tuvo una fase de secado mas corta, 91 h, de este total de horas, 60 se emplearon en llevar el CH de la madera a 30% y 31 h en llegar a un CH de 10,5%. Cuando la carga tenia aproximadamente 25% de contenido de humedad promedio, se procedió a la aplicación del horario a alta temperatura el cual duró 14 horas (Figura 11).

La fase de secado para el tratamiento 3 tardó 81 h, luego se le aplicó el horario a alta temperatura cuando el CH promedio de la carga era 35%. Tardó 75 h en llegar a este contenido de humedad y 24 h en llegar desde 35 a 6,3% que fue el contenido de humedad final promedio indicado por los sensores (Figura 12).

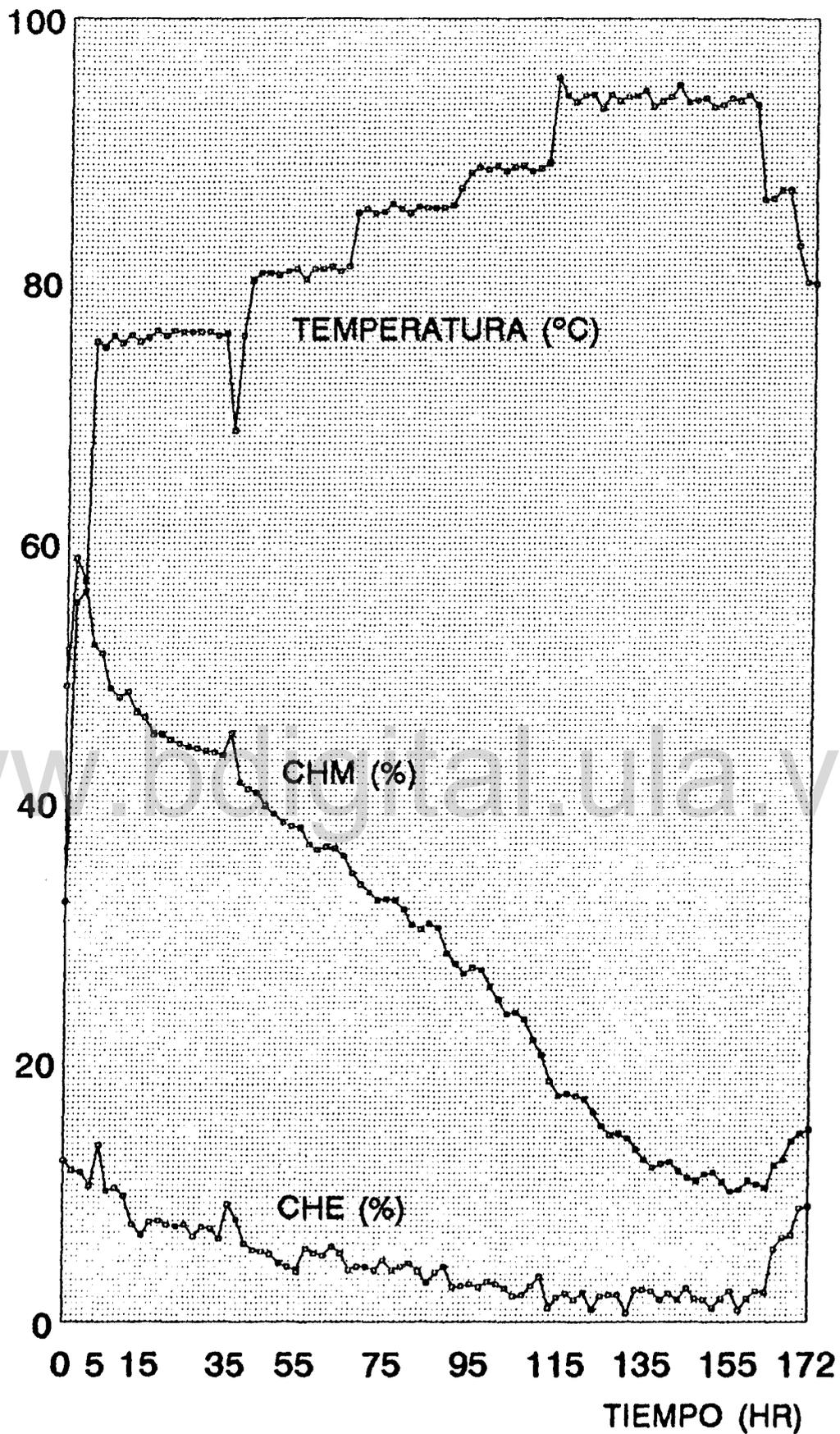
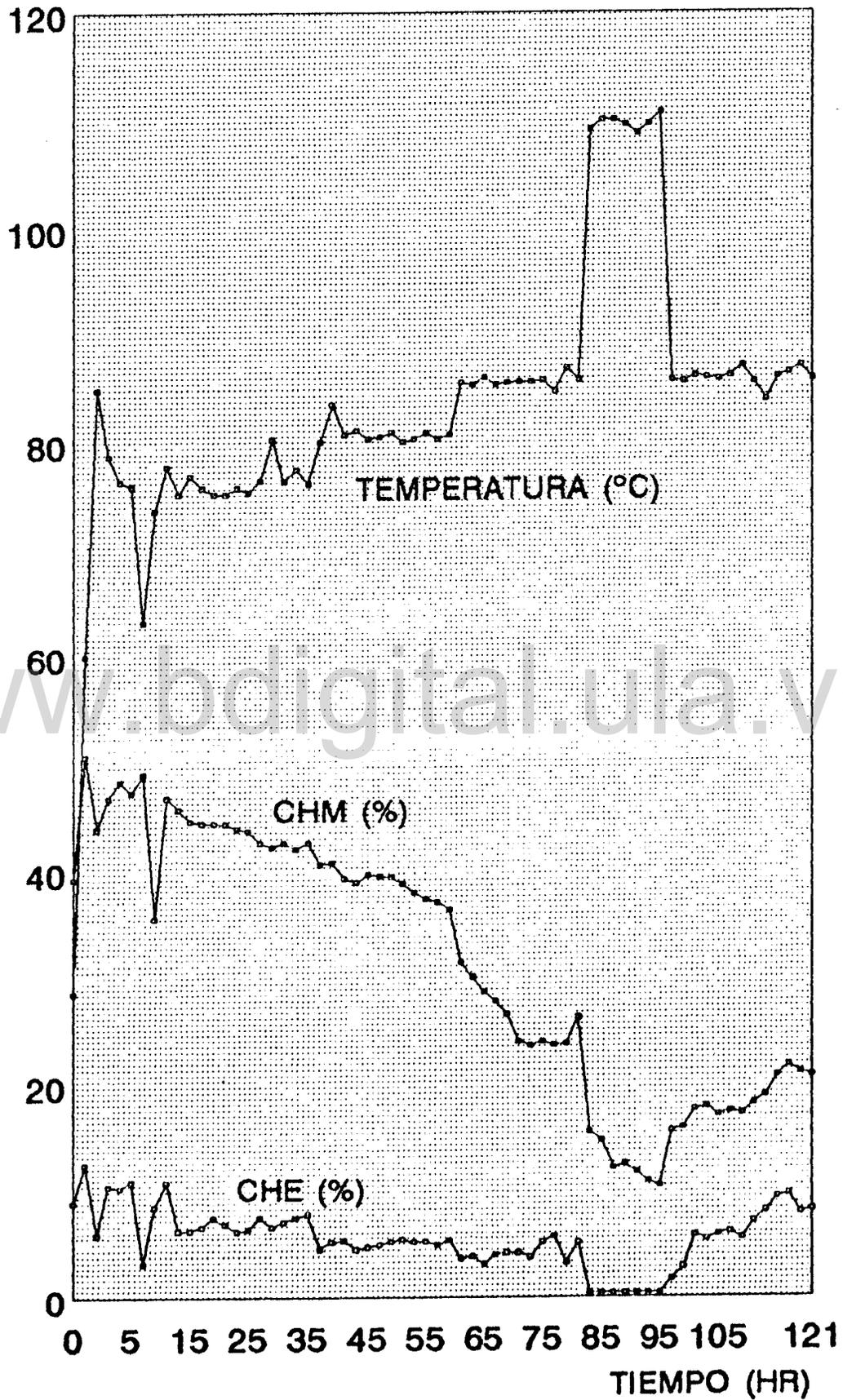
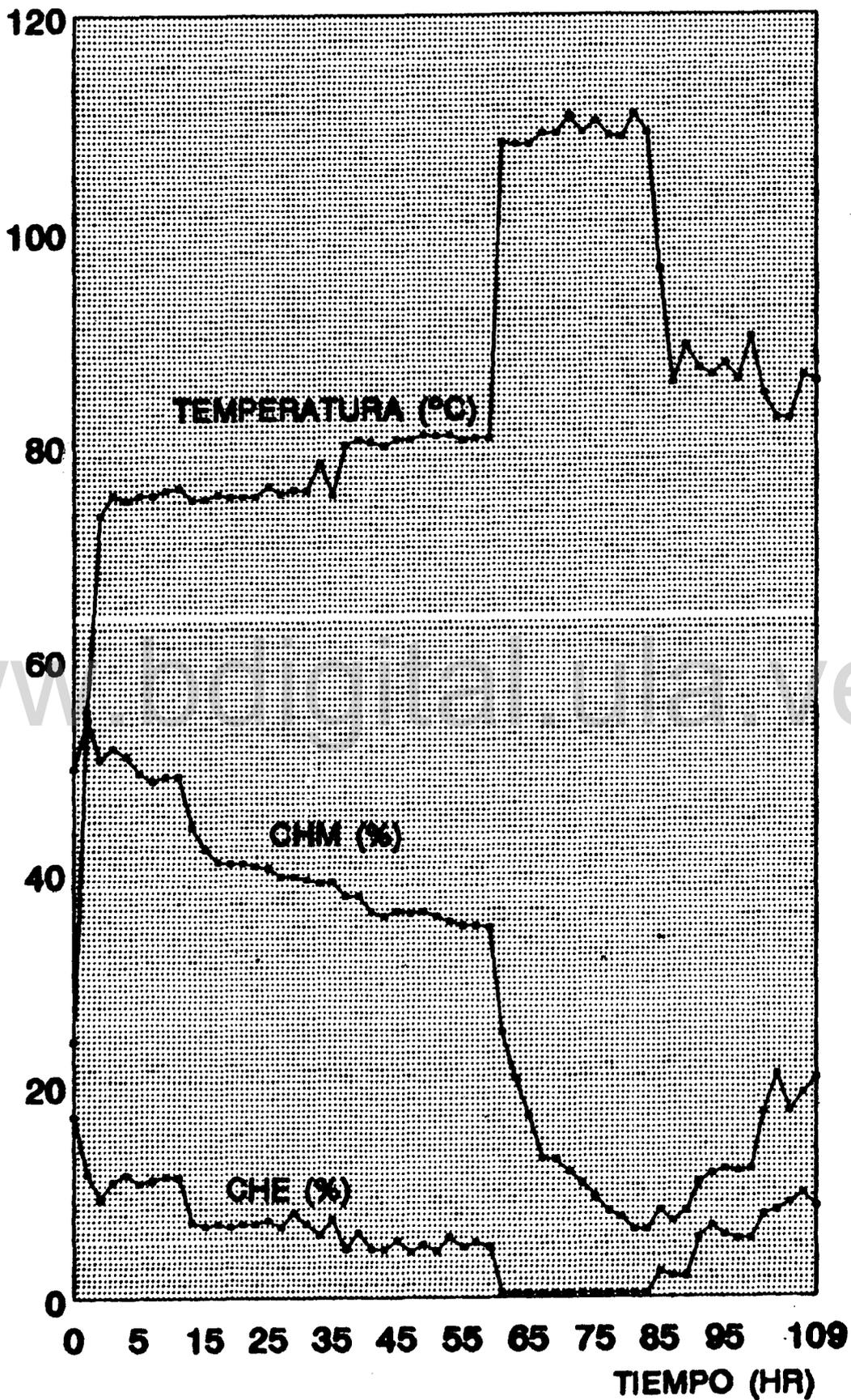


Figura 10. grafico de secado del tratamiento 1



Atribución - No Comercial - Compartir en Venezuela  
 (CC BY - NC - SA 3.0 VE)



**Figura 12. Grafico de secado del tratamiento 3**  
 (CC BY - NC - SA 3.0 VE )

La fase de secado para el tratamiento de alta temperatura fue la mas corta, tardó 51 horas en bajar el CH de la madera desde el estado inicial hasta 7,4%. Aproximadamente tardó 5 h en bajar a 30% de CH, es decir la rata de secado fue alrededor de 14 %/h, mientras tardó 46 h en bajar el CH hasta 7,4% con una rata de secado de 0,49 %/h (Figura 13).

### **c) Fase de ecualización y acondicionamiento**

Antes del proceso de ecualización la temperatura de la cámara fue bajada a 85 °C para obtener las condiciones deseadas de contenido de humedad de equilibrio, este enfriamiento tardó entre 3 y 4 horas. La ecualización se hizo con el propósito de reducir la variación en el contenido de humedad final de la carga, el cual puede causar serios problemas en los subsiguientes procesamientos y uso de la madera.

El proceso de acondicionamiento se realizó con el propósito de reducir el gradiente de humedad de las tablas y obtener una liberación adecuada de los esfuerzos introducidos en la madera durante el proceso de secado, los cuales pueden causar problemas de alabeo cuando la madera es reaserrada, cepillada, etc. Sin embargo no fue obtenido el 14% de CHE correspondiente al 4% por encima del contenido de humedad deseado (10%) al cual se deberían haber acondicionado las tablas.

El tiempo de ecualización y acondicionamiento varió entre 9 y 23 horas. El tratamiento convencional requirió el menor tiempo de ecualización y acondicionamiento, fue el tratamiento con el menor coeficiente de variación para el contenido de humedad final (23,77%) y en él se logró una adecuada liberación de esfuerzos. Los tratamientos 2, 3 y 4 mostraron mayor variación en el contenido de humedad final de las cargas. Los coeficientes de variación fueron 45,42; 42,27 y 50,10 respectivamente.

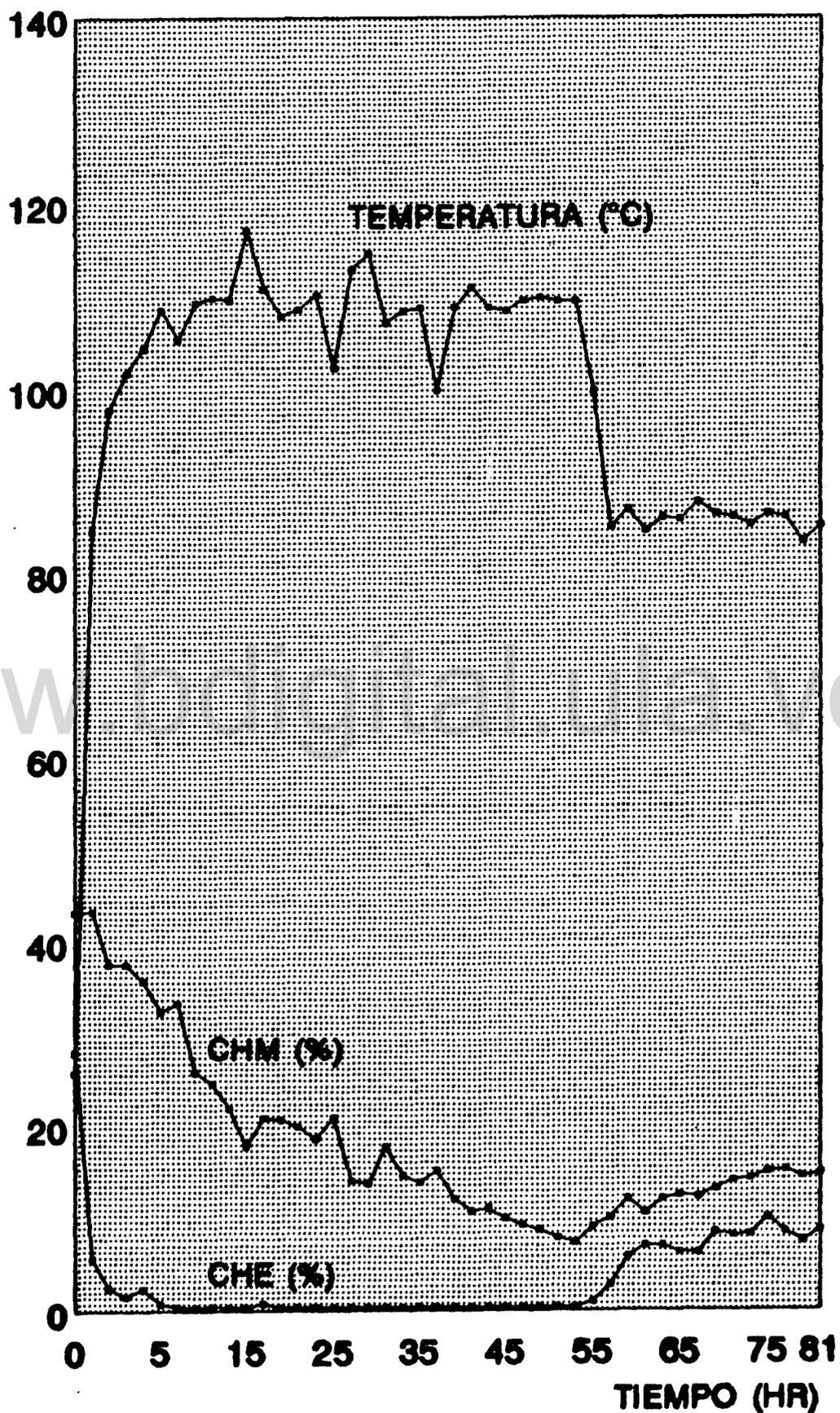


Figura 13. Grafico de secado del tratamiento 4

**Cuadro 4. Análisis de varianza para el defecto de abarquillado**

Fuente de variación	GI	SC	CM	F
Tratamientos	2	34,60	17,30	19,01**
Error	69	62,78	0,91	
Total	71			

\*\* Significativo al nivel de 0,01

El promedio de abarquillado para el tratamiento 1 fue menor que para los tratamientos 2 y 4. Una sola tabla en el tratamiento 3 presentó abarquillado por lo que no se incluyó en el análisis estadístico, el tratamiento 2 presentó tres tablas con abarquillado y solamente un 15% de todo el material presentó este tipo de alabeo

El análisis de varianza presentado en el Cuadro 5, permite concluir que hay diferencia significativa entre tratamientos para el defecto arqueadura. La prueba de Duncan (Cuadro 8), indica que los tratamientos 4, 3 y 2 no fueron significativamente diferentes al 95% de probabilidad, pero contribuyeron más a la formación de arqueadura que el tratamiento 1. El incremento promedio en arqueadura para todos los tratamientos fue 4,27 mm, los tratamientos 3 y 4 presentaron los mayores promedios (4,86 mm y 4,55 mm). El valor máximo registrado para arqueadura fue 12,92 mm y lo presentó el tratamiento 3, seguido por 11,27 mm para el tratamiento 4. Un 66% de todas las tablas presentaron arqueadura. Este resultado es bastante satisfactorio comparado con el obtenido por Ritz (1969), donde solo una tabla de Hard maple no presentó arqueadura y el promedio de este defecto fue 6,43 mm.

**Cuadro 5. Análisis de varianza para el defecto de arqueadura**

Fuente de variación	GI	SC	CM	F
Tratamientos	3	75,02	25,01	8,15**
Error	321	986,77	3,07	
Total	324			

\*\* Significativo al nivel de 0,01

Del Cuadro 6 se concluye que hay diferencia significativa del defecto de encorvadura entre tratamientos. Mediante la prueba de Comparación Múltiple de Duncan (Cuadro 8) se concluye que el tratamiento 3 resultó ser significativamente superior a los demás. Entre los tratamientos 1, 2 y 4 no hubo diferencias significativas al nivel de 5%. El incremento en encorvadura para los cuatro tratamientos fue de 4,37 mm en promedio. El máximo valor registrado fue 13,76 mm (tratamiento 4). Un 34% del material no presentó encorvadura.

**Cuadro 6. Análisis de varianza para el defecto de encorvadura**

Fuente de variación	GI	SC	CM	F
Tratamientos	3	109,12	36,38	8,27**
Error	317	1394,13	4,40	
Total	320			

\*\* Significativo al nivel de 0,01

Según el análisis estadístico (Cuadro 7) no hay diferencia significativa del defecto de torcedura entre los tratamientos a un nivel del 10%. El material en general presentó poca torcedura. Los tratamientos 1 y 4 registraron un valor promedio en torceduras de 3,73 mm. El tratamiento 1 presentó 47 tablas con torcedura mientras que el tratamiento 4 solo tuvo 5 tablas con este defecto. El valor máximo registrado fue 10,49 mm (tratamiento 1). Los tratamientos 2 y 3 no presentaron tablas con este defecto.

**Cuadro 7. Análisis de varianza para el defecto de torcedura**

Fuente de variación	GI	SC	CM	F
Tratamientos	1	10,28	10,28	8,27
Error	50	218,96	4,38	
Total	51			

El Cuadro 8 muestra que el mayor valor promedio para los tipos de alabeo es 5,33 mm. Al preparar las tablas mediante un proceso normal de cepillado y canteado se pierde aproximadamente 0,5 cm tanto en espesor como en el ancho de cada tabla, es decir que la mayor parte del material no tendrá pérdida de volumen ocasionado por los tipos de alabeo generados por los horarios de secado evaluados.

Estos datos corroboran observaciones de otros investigadores, que si la madera es apilada correctamente, el secado a alta temperatura no incrementa el alabeo y puede aún reducirlo.

La arqueadura y la encorvadura fueron los tipos de alabeo que se presentaron con mayor frecuencia en todos los tratamientos.

**Cuadro 8. Tipos de alabeo en madera de saquisqui seca al horno**

Tipo de alabeo	Tratamiento *	Tamaño de muestra	Promedio (mm)	Coeffic. de variación	Valor máximo (mm)
<b>Abarquillado</b>	1	45	2,40	34,89	5,59
	2	3	3,33	13,69	3,85
	4	24	3,87	30,22	6,97
<b>Arqueadura</b>					
<b>Arqueadura</b>	1	45	3,29	34,64	6,90
	2	83	4,39	37,78	9,96
	3	82	4,86	46,41	12,92
	4	115	4,55	35,20	11,27
<b>Encorvadura</b>					
<b>Encorvadura</b>	1	48	3,87	60,80	12,56
	2	75	3,92	41,14	9,64
	4	106	4,35	34,56	13,76
	3	92	5,33	52,25	8,09
<b>Torcedura</b>					
<b>Torcedura</b>	1	47	4,49	47,23	10,49
	4	5	2,98	58,65	5,02

Prueba de rango múltiple de DUNCAN. Los tratamientos con barra común no son estadísticamente diferentes al nivel de 5%.

### **4.3 Grietas y colapso**

A todas las tablas después de ser cortadas se les colocó pintura impermeable en los extremos para evitar la rápida evaporación de la humedad en sentido longitudinal, evitando la formación de grietas en los extremos.

Cada una de las tablas fue evaluada y fueron resaltadas con marcador de color las grietas existentes antes de ser apiladas sobre el carro de secado para evitar que cualquier grieta detectada después del proceso de secado pudiera ser atribuida a un tratamiento en particular. El colapso o contracción anormal fue evaluado y registrado para cada una de las tablas.

El Cuadro 9 muestra el porcentaje de tablas que presentaron grietas y colapso por tratamiento. En este Cuadro observamos dos grupos: a) tablas sujetas a horarios de secado a alta temperatura a contenidos de humedad por encima del 30% (tratamientos 3 y 4) y b) el secado control (tratamiento 1) y tablas sujetas a secado a alta temperatura por debajo del punto de saturación de la fibra (tratamiento 2).

El porcentaje de grietas obtenido en los cuatro tratamientos fue bastante bajo, el tratamiento 3 presentó el mayor porcentaje (16,89%) y los demás tratamientos menos del 5%. Las grietas superficiales fueron mayores en el tratamiento 4 (3,88%). El porcentaje de grietas obtenidas en este trabajo para el saquisqui es muy bajo comparado con los resultados obtenidos para American elm, Sweetgum y Red maple (Boone 1986).

El tratamiento 4 (alta temperatura) presentó el porcentaje mas alto en colapso superficial (28,69%), de acuerdo con la revisión bibliográfica, donde uno de los defectos mas comunes en secado a alta temperatura es el colapso. El tratamiento 2 presentó el segundo valor en colapso (8,05%).

**Cuadro 9. Porcentaje de tablas con grietas y colapso por tratamiento**

Tratamiento	Grietas en extremos	Grietas superficiales	Grietas transversales	Colapso
1	4,07	-	-	3,25
2	3,45	1,15	2,30	8,05
3	16,89	2,70	0,68	3,38
4	4,65	3,88	1,55	28,69

Las tablas que presentaron colapso en su mayoría estaban asociadas a contenidos de humedad final altos ( $\pm 30\%$  en promedio para los cuatro tratamientos). También se observó que las tablas con médula presente generalmente tenían colapso y grietas superficiales, independientemente del tratamiento aplicado.

Las tablas con colapso pronunciado en los tratamientos 1 a 3 fueron cepilladas y cortadas, para examinar la presencia de grietas internas, encontrando que ninguna tenía este defecto. Todas las tablas del tratamiento 4 fueron cepilladas por ambas caras, eliminando 3 mm en cada lado, unas pocas tablas hubo que pasarlas de nuevo por el cepillo para eliminarles mayor cantidad, no porque el colapso fuese demasiado pronunciado, si no porque las tablas eran de espesores menores al nominal (25 mm).

Sin embargo, todo el material del tratamiento 4 fue vendido para fabricar gabinetes de cocina. Igualmente el material de los otros tratamientos también fue comercializado, no teniendo ninguna queja de los compradores de que se hubiese presentado algún problema con esta madera.

#### 4.4 Contracciones

El análisis de varianza presentado en el Cuadro 10, fue elaborado tomando como fuente de variación para la contracción en largo, ancho y espesor los cuatro tratamientos ensayados, existiendo diferencia altamente significativa entre los tratamientos para las contracciones evaluadas.

**Cuadro 10. Análisis de varianza para contracciones**

<b>Contracción</b>	<b>FV</b>	<b>GL</b>	<b>SC</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>
<b>Largo</b>	Tratamiento	3	0,35	0,118	35,97 <sup>**</sup>
	Error	483	1,59	0,003	
	Total	486	1,94		
<b>Ancho</b>					
	Tratamiento	3	36,43	12,14	24,29 <sup>**</sup>
	Error	483	241,44	0,50	
	Total	486	277,87		
<b>Espesor</b>					
	Tratamiento	3	137,74	45,91	50,67 <sup>*</sup>
	Error	483	437,60	0,91	
	Total	486			

En el Cuadro 11, aplicando el test de Duncan para la contracción en sus tres dimensiones (largo, ancho y espesor), arrojó los siguientes resultados:

Largo: la menor contracción se obtuvo en la aplicación de los tratamientos 1, 2 y 4, según se aprecia, por cuanto en los mismos hubo similitud en los resultados. Caso contrario, el tratamiento 3 fue en el que se originó la mayor contracción.

Ancho: En la aplicación de los tratamientos 1 y 3 ocurrió la mayor contracción en esta dimensión, a diferencia de los tratamientos 2 y 4, en donde la contracción fue menor, obteniéndose los menores resultados en la aplicación del tratamiento 4.

Espesor: Las mayores contracciones en esta dimensión ocurrieron en la aplicación de los tratamientos 1 y 4 que tuvieron el mismo comportamiento, en comparación con los tratamientos 2 y 3 en donde la misma fue menor, particularmente el tratamiento 3 en el cual las contracciones en espesor fueron las menores de los cuatro tratamientos.

Comparando los cuatro tratamientos se puede afirmar que el tratamiento 2 (convencional- alta temperatura) originó las menores contracciones.

**Cuadro 11. Contracciones en tablas de saquisaqui**

<b>Contracción</b>	<b>Tratamiento</b>	<b>Tamaño de muestra</b>	<b>Promedio (%)</b>	<b>Coeffic. de variación</b>	<b>Valor máximo (%)</b>
<b>Largo</b>	4	129	0,06	79,76	0,39
	2	87	0,06	81,83	0,31
	1	123	0,07	46,71	0,13
	3	148	0,12	69,57	0,56
<b>Ancho</b>	4	129	2,22	31,89	5,36
	2	87	2,41	29,90	4,23
	3	148	2,81	26,17	5,49
	1	123	2,85	23,14	4,41
<b>Espesor</b>	3	148	2,56	30,74	4,96
	2	87	2,87	25,49	5,29
	1	123	3,66	32,14	6,05
	4	129	3,77	26,82	6,06

#### 4.5 Contenido de humedad final (CHF)

Las causas de variación en contenido de humedad final puede ser por la variabilidad natural en la rata de secado o en el contenido de humedad inicial, albura y duramen, bolsas de agua en la madera o variabilidad en las condiciones de secado en varias partes del horno (JUNAC 1989).

El análisis de varianza presentado en el Cuadro 12 muestra que hay diferencias altamente significativas para el contenido de humedad final entre tratamientos. Pero al efectuar el test de Duncan no hubo una clara tendencia de los tratamientos. La media menor la presentó el tratamiento 2 y la mayor el tratamiento 3, variando entre 8,05% y 10,26% respectivamente.

Cuadro 12. Análisis de varianza para el contenido de humedad final

FV	GL	SC	CM	F
Tratamiento	3	310,31	103,43	7,027**
Error	482	7094,95	4,72	
Total	485	7405,26		

La tabla con mayor contenido de humedad final promedio (20,7%) en el tratamiento 1 (convencional) presentaba grietas antes del secado, las cuales permanecieron iguales después del mismo. El contenido de humedad fue medido en tres sitios: a 50 cm aproximadamente de cada extremo y en el centro, los cuales fueron 18,3; 20,2 y 20,57% respectivamente.

La tabla con mayor contenido de humedad final promedio (34%) en el tratamiento 2 presentó 43 y 21,5% en los extremos y 37,6 % en el centro, grietas de 4,5 cm en un extremo.

La tabla con mayor contenido de humedad final (30,2%) en el tratamiento 3 presentaba médula central, colapso y grietas superficiales antes del secado. Los contenidos de humedad final de los extremos fueron 21,2% y 26,4% y en el centro de la tabla 43%.

La tabla con contenido de humedad final de 43,3% (tratamiento 4) presentó 74% en el centro y 42,6% y 13,3% en los extremos. Esta tabla presentó colapso y grietas superficiales y aflojamiento de nudo.

Los histogramas de frecuencia para los diferentes tratamientos muestran la distribución de los contenidos de humedad final en relación al porcentaje de tablas evaluadas.

En el tratamiento 1 el mayor porcentaje de tablas (56,56%) tuvieron un contenido de humedad final entre 8 y 10%, un 13,11% entre 6 y 8%, un 21,31% entre 10 y 12%, un 5,74% entre 12 y 14% y un 3,28% entre 16 y 22%. Es decir el 91% del material presentó CHF por debajo del 12% y un 3,28% entre 16 y 22 % (Figura 14).

El mayor porcentaje de tablas del tratamiento 2 (65,52%) alcanzaron un CHF entre 4 y 8%, un 17,24% entre 8 y 10%, un 26,44% entre 6 y 10%, un 6,90% entre 12 y 18 y un 1,14% entre 32 y 34%. Un 92 % de las tablas presentaron CHF por debajo del 12%. (Figura 15).

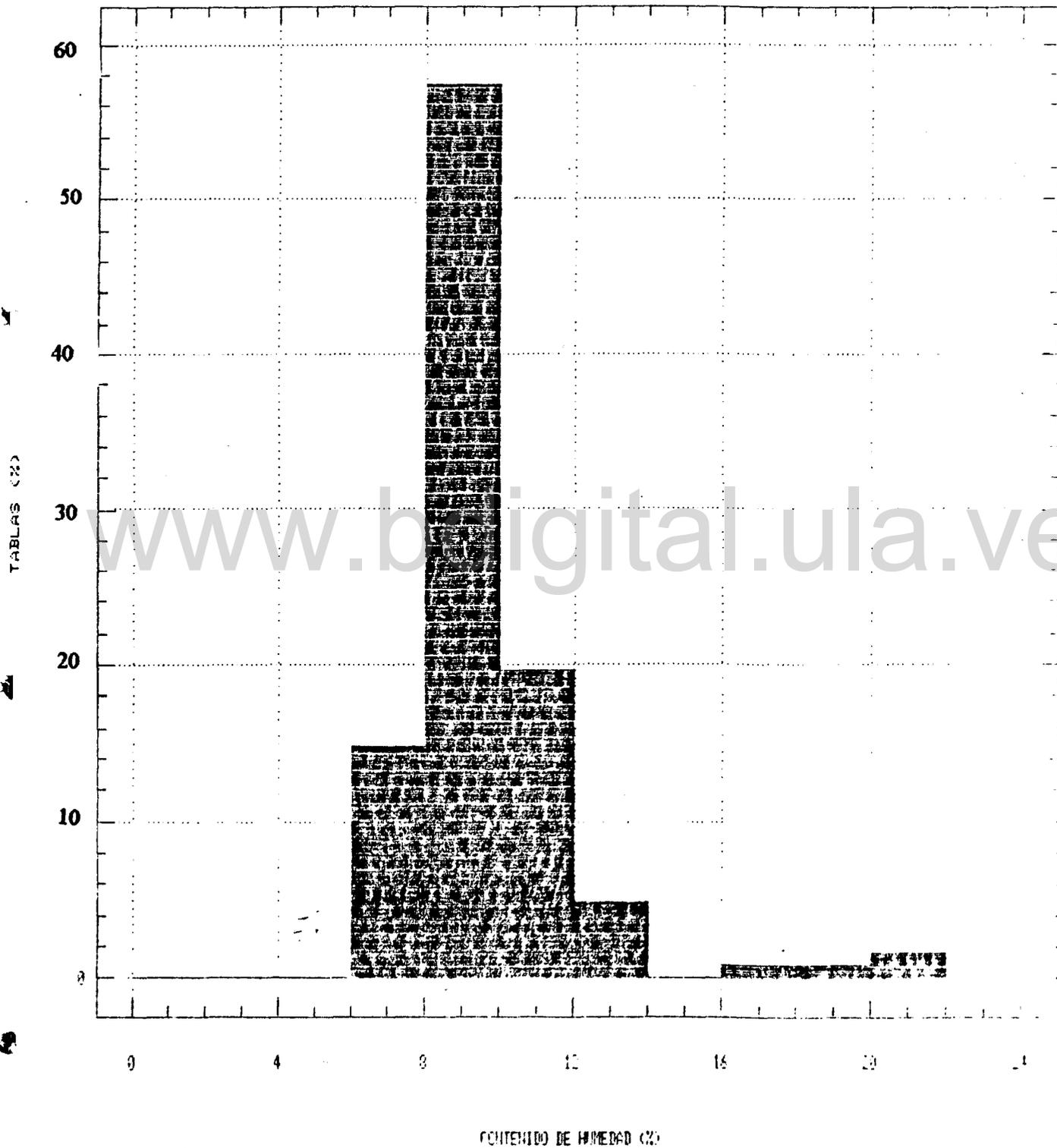


Figura 14. Histograma de frecuencia del CHF del tratamiento 1

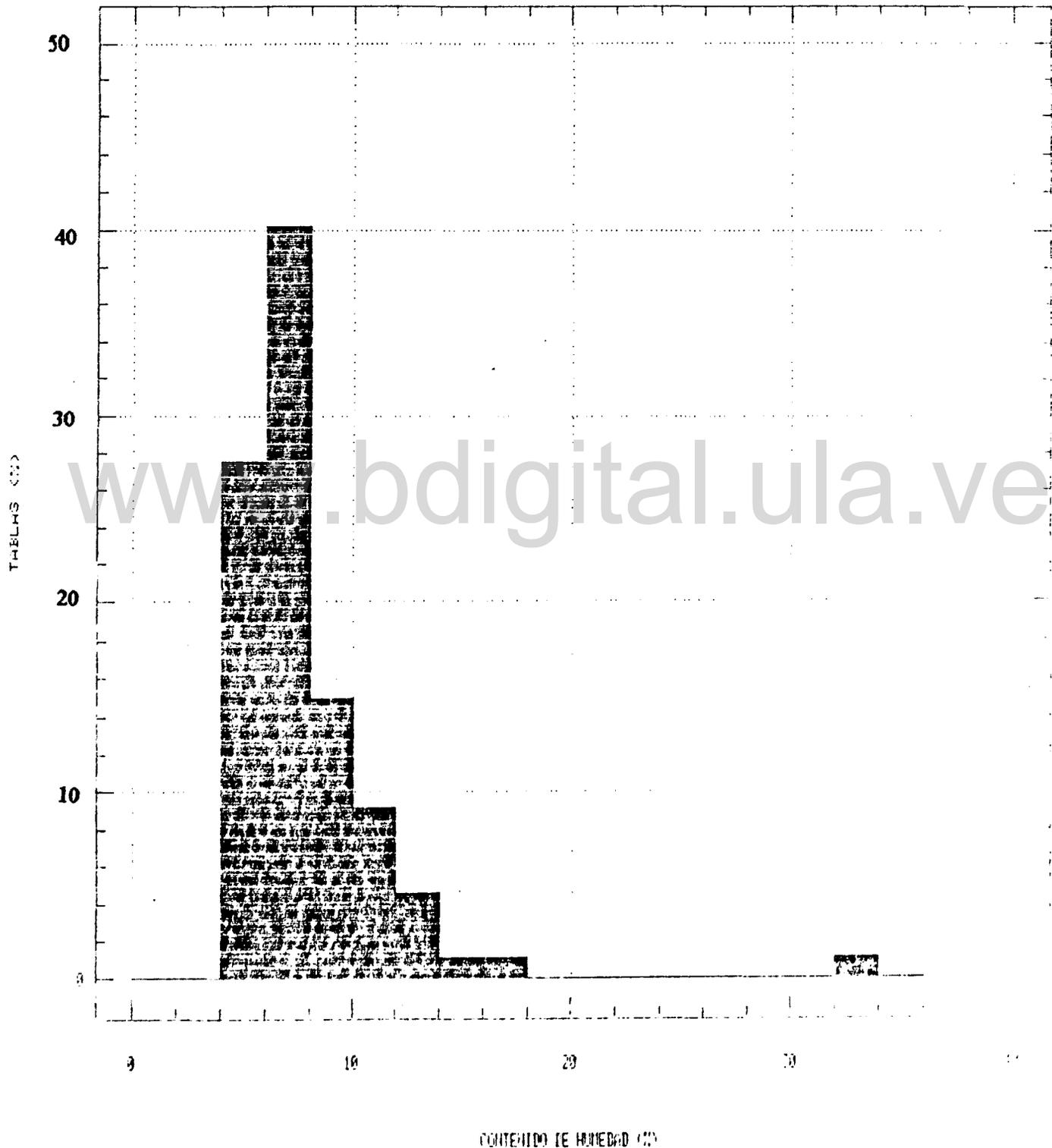


Figura 15. Histograma de frecuencia del CHF del tratamiento 2

El tratamiento 3 tiene un 62,84% de tablas con CHF entre 6 y 10%, un 2,03% entre 4 y 6%, un 22,97% entre 10 y 14%, un 8,10% entre 14 y 20%, un 2,03% entre 20 y 26% y un 2,03% con CHF inferiores a 5%. El 77,71 % presentó CHF por debajo del 12% (Figura 16).

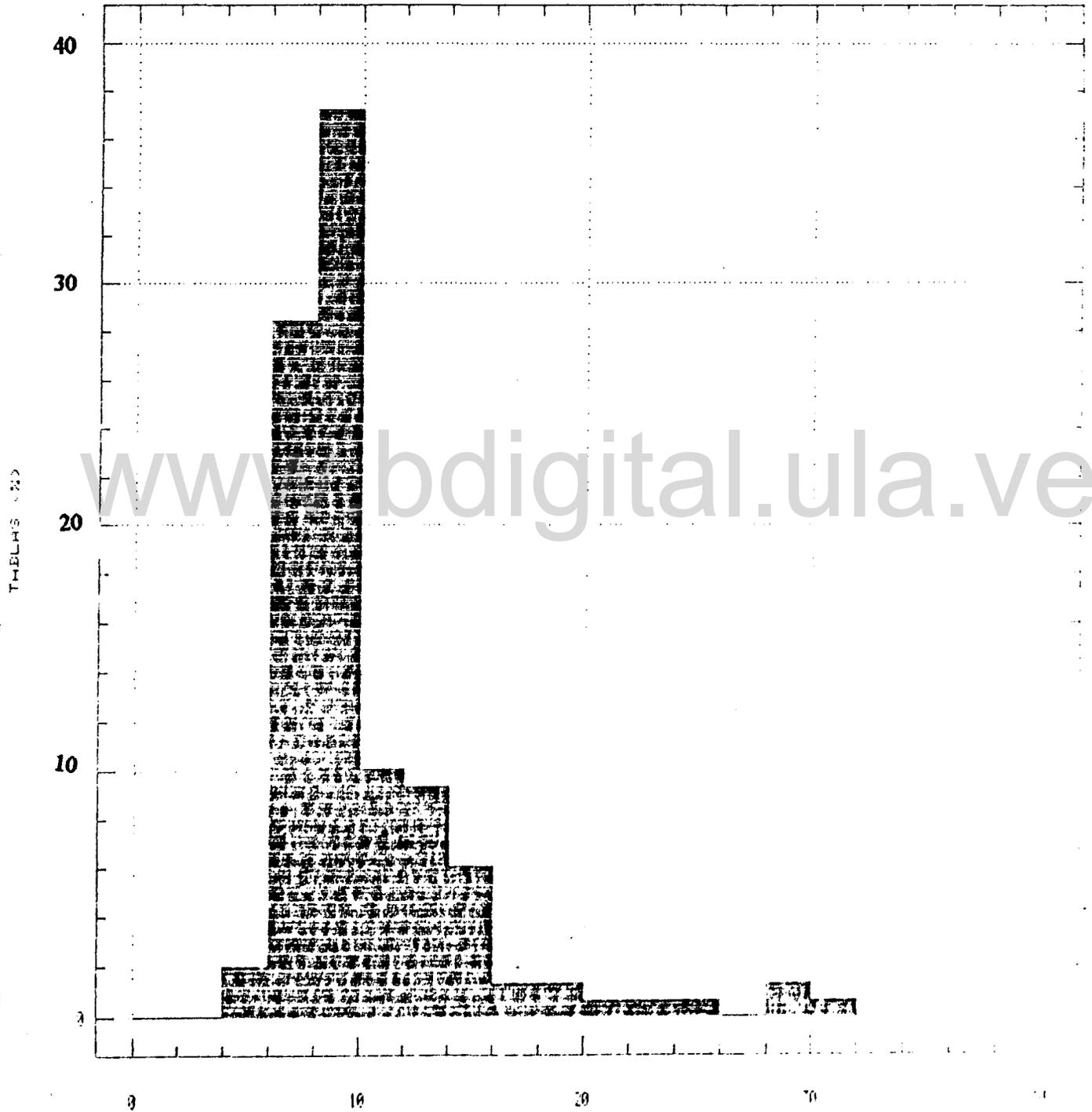
El tratamiento 4 presentó 59,69% de tablas con CHF entre 6 y 8,%, un 23,26% entre 8 y 10%, un 10,08% entre 10 y 14%, un 3,10% entre 14 y 20%, un 2,34% con CHF superiores a 22% y un 1,55% con CHF entre 5 y 6%. Es decir un 89,15% de las tablas presentaron CHF por debajo de 12% (Figura 17).

Según el análisis anterior el tratamiento que presentó mayor porcentaje de tablas con CHF mayores a 12% fue el tratamiento 3 con 22,29%, seguido por el tratamiento 4 con un 10,85%. Los tratamientos 1 y 2 presentaron un 10%.

Las condiciones de secado fueron uniformes dentro del secador, esto se comprobó al evaluar el contenido de humedad final de las tablas según el croquis de ubicación de las tablas dentro del secador, donde no se observó ninguna tendencia de los contenido de humedad final.

El contenido de humedad inicial se determinó de las tablas muestras mediante el método de secado en estufa. Los resultados por tratamiento son los siguientes.

Tratamientos	T1	T2	T3	T4
CH promedio	143,15	136,10	100,04	99,97
Coefficiente de variación	16,54	18,14	27,90	28,83



CONTIENIDO DE HUMEDAD (%)

Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
 Figura 16. Histograma de frecuencia del CHF del tratamiento 3  
 (CC BY - NC - SA 3.0 VE)

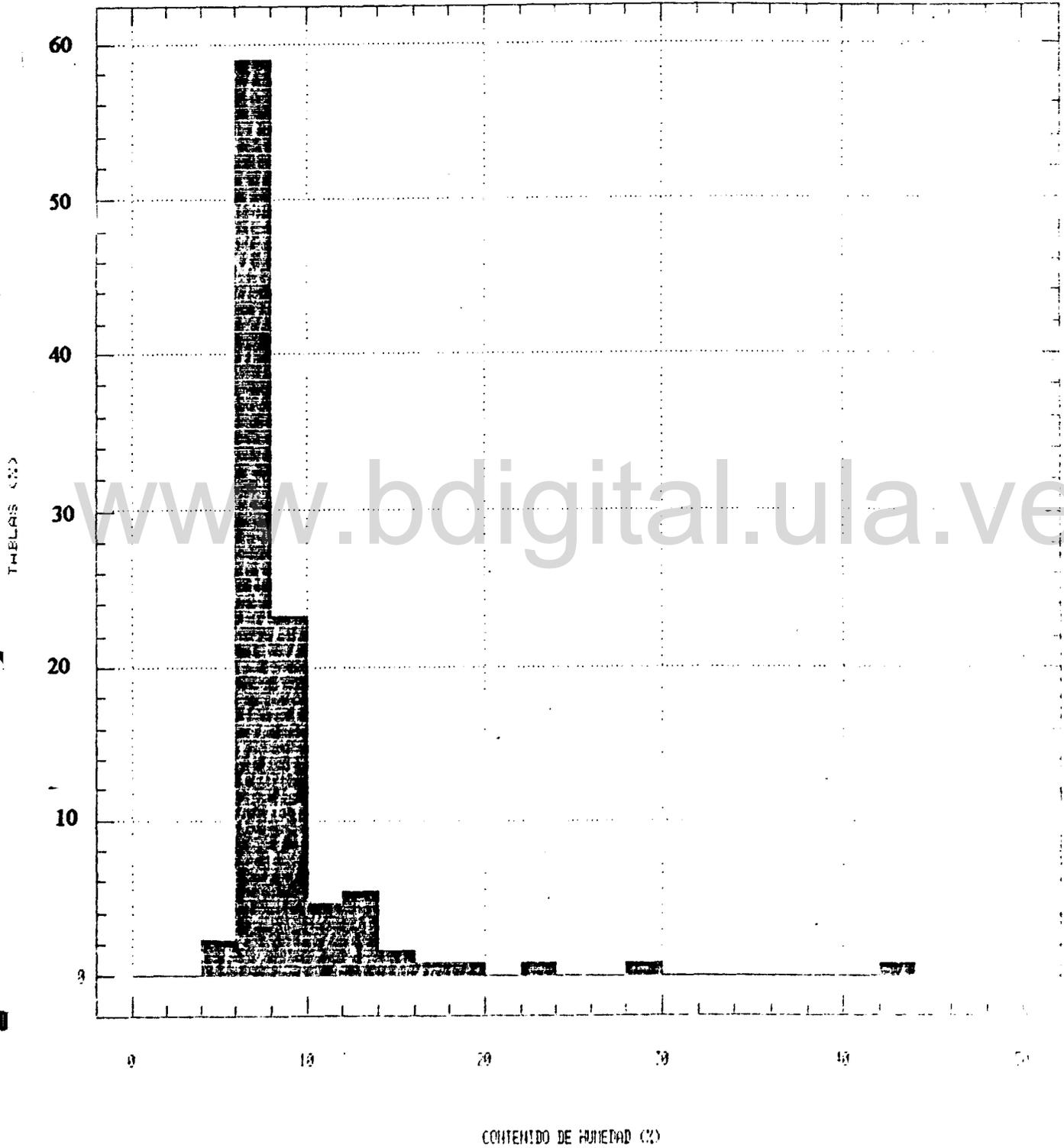


Figura 17. Histograma de frecuencia del CHF del tratamiento 4  
 Atribución - No Comercial - Compartir Igual 3.0 Venezuela  
 (CC BY - NC - SA 3.0 VE )

El contenido de humedad final promedio para el material en general fue 9,22%, determinados con el medidor tipo resistencia varios días después de haber sacado el material del secador.

Los tratamientos que tuvieron mayor variabilidad en contenido de humedad inicial fueron los tratamientos 3 y 4. De igual manera, estos tratamientos presentaron la mayor variabilidad en el contenido de humedad final (Cuadro 13).

**Cuadro 13. Datos de contenidos de humedad final promedio y tiempo de secado por tratamiento.**

Tratamiento	CH promedio	Coef. de variación	Tiempo de Secado
1	9,68	23,77	159
2	8,05	45,42	95
3	10,26	42,28	84
4	8,88	50,10	54

La tasa de secado se calculó dividiendo el CH entre el tiempo de secado, sin incluir el tiempo de enfriamiento, ecuilización y acondicionamiento . Se expresa en %/h. Los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tratamientos	T1	T2	T3	T4
Tasa de secado	0,84	1,35	1,07	1,69

## 5. CONCLUSIONES

1. El tiempo requerido para el secado de tablas de saquisqui de 2,5 cm de espesor desde la condición verde hasta alcanzar más o menos 10% de contenido de humedad final, varió desde 81 horas a un horario a alta temperatura hasta 172 horas a un horario convencional, incluyendo el tiempo de ecualización y acondicionamiento. El ahorro en tiempo de secado del horario de alta temperatura, comparado con el convencional fue de 52% y para los horarios combinados convencional-alta temperatura (tratamientos 2 y 3) fue de 28 y 36% respectivamente.

2. En los cuatro tratamientos aplicados, los tipos de alabeo (abarquillado, arqueadura y encorvadura) fueron estadísticamente diferentes entre ellos. El abarquillado fue el defecto de menor ocurrencia en los tratamientos; por el contrario la arqueadura y la encorvadura fueron los tipos de alabeo mas frecuentes en todos los tratamientos. La mayoría de los tipos de alabeo son causados por diferencia de contracción entre los ejes de las piezas y pueden ser minimizados por un correcto apilado.

3. Uno de los defectos mas comunes en el secado a alta temperatura es el colapso y esto fue corroborado en esta investigación donde el tratamiento 4 presentó el mayor porcentaje de colapso (29%). El colapso es generalmente asociado a temperaturas altas en las primeras etapas del secado. En el secado a alta temperatura que corresponde al proceso de secado de la madera a 110 °C desde el comienzo hasta el final, el colapso originado fue de carácter superficial, ya que mediante la operación normal de cepillado desapareció, no observándose la presencia de rajaduras superficiales, que indicaría un colapso severo o presencia de agrietamiento interno.

4. Las contracciones no deben ser consideradas como defectos del secado, pero pueden ser minimizadas a través de un adecuado programa de secado.

5. El contenido de humedad final entre tablas dependió en gran parte del contenido de humedad inicial, ya que los tratamientos que presentaron mayor variación en contenido de humedad inicial fueron los que presentaron mayor variación en contenido de humedad final.

6. Los resultados obtenidos en esta investigación señalan que el secado a alta temperatura de saquisaqi en tabla, tiene un uso potencialmente comercial en Venezuela con grandes beneficios, siempre que la madera sea presecada mediante un horario convencional hasta alcanzar de 25 a 30% de contenido de humedad. La aplicación de cualquiera de los horarios evaluados va a depender principalmente del uso final que se le vaya a dar al producto.

7. El tratamiento combinado, en el cual se aplicó un horario convencional desde la condición verde de la madera hasta alcanzar un contenido de humedad del 25% y luego se aplicó el horario de alta temperatura (110 °C), fue el mejor tratamiento de acuerdo a los resultados obtenidos de las variables de secado evaluadas

## 6 RECOMENDACIONES

1. Los tratamientos aplicados en la presente investigación deben ser ensayados en otras especies cuyo rango de densidad se encuentre entre baja a mediana y con buena permeabilidad, para determinar a que contenido de humedad promedio se debe iniciar el secado a alta temperatura y así evitar degradación de la madera.
2. Se recomienda realizar ensayos de secado al horno aplicando horarios similares a los utilizados en esta investigación en tablonces de saquisaqui de 40 a 50 mm de espesor, con la finalidad de disminuir los tiempos de secado.
3. Los resultados de la presente investigación se deben dar a conocer a los empresarios madereros, especialmente los que secan madera de saquisaqui al horno.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

- Avramidis, S. and J.F. Graham. 1988. Development of kiln schedules for 4-inch by 4-inch Pacific Coast Hemlock. *Forest Products Journal*. 38 (9): 45- 48.
- Bachich, J.L. 1980. Dry kiln handbook. H.A. Simmons Ltda. Vancouver, B.C. Canadá. pp 373.
- Boone, R.S. 1979a. An introduction to high - temperature drying: Past research efforts and definition of terms and procedures. In: *Proc. High Temperature Drying of Hardwoods*. Purdue University. West Lafayette, Ind. PP 1 - 9.
- Boone, R.S. 1979b. High temperature drying of hardwoods: A progress report on current research at FPL. In: *Proc. High Temperature Drying of Hardwoods*. Purdue University. West Lafayette, Ind. pp 16 -24.
- Boone, R.S. 1984. High temperature kiln-drying of 4/4 lumber from 12 hardwoods species. *Forest Products Journal*. 34(3): 10-18.
- Boone, R.S. 1986. High temperature kiln-drying red maple lumber some options. *Forest Products Journal*. 35(9): 19 - 25.
- Boone, R.S., H.N. Rosen, C.J. Rozlik, P.J. Bois and E.M. Wengert. 1988. Dry kiln schedules for commercial woods temperate and tropical. Gen. Tech. Report. FPL -GTR-57. USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, Wiscosin. W. 158 pp.
- Boone, R.S. 1989. Kiln drying 4/4 American elm and Sweetgum lumber with a combination of conventional temperature and high temperature schedules. Res. Pap. FPL. P-491. USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, Wiscosin. W. 15 pp.
- Culpepper, L. 1990. High temperatura drying. San Francisco. California. USA. Miller Freeman Publications. Inc. 316 pp.
- Dubois, J., Avramidis, S.J., F.G. Mackay and L. Oliveira. 1992. The influence of conditioning on honeycomb development in high-temperature-dried. Pacific Coast Hemlock. *Forest Products Journal*. 42(7/8): 31-36.
- Durán, J. 1993. Conversación Personal.
- Harding, O. V.; P.H. Steele and K. Nordin. 1993. Description by type for six grades of Red oak lumber. *Forest Products Journal*. 43(6): 45-50.

- Hart, C.A, J. Dening and S. Hanover. 1989. Variables affecting drying rate and quality. In: Dry Lumber Quality and Profit. Proc. 47356. Forest Prod. Res. Soc., Madison, WI. (In Press).
- Herzberg, B.L., F.W. Taylor and H.N. Rosen. 1983. Kiln characteristics can influence drying time and moisture uniformity in high-temperature-dried lumber. In: Proc. 34<sup>th</sup> Annual Meet. Western Dry Kiln Clubs. pp. 58-64.
- Hildebrand, R. 1970. Kiln drying of sawn timber Maschinenbau GMBH. 744 Nuertingen, West Germany. 199p.
- JUNAC. 1983. Secado y preservación de 105 maderas del grupo andino. Junta del Acuerdo de Cartagena. PADT-REPORT. Lima, Perú. 151 pp.
- JUNAC. 1989. Manual del grupo andino para el secado de maderas. Junta del Acuerdo de Cartagena. PADT-REPORT. Lima, Perú. 294 pp.
- Kozlik, C.J. and R.S. Boone. 1987. High-temperature kiln drying of 1-inch red alder lumber. Forest Products Journal. 37(6): 21-24.
- Mackay, J.F. 1974. High temperature kiln drying of Northern aspen 2 by 4 inch light framing lumber. Forest Products Journal. 24(10): 32-35.
- Mackay, J.F. 1976. Delayed shrinkage after surfacing of high temperature kiln dried Northern aspen dimension lumber. Forest Products Journal. 26(2): 33-36.
- McMillen, J.M. and E.M. Wengert. 1978. Drying eastern hardwood lumber. U.S. Dep. Agriculture, Agric. Handb. 528, 104 p.
- McNaught, A.M and D.K. Gough. 1995. Drying 40 mm thick slash pine in 2.5 hours at 200 °C. Forest Products Journal. 45(1): 51-54.
- Melo, R. y M. Pabón. 1987. Secado industrial de *pinus radiata* a altas temperaturas. Infor Chile. 1(1):117-129.
- Milota, M.R. 1991. Method for measurement of bow and crook. Forest Products Journal. 41(9): 65-67.
- Milota, M.R. 1992. Effects of kiln schedule on warp in Douglas-fir lumber. Forest Products Journal. 42(2): 57-60.
- Milota, M.R. et al. 1993. Reducing moisture content variability in kiln-dried Helm-fir lumber through sorting: A simulation. Forest Products Journal. 43(6): 6-12.

Pabón H.M. 1987. Diseño de un banco de medición de madera aserrada. Ciencia e Investigación Forestal. 1(2): 126 - 132.

Rietz, R.C. 1969. Influence of initial drying temperature on development of warp in one inch hard maple. Forest Products Journal 19(7): 37-40.

Rosen, H.N. 1979. Energy requirements in high temperature and conventional kilns. In: Proc. High Temperature Drying of Hardwoods. Purdue University. West Lafayette, Ind. PP 41-54.

Rosen, H.N. 1980. High temperature initial drying of wood: Potencial for energy recovery. Forest Products Journal 30(1): 29-34.

Wengert, E.M. 1974. Maximum initial moisture content for kilns drying 4/4 hardwoods at high temperature. Proc. 53705, Forest Products Laboratory, Madison, Wiscosin. pp 54-56.

Wolfe, C.M. 1979. Problems associated with high temperature kilns In: Proc. High Temperature Drying of Hardwoods. Purdue University. West Lafayette, Ind. PP 41-54.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

Pabón H.M. 1987. Diseño de un banco de medición de madera aserrada. *Ciencia e Investigación Forestal*. 1(2): 126 - 132.

Rietz, R.C. 1969. Influence of initial drying temperature on development of warp in one inch hard maple. *Forest Products Journal* 19(7): 37-40.

Rosen, H.N. 1979. Energy requirements in high temperature and conventional kilns. In: *Proc. High Temperature Drying of Hardwoods*. Purdue University. West Lafayette, Ind. PP 41-54.

Rosen, H.N. 1980. High temperature initial drying of wood: Potencial for energy recovery. *Forest Products Journal* 30(1): 29-34.

Wengert, E.M. 1974. Maximum initial moisture content for kilns drying 4/4 hardwoods at high temperature. *Proc. 53705, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin*. pp 54-56.

Wolfe, C.M. 1979. Problems associated with high temperature kilns In: *Proc. High Temperature Drying of Hardwoods*. Purdue University. West Lafayette, Ind. PP 41-54.

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

ANEXO  
www.bdigital.ula.ve

DEFECTO DE ABARQUILLADO

DEFECTO DE ARQUEADURA

T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
1,53	3,02	6,24	3,97	4,80	3,29	4,34	4,13
1,31	3,85		5,17	6,25	3,54	5,46	5,18
1,15	3,11		3,53	2,82	3,47	2,61	3,74
2,49			3,83	3,75	2,15	5,50	2,38
1,64			4,08	3,85	6,32	7,64	2,59
2,43			5,55	3,12	3,51	4,25	4,29
2,11			3,91	3,91	3,57	5,53	2,94
2,71			4,20	4,03	2,48	2,42	5,61
2,98			2,54	3,25	3,54	5,85	3,44
2,36			3,80	2,22	9,88	2,56	8,88
2,84			3,50	3,91	4,82	5,86	6,80
4,35			4,18	3,49	2,37	3,31	3,16
3,01			3,13	2,49	3,44	4,06	4,65
5,59			3,03	2,89	2,95	3,43	4,04
1,28			6,97	2,24	5,38	4,54	5,04
2,02			2,18	3,17	3,57	3,91	6,71
2,71			4,52	2,17	6,85	11,25	2,91
3,23			6,04	3,39	3,98	5,58	5,20
3,37			3,30	4,18	2,63	2,14	4,72
1,05			2,32	2,81	8,13	4,39	4,46
2,64			3,69	1,33	3,86	3,87	4,76
1,88			2,23	2,37	4,58	4,16	7,78
3,55			3,24	3,15	3,30	3,13	4,74
2,45			4,08	2,18	2,34	3,77	5,50
1,26				3,63	8,41	3,51	4,19
1,50				3,37	5,00	3,33	3,62
2,12				2,45	3,55	7,14	5,96
1,81				4,12	3,43	2,19	4,26
2,38				3,80	2,26	3,23	3,83
2,32				2,70	4,42	4,08	3,51
2,77				1,48	3,45	4,57	4,08
1,62				2,54	5,37	5,89	3,46
2,68				3,24	4,47	4,49	3,53
2,18				4,73	2,68	3,79	4,22
2,70				2,89	4,57	5,73	4,24
2,10				5,74	4,39	4,60	4,10
2,22				2,02	4,88	3,90	2,19
2,57				3,12	4,57	3,01	4,66
2,73				2,58	7,23	5,25	3,29
2,69				3,48	6,28	2,63	4,86
2,60				3,98	4,02	5,71	5,94
1,94				2,23	7,06	2,91	3,89
3,15				3,26	3,24	5,01	3,43
2,00				6,90	3,99	4,97	7,58
1,91				2,00	3,34	7,67	5,76

CONTINUACION

DEFECTO DE ABARQUILLADO				DEFECTO DE ARQUEADURA			
T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
					3,34	10,08	3,17
					2,63	2,59	4,07
					4,79	3,97	6,80
					2,86	3,20	6,20
					3,86	3,91	7,28
					7,76	3,87	3,41
					3,78	4,10	5,25
					3,71	12,92	3,73
					2,75	1,72	3,17
					3,94	3,66	5,49
					3,20	6,79	4,00
					3,41	10,73	4,03
					3,13	8,89	11,27
					4,04	3,34	4,83
					7,11	2,69	3,25
					4,83	3,78	3,31
					5,49	4,11	3,24
					5,04	11,70	8,13
					5,23	4,00	8,66
					9,96	6,61	4,27
					3,96	3,34	3,84
					5,08	6,16	3,43
					5,67	4,28	9,90
					3,08	4,26	2,90
					6,50	6,57	3,86
					5,27	4,25	4,71
					5,80	9,51	4,85
					3,40	2,79	2,80
					4,59	5,50	3,38
					2,85	3,20	4,74
					3,28	3,93	5,29
					4,58	7,13	3,78
					4,53	6,03	5,27
					3,51	4,63	5,50
					5,45	3,72	2,24
					2,44	3,72	5,13
					2,76	3,34	2,96
					4,54		3,03
							3,86
							3,08
							5,49
							3,90
							4,16
							5,22
							3,86
							4,05

CONTINUACION

DEFECTO DE ABARQUILLADO

DEFECTO DE ARQUEADURA

T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
							4,19
							4,47
							5,81
							4,09
							3,17
							3,45
							3,21
							5,16
							3,37
							4,16
							4,25
							4,73
							4,40
							2,38
							3,15
							5,07
							3,43
							6,58
							6,24
							3,69
							8,44
							3,30
							3,63
							3,63
2,25	1,11	1,56	3,44	3,08	4,10	4,58	4,43

www.bdigital.ula.v

## DEFECTO DE ENCORVADURA

## DEFECTO DE TORCEDURA

T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
7,09	4,16	11,54	2,54	3,69			1,90
8,07	3,12	4,86	4,42	3,30			1,96
12,56	4,56	3,77	5,57	2,53			4,72
2,69	2,12	5,77	3,50	2,39			5,02
2,18	4,07	7,12	2,21	3,26			1,30
3,78	3,23	2,29	4,40	2,13			
3,20	2,34	6,56	4,62	5,05			
1,26	4,41	3,35	2,74	5,41			
3,43	3,08	10,04	6,11	4,70			
4,93	2,57	3,35	4,21	2,26			
4,52	5,26	4,11	3,70	3,19			
2,72	2,34	7,87	3,55	4,71			
12,10	5,27	4,78	3,39	2,29			
3,36	3,10	8,60	6,33	3,24			
2,15	2,70	3,99	8,09	3,18			
5,65	2,89	4,00	3,03	7,22			
2,72	5,27	4,43	2,88	6,69			
5,93	2,86	5,71	4,80	3,35			
2,00	2,37	5,94	4,24	3,41			
6,74	4,22	3,44	5,70	4,06			
3,00	2,16	3,50	4,90	5,70			
3,73	5,67	2,14	4,23	6,18			
2,07	6,25	5,42	4,34	1,50			
2,47	3,84	3,34	6,05	2,84			
4,44	5,72	4,67	2,33	3,19			
3,39	3,92	2,36	3,46	6,85			
2,16	3,00	13,60	2,14	3,23			
2,16	3,42	3,88	2,07	7,03			
4,25	2,90	10,20	4,14	6,63			
2,78	4,42	3,51	2,76	5,07			
5,83	2,13	7,64	3,15	3,93			
2,81	5,29	3,44	7,45	7,62			
4,90	2,20	9,97	3,80	7,44			
3,05	1,96	10,18	2,66	4,37			
3,39	2,83	13,76	4,18	10,47			
4,62	3,19	9,26	5,08	3,34			
2,06	2,90	4,67	7,76	5,95			
2,03	6,38	3,55	5,95	5,91			
1,91	6,45	6,42	4,67	10,49			
3,22	2,85	4,32	4,88	1,68			
1,78	3,10	4,00	4,74	1,83			
2,37	5,65	6,71	6,28	2,75			
3,19	7,46	5,44	4,36	6,23			
5,54	2,82	6,53	2,16	3,13			
1,67	2,83	11,54	7,05	4,90			

DEFECTO DE ENCORVADURA

T1	T2	T3	T4
3,14	2,53	3,63	5,67
2,19	2,85	5,41	3,39
4,47	3,04	6,27	3,63
	4,85	8,58	3,42
	2,66	5,72	4,44
	6,41	10,38	4,08
	2,52	4,59	6,60
	6,03	5,41	1,91
	7,42	6,13	3,87
	3,91	5,17	6,61
	5,20	3,89	7,80
	6,65	11,23	7,24
	2,61	3,69	3,65
	4,72	4,36	3,23
	6,19	4,63	6,11
	2,93	2,44	7,43
	2,01	3,98	5,57
	3,28	4,26	6,27
	4,49	4,39	3,10
	2,10	3,36	3,30
	9,64	2,92	6,38
	2,15	6,69	2,16
	3,25	4,10	5,39
	2,29	1,81	4,12
	3,54	6,00	4,72
	2,93	2,03	3,09
	3,81	5,90	2,30
	4,67	5,12	4,93
	6,37	5,25	7,08
	3,47	2,50	3,23
		3,74	4,90
		2,52	4,56
		2,27	4,67
		2,07	5,32
		4,93	4,68
		3,84	6,01
		2,70	4,74
		6,67	1,96
		10,45	3,00
		9,82	3,38
		2,49	4,26
		2,49	3,94
		4,85	3,65
		2,56	4,75
		2,19	6,05
		2,53	3,07

www.digital.ula.ve

CONTINUACION

DEFECTO DE ENCORVADURA

T1	T2	T3	T4			
		2,44	4,60			
			5,01			
			4,04			
			3,39			
			2,38			
			3,34			
			2,74			
			4,22			
			2,67			
			5,02			
			2,95			
			2,74			
			1,91			
			4,89			
			4,82			
3,64	3,63	5,16	4,23	4,22	0,00	2,10

www.bdigital.ula.ve

CONTRACCION LONGITUDINAL

CONTRACCION EN ANCHO

T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
0,10	0,07	0,10	0,03	3,76	2,56	2,15	3,06
0,03	0,03	0,23	0,03	3,65	1,68	2,94	2,30
0,10	0,03	0,27	0,03	2,26	1,88	3,45	3,83
0,07	0,03	0,07	0,13	2,58	2,41	1,96	1,44
0,07	0,07	0,03	0,00	3,43	3,29	2,21	0,59
0,10	0,03	0,07	0,13	2,21	3,88	2,63	2,61
0,07	0,03	0,03	0,03	2,18	3,09	2,16	2,41
0,03	0,03	0,07	0,03	2,76	2,75	2,35	2,93
0,03	0,10	0,00	0,03	2,01	1,73	2,99	3,14
0,07	0,07	0,03	0,03	3,48	3,10	1,65	5,36
0,07	0,10	0,03	0,03	3,58	3,60	3,10	3,00
0,10	0,03	0,07	0,03	1,74	2,52	2,42	2,73
0,10	0,03	0,07	0,07	3,40	0,88	2,85	2,63
0,07	0,03	0,10	0,03	3,87	3,20	3,30	1,87
0,10	0,03	0,07	0,07	3,40	3,20	3,03	3,52
0,10	0,07	0,10	0,07	2,98	3,11	3,04	1,84
0,10	0,03	0,07	0,10	4,14	3,06	2,45	3,07
0,13	0,03	0,10	0,03	3,78	2,68	3,36	1,96
0,09	0,03	0,10	0,07	2,66	1,66	2,46	2,44
0,07	0,10	0,07	0,07	2,57	2,36	1,98	2,59
0,10	0,13	0,10	0,07	3,81	1,37	2,48	2,13
0,13	0,04	0,07	0,03	3,51	3,30	1,74	1,64
0,07	0,07	0,13	0,03	2,86	2,86	2,29	2,70
0,13	0,03	0,07	0,03	2,45	3,53	2,14	3,30
0,03	0,03	0,07	0,03	2,71	2,13	1,78	2,48
0,13	0,03	0,07	0,07	3,17	1,73	0,36	1,51
0,10	0,03	0,10	0,10	2,90	2,32	1,60	2,36
0,03	0,03	0,10	0,03	2,59	4,23	1,72	2,51
0,10	0,07	0,17	0,03	1,91	0,14	2,44	2,54
0,07	0,07	0,13	0,03	3,21	2,23	1,83	2,55
0,07	0,03	0,40	0,03	2,59	1,31	2,31	1,29
0,03	0,07	0,13	0,03	2,50	2,65	2,51	2,79
0,03	0,03	0,13	0,03	1,99	1,76	2,28	0,60
0,03	0,03	0,20	0,07	3,38	2,38	1,57	2,87
0,07	0,03	0,20	0,07	2,52	2,63	1,67	2,24
0,03	0,03	0,10	0,03	1,73	3,41	2,03	2,45
0,07	0,03	0,13	0,03	2,77	3,20	2,66	2,14
0,07	0,03	0,10	0,07	1,82	2,61	0,89	2,38
0,07	0,03	0,10	0,39	2,28	1,75	3,32	2,51
0,07	0,03	0,07	0,03	2,39	1,79	1,98	2,61
0,03	0,03	0,07	0,03	1,42	3,05	1,83	0,20
0,03	0,03	0,23	0,03	2,26	2,44	2,82	2,73
0,03	0,03	0,20	0,04	1,99	2,86	1,68	2,59
0,03	0,03	0,10	0,07	2,43	2,02	3,00	1,95
0,07	0,03	0,13	0,03	2,96	2,26	2,26	2,59
0,13	0,07	0,13	0,03	2,92	1,24	3,45	1,86

CONTINUACION

CONTRACCION EN LARGO				CONTRACCION EN ANCHO			
T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
0,10	0,17	0,07	0,03	2,44	3,05	2,35	1,75
0,07	0,03	0,20	0,03	2,99	2,46	2,42	2,32
0,03	0,03	0,07	0,07	2,32	2,28	3,18	1,29
0,03	0,03	0,13	0,07	2,14	2,25	2,30	1,80
0,13	0,03	0,27	0,17	3,00	2,70	2,62	2,40
0,07	0,03	0,23	0,17	2,63	3,28	2,49	2,27
0,03	0,31	0,23	0,03	2,55	2,55	2,39	2,65
0,03	0,07	0,13	0,07	2,60	2,42	3,60	2,25
0,07	0,03	0,20	0,03	2,52	2,64	2,60	1,85
0,07	0,03	0,17	0,03	2,51	3,07	2,87	3,14
0,03	0,07	0,07	0,17	1,27	2,31	3,46	2,53
0,07	0,07	0,10	0,00	2,35	3,01	3,45	1,90
0,10	0,03	0,07	0,03	2,51	1,89	1,90	1,91
0,03	0,07	0,03	0,03	2,99	1,44	2,89	1,75
0,10	0,10	0,27	0,03	4,20	2,18	3,07	1,78
0,03	0,07	0,13	0,00	2,81	1,94	2,75	1,47
0,10	0,03	0,23	0,03	4,17	2,97	3,23	2,36
0,10	0,03	0,40	0,03	3,06	3,13	2,39	1,53
0,03	0,13	0,13	0,00	2,69	1,60	1,68	2,44
0,07	0,09	0,23	0,07	3,07	2,00	2,71	1,86
0,10	0,03	0,20	0,07	2,33	2,21	2,52	1,45
0,03	0,17	0,23	0,03	3,05	2,64	3,33	1,94
0,10	0,00	0,20	0,03	2,69	1,69	2,36	1,60
0,03	0,10	0,17	0,03	1,68	2,00	3,29	1,80
0,03	0,03	0,07	0,07	2,58	2,28	2,83	2,56
0,03	0,10	0,07	0,03	2,31	1,34	3,42	2,44
0,03	0,04	0,03	0,07	3,43	2,70	3,18	2,34
0,03	0,13	0,07	0,10	3,63	1,84	3,22	2,20
0,03	0,07	0,07	0,03	2,49	2,22	3,36	1,35
0,07	0,10	0,07	0,03	3,90	2,75	3,38	0,53
0,03	0,07	0,07	0,07	3,05	3,11	5,22	2,06
0,03	0,23	0,13	0,13	2,54	1,27	3,72	2,46
0,10	0,07	0,10	0,03	3,33	1,97	2,90	1,99
0,10	0,10	0,07	0,03	3,48	3,19	3,64	4,15
0,07	0,04	0,33	0,03	2,53	2,57	3,18	2,79
0,03	0,03	0,30	0,07	2,51	2,63	3,57	3,17
0,07	0,03	0,07	0,10	3,51	2,69	3,04	2,94
0,03	0,00	0,07	0,07	2,81	0,75	3,41	2,73
0,07	0,10	0,07	0,03	2,66	1,61	2,99	2,07
0,07	0,07	0,10	0,07	3,41	2,77	2,97	3,02
0,03	0,07	0,07	0,03	3,01	2,58	3,42	1,43
0,03		0,10	0,03	3,06		3,37	0,86
0,07		0,10	0,03	3,47		2,98	2,69
0,07		0,03	0,10	3,67		2,14	1,95
0,07		0,07	0,10	2,66		1,70	1,24

CONTINUACION

CONTRACCION LONGITUDINAL

CONTRACCION EN ANCHO

T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
0,03		0,00	0,07	3,07		3,45	2,61
0,07		0,07	0,00	3,63		2,10	1,36
0,03		0,30	0,10	2,10		3,09	1,91
0,03		0,10	0,03	1,61		3,54	1,63
0,03		0,27	0,10	2,08		2,39	2,19
0,07		0,07	0,07	3,50		1,49	1,82
0,10		0,10	0,07	0,90		3,25	1,78
0,07		0,03	0,07	3,16		2,34	1,44
0,10		0,13	0,03	3,00		2,67	2,67
0,13		0,07	0,07	2,57		3,24	1,52
0,07		0,07	0,03	3,68		3,36	1,36
0,07		0,10	0,10	3,13		3,94	2,93
0,07		0,10	0,03	3,20		2,35	1,53
0,10		0,13	0,03	3,36		3,76	2,06
0,07		0,03	0,10	3,89		1,81	1,76
0,13		0,17	0,10	3,43		2,25	2,53
0,10		0,07	0,07	3,12		3,32	2,15
0,07		0,10	0,03	2,37		3,20	2,73
0,10		0,07	0,03	3,71		2,43	1,30
0,07		0,07	0,07	3,61		3,31	2,38
0,07		0,13	0,07	3,77		3,32	3,10
0,03		0,13	0,07	3,11		3,46	2,08
0,10		0,10	0,10	2,64		3,66	2,21
0,10		0,10	0,03	3,11		3,38	2,71
0,03		0,13	0,07	3,48		3,45	2,11
0,07		0,07	0,03	4,41		4,18	2,64
0,13		0,10	0,03	2,19		2,83	2,57
0,10		0,07	0,07	1,90		2,76	2,78
0,10		0,10	0,07	2,28		3,12	1,91
0,03		0,10	0,03	2,89		3,50	2,50
0,07		0,03	0,07	3,07		3,21	1,67
0,07		0,10	0,07	2,79		3,33	2,52
		0,13	0,07			3,50	1,47
		0,13	0,07			3,42	2,33
		0,37	0,03			3,57	2,22
		0,56	0,07			3,55	1,08
		0,07	0,07			1,76	2,44
		0,10	0,03			3,35	2,13
		0,07				3,54	
		0,07				3,64	
		0,10				3,67	
		0,10				2,95	
		0,13				3,24	
		0,10				3,32	
		0,14				5,49	

CONTINUACION

CONTRACCION LONGITUDINAL

CONTRACCION EN ANCHO

T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
		0,07				2,61	
		0,03				3,51	
		0,10				2,56	
		0,07				2,06	
		0,07				2,74	
		0,10				3,29	
		0,03				1,62	
		0,10				2,82	
		0,10				3,46	
		0,10				2,31	
		0,10				2,37	
		0,13				3,56	
0,07	0,05	0,12	0,05	2,76	2,21	2,68	2,15

www.bdigital.ula.ve

CONTRACCION EN ESPESOR

T1	T2	T3	T4
2,99	2,68	1,99	4,68
3,54	2,20	2,33	4,25
0,78	2,58	1,52	2,68
1,59	3,73	2,32	5,83
3,48	2,70	2,02	4,61
3,41	2,84	2,69	1,45
2,77	1,96	1,33	4,25
4,75	2,49	2,12	4,06
4,63	2,92	2,02	4,23
1,61	2,36	1,86	4,23
3,63	2,80	1,43	3,79
4,44	2,84	1,24	5,28
2,41	4,31	2,17	3,78
4,22	3,44	2,18	5,83
2,35	2,67	1,80	3,35
1,11	1,22	1,42	3,19
3,34	2,91	0,91	2,28
3,50	3,71	1,44	4,56
5,79	2,06	0,96	2,81
5,32	2,16	1,70	4,41
4,08	3,36	2,66	4,32
4,33	3,11	2,58	1,58
3,47	2,66	2,64	4,05
3,13	3,57	1,73	3,85
2,47	2,43	2,82	3,18
3,72	3,22	2,06	3,49
3,17	1,30	3,74	2,58
2,23	2,55	1,53	2,48
2,25	2,68	3,00	3,94
5,02	2,62	1,71	5,70
4,37	4,59	1,36	3,66
5,87	3,15	1,93	3,79
4,29	3,77	2,20	4,05
3,70	2,85	1,81	3,01
2,90	4,08	2,88	3,10
3,74	2,49	2,76	3,55
3,61	3,48	2,99	4,87
5,23	3,05	3,25	1,93
2,52	5,29	2,75	4,21
2,45	2,22	2,84	4,87
5,71	2,75	2,65	6,06
5,35	3,93	1,87	3,61
4,11	2,55	3,48	4,90
4,12	3,73	2,08	5,63
4,00	3,19	2,23	3,94
4,58	2,47	2,07	2,72

CONTRACCION EN ESPESOR

T1	T2	T3	T4
3,67	2,35	1,84	4,19
5,72	2,81	1,08	4,58
2,72	1,92	1,35	3,72
3,23	2,56	2,12	2,86
2,33	3,28	2,60	4,76
5,20	3,43	2,34	4,16
3,87	2,93	1,83	3,92
2,09	3,12	2,90	4,34
2,04	2,55	2,06	2,24
2,80	2,99	2,28	4,71
5,63	3,57	2,42	4,50
4,75	3,37	2,50	2,71
4,49	3,12	3,41	4,14
4,31	2,09	2,65	4,53
2,90	2,52	1,96	3,30
3,26	2,93	2,29	3,74
3,12	2,30	1,88	4,20
4,34	3,13	2,44	3,09
5,50	2,22	2,66	4,28
4,17	3,57	2,86	4,43
4,48	3,37	2,98	5,44
5,16	3,28	2,49	3,63
4,20	3,06	2,97	4,30
4,17	2,50	2,25	2,78
2,26	2,35	2,67	4,50
2,72	0,87	3,90	4,08
4,27	2,97	2,71	3,84
4,40	2,65	1,01	3,14
4,88	3,29	2,51	4,81
2,99	2,57	2,35	4,91
2,60	1,83	2,61	3,56
4,40	2,78	2,63	4,82
3,60	2,29	2,03	2,32
0,79	1,66	2,19	4,95
5,98	3,37	4,96	3,65
1,92	3,91	2,85	4,09
6,05	3,18	3,35	3,53
3,43	4,53	2,21	3,67
2,25	2,08	4,18	2,93
5,04	3,07	1,74	3,98
3,61	2,05	1,84	3,51
3,18		1,99	2,65
3,37		3,19	3,05
3,19		3,66	5,11
2,84		4,04	2,34

## CONTRACCION EN ESPESOR

T1	T2	T3	T4
4,76		2,46	4,48
3,81		2,89	5,46
5,87		2,21	4,49
4,42		2,00	2,62
5,40		2,32	4,27
3,11		3,44	2,91
3,14		2,95	0,59
5,71		2,92	3,45
3,21		3,80	3,01
3,37		1,90	4,76
3,07		1,80	4,86
3,76		3,11	4,34
2,71		2,77	4,62
3,95		3,11	2,72
2,42		3,61	4,27
3,04		3,19	4,08
4,22		2,70	3,01
5,45		3,93	3,87
3,09		3,52	4,08
3,41		3,76	3,12
4,15		3,24	2,49
2,38		2,46	3,25
2,74		2,56	2,65
5,23		2,72	2,36
2,45		2,05	2,93
3,91		3,35	3,83
4,63		4,17	2,86
3,74		3,70	2,71
2,25		2,22	3,78
2,10		2,23	3,81
3,44		1,73	2,27
1,84		2,28	3,58
		2,57	3,15
		1,94	1,17
		2,58	4,93
		2,87	4,45
		4,16	2,77
		2,97	5,71
		3,60	
		3,45	
		2,92	
		4,37	
		3,09	
		3,01	
		3,45	

CONTINUACION

CONTRACCION EN ESPESOR

T1	T2	T3	T4
		3,69	
		2,31	
		3,18	
		4,81	
		2,82	
		2,27	
		3,32	
		3,64	
		1,68	
		1,73	
		2,28	
		1,57	
3,55	2,63	2,49	3,66

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)

CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL

T1	T2	T3	T4
9,5	8,2	11,4	7,2
9,5	5,9	9,4	6,8
9,5	7,5	9,8	6,3
9,9	5,0	13,4	17,8
9,3	8,8	9,2	8,8
10,5	7,1	9,0	7,3
8,8	6,5	8,1	8,7
8,6	7,4	7,6	7,2
16,2	10,9	8,9	8,9
8,1	5,8	9,7	7,8
8,5	10,0	7,9	8,4
13,5	10,2	8,5	13,0
9,8	13,3	11,6	8,8
9,4	7,2	8,5	10,7
8,4	8,7	7,0	6,9
10,0	5,1	8,7	7,2
8,7	7,2	7,6	9,3
7,2	7,9	7,9	28,4
9,1	8,5	5,1	8,0
8,4	7,6	7,6	6,8
8,2	8,0	12,2	12,8
7,8	5,8	17,9	7,9
7,2	8,4	13,0	7,8
11,5	7,2	7,0	6,7
9,0	8,7	12,5	8,6
9,7	16,2	15,4	9,2
9,5	7,8	29,5	7,3
11,6	6,9	10,0	9,0
19,5	9,2	10,4	8,5
10,7	6,7	12,2	43,3
8,5	34,0	8,8	12,9
10,2	5,6	8,2	6,5
13,2	5,6	7,1	13,8
8,2	7,1	17,2	7,3
8,4	9,5	14,3	8,9
7,8	6,8	12,7	7,8
11,1	8,4	12,1	9,4
9,1	8,0	13,4	9,7
9,6	14,7	28,2	7,1
20,7	7,7	30,2	7,0
8,1	7,3	5,0	8,4
11,9	6,0	12,5	6,6
6,7	5,3	15,9	8,9
11,0	7,9	10,3	10,8
8,3	5,9	11,5	7,7
9,6	5,8	9,4	8,2

CONTINUACION

CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL

T1	T2	T3	T4
8,6	5,8	8,4	6,9
10,3	7,1	8,7	7,9
12,4	5,8	10,0	9,9
12,2	7,7	7,0	6,8
8,9	6,8	8,2	7,5
7,8	5,3	7,1	8,0
11,1	12,5	9,7	7,3
9,1	10,6	7,0	6,7
9,6	4,8	8,2	10,5
20,7	4,6	7,4	8,3
8,1	8,4	7,8	13,2
11,9	5,9	14,5	7,7
6,7	11,6	19,6	13,3
11,0	6,4	7,5	7,3
8,8	7,7	8,1	8,5
9,2	11,7	10,4	8,1
8,5	5,9	9,4	7,7
9,0	6,9	8,0	8,0
8,7	5,6	11,6	7,2
8,5	10,4	7,3	7,1
7,7	9,2	15,5	16,0
9,1	8,3	7,0	7,2
11,3	10,1	9,0	11,5
9,6	6,6	6,5	8,7
9,3	6,4	9,3	8,5
9,0	10,2	8,5	8,0
10,2	6,6	9,7	6,2
8,8	7,8	13,6	7,6
9,7	6,2	6,7	7,1
9,1	5,5	7,6	23,8
8,0	6,8	6,3	6,1
8,9	13,1	12,5	7,1
8,8	7,2	6,6	7,7
10,3	6,4	8,7	6,3
9,7	7,3	10,7	6,1
6,3	5,4	8,1	6,9
10,2	6,4	11,1	7,3
10,0	13,7	7,7	7,9
9,9	5,7	7,3	6,8
7,2	5,5	8,0	7,3
10,9	5,5	7,9	7,7
8,6		7,1	5,1
8,4		8,1	6,8
12,0		11,9	6,5
8,2		21,6	8,0

CONTINUACION

CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL

T1	T2	T3	T4
7,8		8,9	10,5
9,2		11,0	19,6
9,2		8,6	8,3
12,6		7,9	8,0
7,1		10,1	6,7
10,3		8,7	7,0
7,5		9,3	8,8
9,9		14,7	6,8
9,4		10,2	8,5
8,7		10,8	6,6
11,3		8,6	7,3
9,5		8,1	8,1
7,5		13,8	8,0
10,1		8,3	6,8
10,1		14,1	7,0
10,0		25,7	7,6
13,9		6,3	7,0
11,4		8,8	6,7
9,7		9,2	15,9
8,3		7,2	7,7
9,7		8,8	8,7
8,9		9,7	6,8
9,1		10,9	7,4
7,6		7,4	6,6
7,6		10,0	7,6
9,2		8,9	6,0
8,0		8,2	6,1
10,1		15,2	6,5
8,6		7,2	9,8
8,4		6,7	6,4
8,1		8,1	6,1
		8,8	7,3
		10,0	5,7
		7,2	13,6
		7,9	9,2
		7,5	6,4
		22,5	11,7
		8,2	8,9
		9,2	
		9,0	
		7,6	
		8,2	
		15,3	
		7,4	
		9,1	

CONTINUACION

CONTENIDO DE HUMEDAD FINAL

T1	T2	T3	T4
		12,3	
		5,6	
		8,6	
		13,3	
		7,8	
		8,4	
		18,8	
		6,7	
		6,8	
		6,3	
		5,6	
		8,5	
9,37	7,38	9,99	8,62

[www.bdigital.ula.ve](http://www.bdigital.ula.ve)