



UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA AMAZONIA PERUANA



FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

ESCUELA DE FORMACION PROFESIONAL DE INGENIERIA FORESTAL

**“Evaluación del comportamiento al secado artificial de la madera aserrada de cumala (*Virola* sp.) en la Empresa Tropical Lumber SAC y propuestas de mejoramiento. Iquitos –Perú”**

**TESIS**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**

**INGENIERO FORESTAL**

**PRESENTADO POR:**

**MARIO EDWAR IHUARAQUI TAMANI**

**IQUITOS - PERU**

**2008**

## I. INTRODUCCION

Las necesidades de madera aserrada en el Perú y en el resto del mundo, obligan a las industrias de aserrio actual a buscar, por medio de la tecnología moderna, una mayor eficiencia en la producción para poder abastecer productos de mejor calidad a precios competitivos.

En la actualidad la industria del aserrío en nuestra región, comercializa la madera aserrada en el mercado nacional y de exportación; siendo ésta cada vez más exigente con relación a la calidad del producto, esto implica que el comportamiento de la madera secada en base a los programas de secado artificial que se viene aplicando deben ser adecuados a las características de las cámaras de secado, especie y espesor de la madera, es decir disminuir el tiempo de secado, minimizar el porcentaje de defectos y con un contenido de humedad final de acorde a las exigencias del mercado internacional; resultando en un mayor porcentaje del volumen de madera con características de secado de buena calidad, de esta manera se estaría satisfaciendo una de las mayores preocupaciones a nivel industrial de nuestra región.

La madera de cumala (*Virola* sp.) al estado verde se caracteriza por ser fácilmente invadida por hongos. La empresa Tropical Lumber SAC conociendo este inconveniente para la exportación de la madera de esta especie instaló 6 cámaras de secado con los cuales llegó a cristalizar su deseo de exportación.

Estos comportamientos de secado necesitan ser permanentemente evaluados a fin de plantear propuestas de mejoramiento de la calidad del secado en las empresas, mediante programas de secado de acuerdo a las especies y espesores de la madera, identificando las diferentes etapas del proceso de secado y poder determinar los tiempos adecuados para cada etapa, teniendo en cuenta la calidad del producto final que deseamos obtener, para una mejor rentabilidad de la empresa y una mayor satisfacción del cliente.

El presente estudio forma parte del proyecto de investigación de la Facultad de Ciencias Forestales de la UNAP, cuyo título es "Evaluación del comportamiento al secado artificial de la madera aserrada de cumala (*Virola* sp). en la empresa asociadas a AIMAL y propuestas de mejoramiento".

## II. REVISION DE LITERATURA

### 2.1 Estudios realizados

**FLORES (1995)**, dice que los primeros cambios de temperatura en la cámara de secado para cumala (*Virola* sp.). Fueron realizados exclusivamente en base a horas de secado, es allí donde la madera no sufre ninguna alteración y puede resistir estos cambios, sin peligro a torceduras y agrietamientos en la superficie. Agrega además, que a partir del 50% de contenido de humedad de las muestras, se tomó como referencia el gradiente de secado. Determinándose que es posible secar en forma simultánea dos especies de similares características anatómicas y de densidades compatibles bajo un mismo programa de secado.

**SOLIGNAC (2006)**, en un trabajo de investigación en cámaras automáticas a vapor con ventilación lateral experimentó dos programas de secado donde el programa "B" resultó mejor con relación al tiempo al alcanzar la humedad final del 8% en 166 horas con un aprovechamiento de madera exportable de 99.81%.

**MORI (2000)**, señala que la especie cumala de 1 1/2" pulgada de espesor tiene una contracción del volumen de 8.42% secado en hornos a base de vapor de agua, el contenido de humedad final fue de 8.5% en 277.5 horas, obteniéndose un diferencia del programa "A" que alcanzó la misma humedad en 176 horas con un aprovechamiento de 99.91%, así mismo determinó que el costo de secado de madera en horno marca "Benecke" modelo H-35-S para la especie *Virola* sp. es de US\$ 21.40/m<sup>3</sup> o US\$ 0.05/pt aprovechamiento de 98.02% de madera de buena calidad para exportación.

**SALAZAR (2004)**, en su informe de practica pre-profesional manifiesta que la cumala de una pulgada de espesor en comportamiento de secado en hornos marca Benecke en Forestal Industrial Yavarí S.A. tuvo un tiempo de secado de 7 días y 12 horas, con un 78,99% de madera de primera para exportación, para un contenido de humedad final del 8%.

**RAMIREZ (2004)**, en su informe de práctica pre profesional realizadas en Industrias Reunidas en hornos de compartimiento marca NARDI, en tablas de 0.75 pulg, 1 pulg, 1.5 pulg y 2 pulg, manifiesta que la cumala tuvo un tiempo de secado de 10 días y 6.31 horas y para el cedro 10 días y 10 horas, para un contenido de humedad final del 8%.

#### 2.1.1 Características de la especie

**KOLLMAN (1959)**, indica que el secado en el aire es moderado, demora entre 80 y 100 días para pasar de húmedo a 17% CH, produciéndose ciertos defectos de grietas, encorvado y abarquillado, los cuales disminuyen de intensidad en los procesos mas lento. Es una madera poco durable, muy susceptible al ataque de taladradores marinos, termitas y

hongos, la albura contiene un color marrón rosado, transición gradual bruta al duramen que es de color marrón grisáceo uniforme, brillo elevado, grano recto a irregular, textura media, veteado de poca figura, excepto si presenta grano ondulado, densidad básica  $0.45 \text{ gr/cm}^3$ , contracción volumétrica 13.40%, relación T/R 2.40, contracción tangencial 9.87%, contracción radial 4.45%.

## **2.2 Marco teórico**

### **2.2.1 Secado de la madera**

**ATENCIA (2006)**, manifiesta que el secado de madera se refiere a la relación entre la madera y la humedad, y es sin duda uno de los aspectos más importantes de la tecnología de la madera.

Como premisa fundamental para evitar pérdidas y problemas de calidad, la madera debe secarse en forma controlada, de manera que la humedad final esté definida por las condiciones ambientales o de clima del lugar donde se desarrollará el proceso de secado. Al referirnos al lugar donde se secará la madera, hacemos mención a una práctica que va cayendo en desuso, como es el secado al aire, tanto al descubierto como bajo techo; de esta forma, la duración del secado depende de los factores climáticos, inmanejables por cierto, y de las características de las especies. Esta práctica se contrapone con la premisa de control del clima en los procesos de eliminación del agua de la madera.

**CASTILLO (2001)**, dice que hay que tener presente que la calidad del secado (contenido de humedad final, gradiente de humedad, tensiones internas y defectos como grietas superficiales y alabeos, etc.), en forma importante se ve influenciada por las características y la calidad de la madera (densidad, ubicación de nudos, inclinación de fibra, contracción, madera de reacción, madera juvenil, tensiones de crecimiento, etc.). Los defectos son particularmente embarazosos para los usos que se pretenden desarrollar, lo cual da lugar a que el proceso requiera ciertos cuidados, si lo que se pretende es obtener madera seca de calidad libre de los defectos anteriores. Por lo anterior es de vital importancia hacer una adecuada diferenciación de la calidad de la madera de los diferentes híbridos y evaluar su comportamiento frente al secado.

**FUENTES (1994)**, señala que el secado artificial consiste en someter a la madera a corrientes de aire y a un grado higrométrico decreciente, ya que el aire tiene mayor capacidad de saturación y el calor, aumenta la tensión de vapor de agua de los poros con lo que se facilita su expulsión, debiéndose regular el sistema, para que el grado higrométrico del aire sea inferior a su capacidad de saturación, con lo que se consigue que el secado se realice en unos cuantos días. Cuando además se debe emplear aire a temperatura constante y hacer decrecer la humedad con una neblina de agua y utilizar aire a temperatura

y grado de humedad variable, de tal manera que la madera vaya entrando en contacto progresivamente con aire seco y caliente a medida que avanza la operación.

Otro procedimiento de secado artificial consiste en someter a la madera a radiaciones infrarrojas, con lo que se logra un secado uniforme. Este procedimiento es muy caro, pero es muy positiva su utilización en maderas que tienen poco espesor.

También se puede utilizar el secado por alta frecuencia, pero también tiene el inconveniente de que es muy caro, y por lo tanto se utiliza solamente para el secado de piezas delicadas.

**FERNANDEZ (1998)**, señala que la condición de un secado correcto es que a cada contenido de humedad de la madera corresponde una temperatura y una humedad relativa bien determinada de aire interior del secador. El horno capaz de realizar tal operación debe estar provisto de una instalación susceptible de crear y mantener una atmósfera artificial debidamente determinada. Para tal efecto todo horno tiene una construcción especial o célula de secado provista de dispositivos, que permitan acondicionar el aire interno es decir un sistema de calentamiento del aire y un sistema de humidificación del aire y un sistema de ventilación del mismo.

**EL INSTITUTO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA (1988)**, manifiestan que se entiende por "secado" a la eliminación del exceso de agua de la madera en condiciones rápidas y económicas, reduciendo los defectos de secado a un mínimo, siendo el contenido óptimo de humedad de una madera depende del uso.

### 2.2.2 Ventajas del secado de madera

**EL INSTITUTO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA (1988)**, señala que el secado de la madera es importante por que aporta las siguientes ventajas:

- ❖ Aumento de la estabilización dimensional de madera seca
- ❖ El secado, es una condición indispensable para la preservación de la madera
- ❖ El secado, es una condición indispensable para los acabados de superficies de madera.
- ❖ Aumento de los esfuerzos admisibles de la madera por secado
- ❖ El secado artificial es la base para el encolado y la ingeniería de la madera

### 2.2.3 Contenido de humedad en la madera

**MENDES (1996)**, indica que la madera contiene agua en su complicada estructura formada por células. Esta agua, es nada más aquel líquido que compone la savia del árbol. Cuando toda el agua es retirada de la madera, se dice que ella está absolutamente seca, y si se la pesa en una balanza, se obtendrá su peso seco.

La **JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (1989)**, señala que el contenido de humedad en la madera, puede ser determinado a través del método de secado en estufa, que es el método más exacto y el único científicamente satisfactorio para determinar el agua contenida en la madera. Es realizado mediante probetas extraídas de muestras de madera y calculados por diferencias de pesos (húmedo y seco).

Otro sistema para determinar el contenido de humedad de la madera es el método eléctrico, que tiene su base en las diferentes propiedades eléctricas de la madera. Existe una relación casi lineal entre el logaritmo de la resistencia eléctrica y el contenido de humedad en el rango del 6 al 25%. Secando la madera del 30 al 0%, la resistencia eléctrica aumenta un millón de veces; mientras que por encima del 30%, solamente ocasionaría una disminución de la resistencia eléctrica de solo cinco veces. Dentro de las desventajas que presentan estos aparatos podemos decir que las lecturas no son tan precisas y no permiten determinar en maderas cuyo contenido de humedad es mayor del 30%. La exactitud para el rango entre 6 y 25% de humedad es de  $\pm 2\%$ , desviación aceptable en todos los casos.

#### **2.2.4 Movimiento de la humedad en la madera**

**FERNANDEZ (1998)**, manifiesta que el secado de la madera es un fenómeno consistente en la eliminación superficial de agua por evaporación, a la vez que este migra desde el interior, hacia el exterior de la madera. En este fenómeno existen tres fases perfectamente diferenciadas:

**PRIMERA FASE.-** Es el agua libre que se encuentra presente en el interior como en el exterior de la pieza. Si el contenido de la humedad inicial de la madera es elevado se puede admitir que la superficie está recubierta de una capa de agua, en estas circunstancias el agua se evapora desde esta superficie como si desde una superficie de agua libre se tratara.

**SEGUNDA FASE.-** Comienza cuando ya no es posible admitir que la superficie exterior de la madera está rodeada de una capa de agua. En estas circunstancias se produce un fenómeno de evaporación interior, en el seno del cuerpo caracterizado por una menor superficie de evaporación y por tanto, por una velocidad notablemente inferior. A lo largo de esta fase el frente de evaporación interna se va desplazando hacia el corazón de la pieza.

**TERCERA FASE.-** Esta fase empieza, cuando no existe agua libre en la madera sino agua higroscópica. El fenómeno rector en esta fase no es ya la evaporación sino la difusión de la humedad.

De acuerdo con todo lo anterior el estudio del mecanismo del movimiento de agua en la madera debe ser abordado teniendo en cuenta:

- ❖ El fenómeno de evaporación superficial de agua en la madera,
- ❖ El movimiento de agua libre en el interior de la madera.
- ❖ El fenómeno de la difusión.

Entendiéndose el proceso de evaporación, como cuando una molécula altamente excitada y con alta velocidad alcanza la superficie de la madera, su energía cinética le permite vencer la atracción de las moléculas vecinas y escapar en forma de molécula de vapor, a la atmósfera o medio circundante mientras que la difusión es el movimiento espontáneo del agua en la madera desde los sitios de más alta concentración hacia aquellos de menor concentración, es decir, el movimiento se efectúa desde las zonas húmedas hacia las más secas hasta alcanzar la superficie de la pieza de madera.

### **2.2.5 Variaciones de las propiedades físicas y mecánicas**

**EL INSTITUTO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA (1988)**, señalan que la variación de las propiedades físicas y mecánicas de la madera se debe a diferencias en su estructura y las diversas sustancias presentes en ellas. La estructura de la madera y con esta sus propiedades físicas y mecánicas, esta caracterizada por la proporción entre los tejidos conductores y de sostén y por las dimensiones de los mismos. Aquí influye mucho el espesor de las paredes celulares.

**NOVOA (2005)**, indica que la contracción volumétrica de la madera, como propiedad física, presenta una gran importancia para el productor y usuario de la misma, por cuanto permite el considerar este parámetro en los procesos de optimización del aserrado y comprar la madera con las dimensiones requeridas, para que posterior al proceso de secado se quede con las dimensiones exigidas para su uso.

### **2.2.6 Secado artificial convencional**

La **JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (1989)**, indica que el secado convencional se desarrolla en recintos cerrados dentro de los cuales se establecen climas artificiales progresivamente más cálidos y secos. Cada clima o etapa del sedado se mantiene durante un determinado lapso, de acuerdo con un programa pre determinado experimentalmente según el tipo de dimensiones de la madera.

El secado convencional es el sistema más generalizado en el mundo y se distinguen varias formas, según la intensidad de la temperatura aplicada y las características de las instalaciones

Existen diferentes sistemas de secado artificial, el secado artificial al aire caliente que consiste en uniformizar la circulación del aire y su temperatura sin regular la humedad relativa; el secado a bajas temperaturas y deshidratación del aire que reproduce las condiciones del secado natural pero manteniendo una temperatura, humedad relativa y circulación del aire controlados y constantes, lo que asegura una mayor velocidad de secado con mínimos defectos en la madera; el secado a altas temperaturas, llamado también métodos tradicional artificial que utiliza intercambiadores de calor a vapor que eleva la temperatura alrededor de los 100°C a fin de acelerar el secado, este sistema es muy adecuado para secar grandes cantidades de madera de la misma dimensión y especie por carga tiene la desventaja de requerir cargas de madera homogéneas, estricto control técnico del proceso y mayores inversiones iniciales en la planta (secadora, caldero y ablandadores de agua) (VIZCARRA, 1998)

### **2.2.7 Sistemas de calefacción**

La **JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, (1989)**, señala los diversos medios por el cual se genera el calor dentro de un sistema de secado convencional, las mismas que son:

#### **➤ Vapor a mediana y alta presión**

Es quizás el sistema más apropiado para la industria del secado de la madera. Se pueden conseguir temperaturas superiores a los 115°C con 150 psi de presión, pero también se puede trabajar a presiones mas bajas según los requerimientos.

#### **➤ Calentamiento directo con desperdicios de madera**

El calentamiento directo con gases de humo provenientes de la combustión de desperdicios de madera o de carbón, no es recomendable en ningún caso, pues este sistema no permite un control eficaz de la temperatura y de la humedad relativa del aire dentro del secadero y aumenta el peligro de daños de secado.

#### **➤ Calentamiento a base de aceite térmico**

El calentamiento se hace con radiadores similares a los utilizados con vapor. El aceite se calienta con desperdicios de madera como combustible. Este sistema es muy útil en el



secado a bajas y altas temperaturas. Es ventajoso por que no es contaminante, puede ser controlado automáticamente al igual que los sistemas de vapor y no requiere personal calificado para su manejo.

### **2.2.8 El control del proceso de secado**

**MENDES (1996)**, manifiesta que saber cuándo y como alterar las condiciones de secado en el interior del secador, como la temperatura y la humedad relativa del aire, es fundamental para conducir un secado con éxito. Esas alteraciones, en las condiciones de secado, son hechas en función del contenido de humedad de la carga de madera y regidas por un programa de secado, pre-establecido para la madera que se está secando.

Los agentes que aceleran el proceso de secado son: la temperatura, la humedad relativa del aire y la ventilación. Teniendo en cuenta que en la mayoría de los secadores para madera la velocidad de la circulación del aire es constante, la temperatura y la humedad relativa del aire pasan a ser las principales variables en el control del proceso de secado. Para saber la temperatura de secado, la humedad relativa del aire (HRA), y hasta el contenido de humedad de equilibrio (CHE) se utilizan dos termómetros, localizados en posiciones estratégicas en el interior del secador; uno de ellos tiene el bulbo envuelto en una franela humedecida (TBH).

Cuando el aire está saturado de humedad, esto es, cuando él no tiene como incorporar ninguna molécula más de vapor de agua no habrá la evaporación de la humedad por la franela y, por lo tanto, no vamos a observar diferencia entre las temperaturas de los termómetros. Decimos, en este caso, que la humedad relativa de este aire es de 100 %. Por otro lado, cuando el aire está totalmente seco, con un gran poder de absorber vapor de agua, la evaporación de la humedad por la franela será intensa y, la diferencia observada entre las temperaturas de los termómetros, en este caso, será máxima.

### **2.2.9 Programas de secado**

**TUSET y DURAN (1985)**, manifiesta que en un programa de secado se dan los valores de temperatura y humedad relativa del aire que es recomendable tener en la cámara para los sucesivos estados de humedad en la madera. Hay dos formas principales de presentar los programas de secado: según el contenido de humedad controlado en muestras de la madera y según el tiempo transcurrido desde el comienzo del secado. La primera es la forma más utilizada, siendo su aplicación más general y sobre todo independiente del tipo de instalación; en cambio, para establecer un programa sobre la base

de horas de secado, se requiere experimentación previa con un determinado tipo de madera (por especie, por espesor, por tipo de corte) y en un horno determinado.

Con respecto al programa de secado **SCHREWE (1984)**, dice que considerando que muchos son los factores que influyen en la confección de un programa de secado, por ejemplo, tipo de secador, especies, espesores o método de aserrío, los programas no representan más que una guía que debe ser adecuada por el operador acorde con las condiciones y requerimientos específicos existentes. Por tal razón, es imprescindible que los operadores preparen sus propios programas de secado para cada especie y espesor, con el fin de obtener resultados óptimos dentro del tiempo más corto posible.

El mismo autor (1984), manifiesta que cuanto mas alta la temperatura y menor la humedad relativa, tanto más rápido se seca la madera. No obstante no puede llevarse esta regla al extremo sin producir defectos .Si no se dispone de un programa de secado comprobado para una cierta especie y espesor, debe observarse la regla general del secado que dice:..."*el secado a alta temperatura con pequeñas diferencias psicrométricas resulta en un secado rápido con menores tensiones y defectos que un secado a baja temperatura con grandes diferencias psicrométricas*".

### **2.2.10 Implicancias técnicas y económicas**

**ROJAS (1987)**, indica que los defectos ocasionados o acentuados por el secado, tienen serias implicaciones en los procesos posteriores, tanto de maquinado o de acabado, y consecuencias económicas importantes que afectan los costos de producción y que en ocasiones han determinado la sustitución de productos de madera por materiales más costosos. Como las condiciones para secado artificial son costosas y los gastos de operación mas bien altos, no se justifica, de ninguna manera, que al proceso en si no se le asignen todos los recursos técnicos y humanos requeridos para obtener de él los beneficios, quizá los mas trascendentales de toda cadena de transformación de la madera.

Si se evaluaran los defectos y se cuantificara, en términos económicos, la magnitud de las pérdidas en materia prima y procesos adicionales; cada empresa podría estar en condiciones de tomar decisiones que obviamente las conducirían a optimizar su proceso de secado.

Muchos defectos, aunque originados en las mismas propiedades de la madera, pueden minimizarse mediante medidas preventivas que muchas veces pasan desapercibidas por quienes se encargan del tratamiento .Muchas otras dependen del mal estado de las instalaciones, fallas humanas en el apilado y aplicación de los programas y de imprecisión o falta de adecuados instrumentos de control y registro

**ALVAREZ Y FERNÁNDEZ (1992)**, diferencian a la calidad de la madera de la calidad del secado, manifestando que la calidad de la madera se refiere a todas las propiedades o características de la materia prima, con antelación a su secado. Para su evaluación se tiene en cuenta como características principales la densidad, el tamaño y la ubicación de los nudos, la anchura y número de anillos de crecimiento, la inclinación de la fibra, así como todos aquellos defectos producidos por ataque de animales, insectos y hongos. La calidad de secado se refiere a las propiedades y los posibles defectos presentes en la madera seca como consecuencia del proceso de secado. La calidad de secado, puede estar en algún caso influenciada por alguna de las características que definen la calidad de la madera.

La **JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA (1989)**, establece que el tiempo de secado es un factor determinante en la selección del procedimiento y tipo de secado más apropiado. En efecto, este factor condiciona los tiempos de inmovilización de la materia prima, con la consecuente incidencia en el flujo de producción de la empresa y en los volúmenes de madera almacenados.

Para cualquier procedimiento, el tiempo de secado de la madera varía en función de numerosos factores entre los cuales se destacan los siguientes:

- La especie y su procedencia.
- El espesor.
- El contenido de humedad inicial.
- El contenido de humedad final deseado.
- La densidad de la madera.
- La conducción de las operaciones de secado.

**FERNANDEZ (1998)**, menciona que la humedad relativa del aire influye o afecta directamente la humedad de la madera. Si la humedad relativa del aire aumenta, entonces aumenta la humedad de la madera e inversamente. Esta aseveración se cumple cuando se mantiene la temperatura constante y cuando los procesos se llevan a cabo en un sistema cerrado, como es el caso de un secador para madera. Agrega además que, la determinación del contenido de humedad de la madera es una práctica común en procesos que demandan un control adecuado de su humedad, para lograr optimizar la calidad de los productos que se elaboran con ellos.

### **III. MATERIALES Y MÉTODO**

#### **3.1 Lugar de ejecución**

El presente trabajo de investigación se realizó en las instalaciones de la Empresa Tropical Lumber S A C, ubicado en la carretera Santa Maria S/N, perteneciente al Distrito de Punchada, provincia de Maynas, Departamento de Loreto. El acceso a la empresa se realiza por dos vías, una es por vía fluvial, recorriendo las aguas del río Amazonas y otro es la vía terrestre recorriendo la carretera de acceso al Puerto Silfo Alvan Del Castillo (Ver croquis en el anexo)

#### **3.2 Características climatológicas de la zona**

La temperatura máxima de la zona es de 32°C y la mínima de 21°C con una precipitación anual de 2 237 mm y 2 822 mm y una humedad relativa de entre 88,4% y 89,3% (SENAMHI 2008)

#### **3.3 Materiales y Equipos**

- Instalaciones de la planta de aserrio de la Empresa Tropical Lumber SAC
- 01 cámara de secado, con capacidad para 15 000 pt. con ventilación lateral.
- 01 caldera BI-GT/P de 2000 kg de vapor por hora
- Madera aserrada de cumala de 4/4", 6/4" y 8/4" de espesor, de longitud y anchos variables.
- Separadores de 1" x 1"
- Wincha métrica de 5 m de longitud.
- Balanza de 20 kg
- Detector eléctrico de humedad.
- Tablas de diferencias psicrométricas
- Regla de clasificación.
- Formato de toma de datos
- Reloj.
- Calculadora científica.
- Computadora personal y accesorios
- Útiles de escritorio y papelería en general.

### **3.4 Método**

El presente trabajo de investigación es del tipo experimental. El nivel de la investigación es el de observación directa, descriptivo-cualitativo.

### **3.5 Población y muestra**

La población estuvo referida a 240 000 pt de madera aserrada, que es el volumen que requiere la empresa para su proceso de exportación en un periodo de 45 días. La muestra estuvo referida a un volumen 15 000 pt de la especie *Virola sp* para un espesor de 4/4" pulg; 18 000 para espesor de 6/4"; 21 000 para espesor de de 8/4" que es la capacidad de un horno de secado; que para el presente trabajo de investigación, se efectuó en 03 repeticiones por programa.

### **3.6 Procedimiento**

El procedimiento seguido en la investigación, estuvo circunscrito a las siguientes actividades:

#### **3.6.1 Selección y preparación de las muestras de madera**

Las muestras de madera para el ensayo de secado, fueron de 4/4", 6/4" y 8/4" de espesor, longitud de 03 a 16 pies y ancho de 04 a 16 pulgada, se seleccionaron las piezas que presentan condiciones de cara limpia, sin rajaduras, grietas, ni ataques de agentes biológicos.

#### **3.6.2 Armado de las pilas**

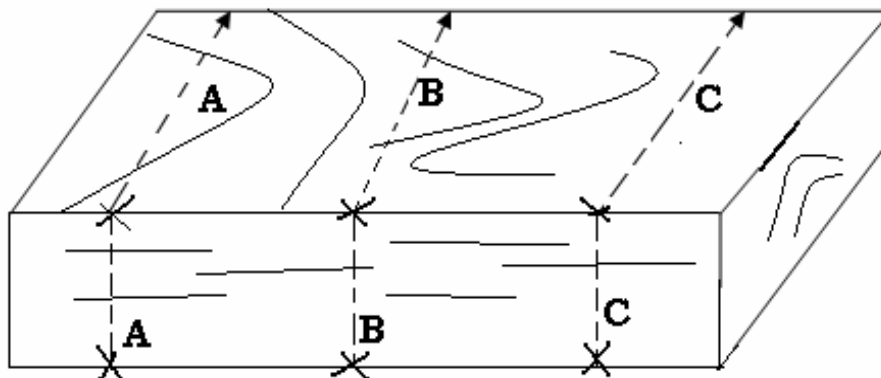
El armado de las pilas se realizó en forma manual directamente en las cámaras de secado, la misma que consistió en colocar las tablas en forma horizontal, sobre bases de madera, separándolos con tabiques de una pulgada cuadrada de sección cada 40-50 cm. Este proceso termina cuando cada pila alcanza un número de 40 filas.

#### **3.6.3 Control del contenido de humedad**

El control del contenido de humedad durante el proceso de secado, se realizó mediante probetas de madera de 1pt que fueron colocadas dentro de las cámaras y evaluadas diariamente para el cálculo respectivo, desde el inicio del proceso hasta el final.

### 3.6.4 Control de la contracción de la madera

El control de la contracción al principio y al término del secado, se procedió tomando 10 muestras de las tablas que fueron introducidos dentro de las cámaras de secado, al final del secado se procedió a comparar datos. Para la toma de dichos datos se codificó los extremos y el centro de las tablas con puntos A, B, C, tanto para el ancho, como para el espesor. Como se muestra en la imagen:



A = medida de uno de los extremos de la tabla

B = medida del centro de la tabla

C = medida del otro extremo de la tabla

### 3.6.5 Proceso de secado

Se llevó a cabo siguiendo lo estipulado en los programas de secado originales para los tres espesores propuestos. Con los resultados obtenidos, se procedió a la evaluación del comportamiento de la madera de cumala al secado y consecuentemente a elaborar la propuesta de mejoramiento del programa original.

### 3.6.6 Cubicación y clasificación de las tablas antes de secado

Al término del programa establecido, se procedió a cubicar y a clasificar las tablas en forma individual siguiendo las reglas establecidas por la Empresa Tropical Lumber SAC.

### 3.6.7 Clasificación de la madera después del secado

La clasificación de la madera después del secado se hizo en base a las reglas establecidas por la Empresa Tropical Lumber SAC cuyos parámetros son los siguientes:

CALIDAD	CARACTERISTICAS
<b>Primera</b>	Tablas libres de defectos de cara limpia, hasta piezas con no más de un nudo sano en el centro de la tabla o dos juntos periféricos que no atraviesen la tabla de cara a cara, sin rajaduras, con una picadura de insecto, con alabeos leves; este último, al cepillarse S2S debe alcanzar el espesor mínimo. Tamaño mínimo de la tabla 6" x 7'
<b>Segunda</b>	Tablas con alabeos moderados con rajaduras leves a moderadas, acepta hasta 3 nudos (uno que pase de cara a cara y dos que no), dos picaduras de insectos que atraviere o no de cara a cara, grieta superficial leve. Tamaño mínimo de las tablas 4" x 6'
<b>Recuperación</b>	Tablas que han sufrido defectos de secado durante el proceso que, en su condición, aún pueden ser recuperadas, las mismas que posteriormente pasarán a ser parte de la madera de primera, segunda, tercera o corta según la calidad que alcancen al ser recuperadas.

### 3.6.8 Tratamiento de datos

Para la realización de la interpretación y análisis de los resultados se utilizó la estadística descriptiva referida al registro de las evaluaciones de los programas.

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1 Secado de madera de 4/4" de espesor

#### 4.1.1 Programa de secado original

En el Cuadro 01, se muestra el programa de secado para "cumala" de 4/4" de espesor, el mismo que se encuentra dividido en siete etapas, considerando como cada etapa, los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad final requerido.

**Cuadro 01:** Programa de secado para cumala 4/4 con 100% de humedad

ETAPA	TIEMPO (h)	TEMP. (°C)		CH (%)	HR (%)	CHE (%)	GS
		TBS	TBH				
1	24	50	50	65	Calentamiento		
2	24	50	48	60	89	18.2	3.30
3	18	55	52	55	85	15.8	3.48
4	18	60	55	45	77	12.7	3.54
5	18	65	58	35	71	10.6	3.30
6	18	70	58	15	56	7.5	2.00
7	12	75	?	8	49	6.3	1.27
7	6	75	?	6	Enfriamiento		
	138						

Este programa se caracteriza por iniciarse tomándose como parámetro el contenido de humedad (CH) de las muestras de control hasta obtener la humedad deseada según se especifica en cada etapa, para luego a incrementar la temperatura (°C) y al mismo tiempo disminuir la humedad relativa del ambiente (HR), incrementándose de esta manera la energía cinética de las moléculas de agua, facilitando así la eliminación paulatina de la humedad de la madera sin forzar en ningún momento su estructura que originaría una contracción violenta.

La variación y cambios de temperatura en este programa se realizaron incrementando la temperatura en forma progresiva en rangos de prom. 5 °C y en tiempos iguales para cada etapa, tomándose como referencia el control de humedad de las muestras al final del tiempo establecido para cada etapa del programa de secado, teniendo una duración de secado de 138 horas (6-7 días).

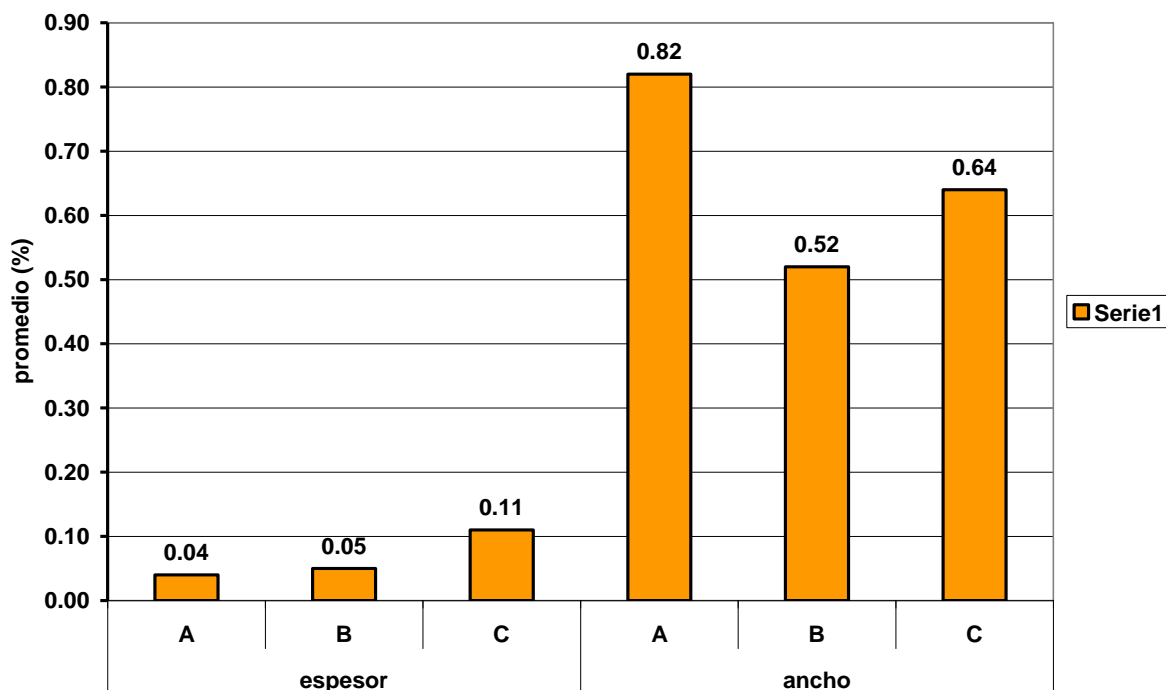


#### 4.1.2 Control de la medida de contracción de madera para los espesores y anchos de la tabla de cumala 4/4" de espesor.

En el Cuadro 02, se puede observar la medida de la madera antes de ingresar a la cámara de secado y después de salir de la misma, así mismo la variación que sufre la madera aserrada después del proceso de secado en función de las tres repeticiones realizadas.

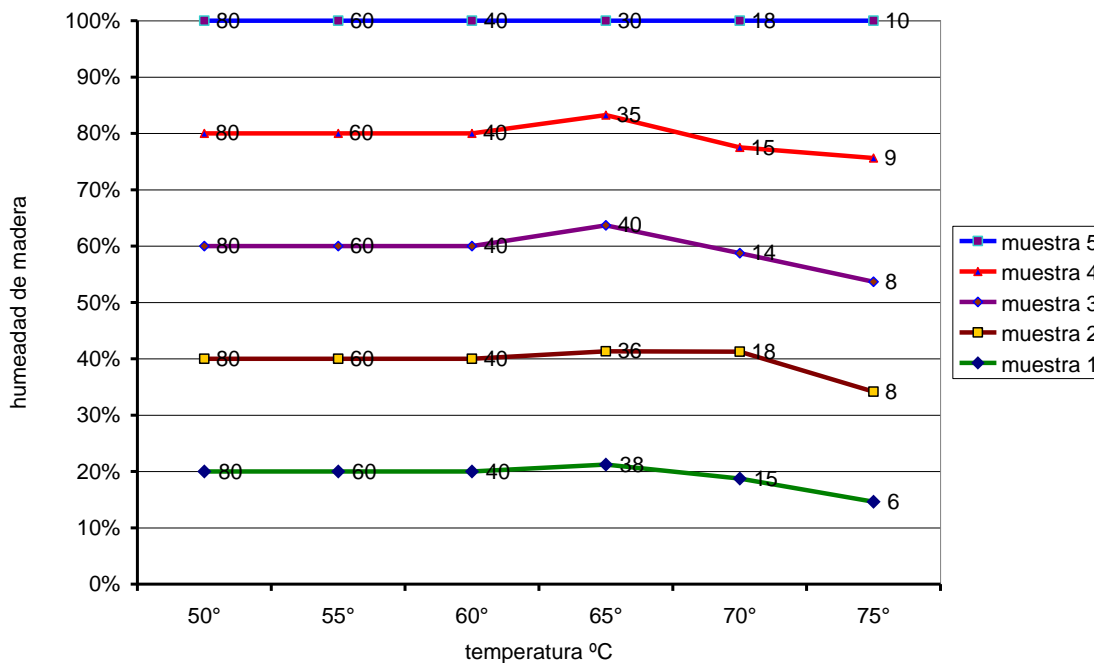
**Cuadro 02:** Contracción de la madera 4/4" de espesor

Al salir de la cámara						
Muestra	Espesor (%)			Ancho (%)		
N	A	B	C	A	B	C
1	0.1	0.1	0.1	0.7	0.6	0.6
2	0.0	0.0	0.1	1.1	1.0	1.0
3	0.1	0.0	0.1	0.5	0.4	0.5
4	0.0	0.0	0.0	0.7	0.3	0.5
5	0.0	0.0	0.0	1.5	0.8	1.3
6	0.1	0.1	0.2	0.6	0.5	0.6
7	0.1	0.2	0.2	0.9	0.6	0.7
8	0.0	0.1	0.1	0.8	0.3	0.4
9	0.0	0.0	0.1	0.5	0.3	0.4
10	0.0	0.0	0.2	0.9	0.4	0.4
<b>promedio</b>	0.04	0.05	0.11	0.82	0.52	0.64



**Figura 01:** Comparación de la contracción de la madera de cumala de 4/4" de espesor

En la Figura 01, se observa la contracción final de la madera en sus tres puntos (A,B,C) al final de proceso de secado de “cumala” de 4/4” de espesor.



**Figura 02:** Variación del contenido de humedad durante el proceso de secado de la madera de “cumala” de 4/4” de espesor.

En la Figura 02, se puede observar el proceso de eliminación del contenido de humedad de la madera aserrada de cinco de las etapas del proceso de secado en función de las tres repeticiones realizadas, donde en las etapas del 01 al 04 consideran madera excesivamente húmeda.

#### 4.1.3 Control del proceso de secado de cumala de 4/4” de espesor

En el Cuadro 03 se puede observar la variación del contenido de humedad para todas las etapas del proceso de secado en función de las tres repeticiones realizadas, donde las etapas del 01 al 03 se considera madera excesivamente húmeda, donde el medidor de humedad no alcanza a marcar con exactitud y se tomaron promedios aproximados.

A partir de la etapa 04 se tomaron datos de las muestras de control de contenido de humedad siendo de 55% el contenido de humedad con una temperatura de 55 °C, una vez tomados estos datos se incremento la temperatura a 60 °C, descendiendo la humedad a 45% con una depresión de bulbo seco de 8 °C, esto a su vez dio lugar a que siga incrementando la temperatura aún mas, es decir que en la próxima etapa 06 se pasó a 65

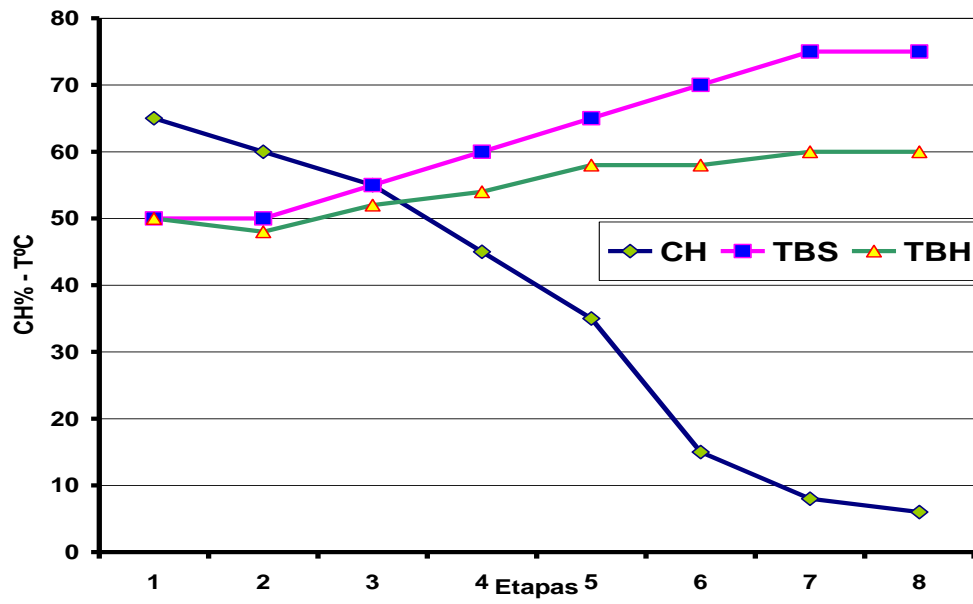
°C para que la humedad de la madera descienda a 34%, es en este instante que se llegó al punto de saturación de las fibras indicando que la madera perderá con mayor rapidez, siendo así, que en las siguientes dos últimas etapas (etapa 07 y 08) se procedió a incrementar a temperaturas de 70 °C y 75 °C, respectivamente, hasta obtener el contenido de humedad final deseado de 6 – 7%.

**Cuadro 03:** Controles del porcentaje de contenido de humedad en el secado de “cumala” de 4/4” de espesor.

Repe- tición	Muestras	Etapa 1 50 °C	Etapa 2 50 °C	Etapa 3 50 °C	Etapa 4 55 °C	Etapa 5 60 °C	Etapa 6 65 °C	Etapa 7 70 °C	Etapa 8 75 °C
1	1	> 60	65	60	55	45	38	15	6
	2	> 60	58	61	55	43	36	18	6
	3	> 60	60	59	55	42	40	14	8
	4	> 60	75	58	58	45	35	15	9
	5	> 60	65	55	56	48	30	18	7
	6	> 60	75	59	57	45	27	19	9
2	1	> 60	58	60	54	45	35	14	7
	2	> 60	65	60	55	44	38	10	7
	3	> 60	65	60	55	45	35	13	8
	4	> 60	75	59	55	45	32	15	7
	5	> 60	80	65	54	45	40	16	8
	6	> 60	68	65	54	45	35	15	9
3	1	> 60	65	60	54	45	30	17	6
	2	> 60	75	60	55	46	27	18	9
	3	> 60	58	60	57	45	35	14	7
	4	> 60	65	60	58	46	38	9	7
	5	> 60	75	60	55	45	35	10	8
	6	> 60	58	60	55	45	32	12	6
<b>TOTAL</b>	18								
<b>PROMED (%)</b>			67	60	55	45	34	15	7

#### 4.1.4 Relación entre TBS, TBH, CH, durante el proceso de secado de 4/4” de espesor.

En la figura 03, se puede observar la curva del contenido de humedad para el espesor 4/4” y la curva de las temperaturas (TBS y TBH) utilizadas para este proceso de secado; se observa que conforme se va incrementando la temperatura, también aumenta la diferencia psicrométrica y esta hace que la humedad descienda en forma lenta hasta obtener el contenido de humedad final requerido de 8% en un tiempo de 138 horas (7 días), aplicando una temperatura final de 75°C.



**Figura 03:** Variación del contenido de humedad y temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo en el proceso de secado de la madera de “cumala” de 4/4” de espesor.

## 4.2 Secado de madera de 6/4" de espesor

### 4.2.1 Programa de secado original

En el Cuadro 04, se muestra el programa de secado para "cumala" de 6/4" de espesor, el mismo que se encuentra dividido en once etapas, considerando como cada etapa, los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad final requerido.

**Cuadro 04:** Programa de secado original para cumala 6/4" con 100% de humedad

ETAPA	TIEMPO	TEMP. (°C)		CH	HR	CHE	GS
	(h)	TBS	TBH	(%)	(%)	(%)	
1	24	50	50	70	calentamiento		
2	12	50	48	65	89	16	4.06
3	24	52	49	60	87	15.5	3.87
4	24	55	52	58	85	15.8	3.67
5	23	55	51	45	81	14.2	3.17
6	24	60	54	35	73	11.6	3.02
7	18	63	56	23	68	10.5	2.19
8	18	65	57	20	67	9.1	2.20
9	18	70	60	15	62	8.5	1.76
10	15	75	65	10	63	8.4	1.19
11	15	75	70	7	enfriamiento		
	215						

Este programa se caracteriza por iniciarse tomándose como parámetro el contenido de humedad (CH) de las muestras de control hasta obtener la humedad deseada según se especifica en cada etapa, para luego a incrementar la temperatura (°C) y al mismo tiempo disminuir la humedad relativa del ambiente (HR), incrementándose de esta manera la energía cinética de las moléculas de agua, facilitando así la eliminación paulatina de la humedad de la madera sin forzar en ningún momento su estructura que originaría una contracción violenta.

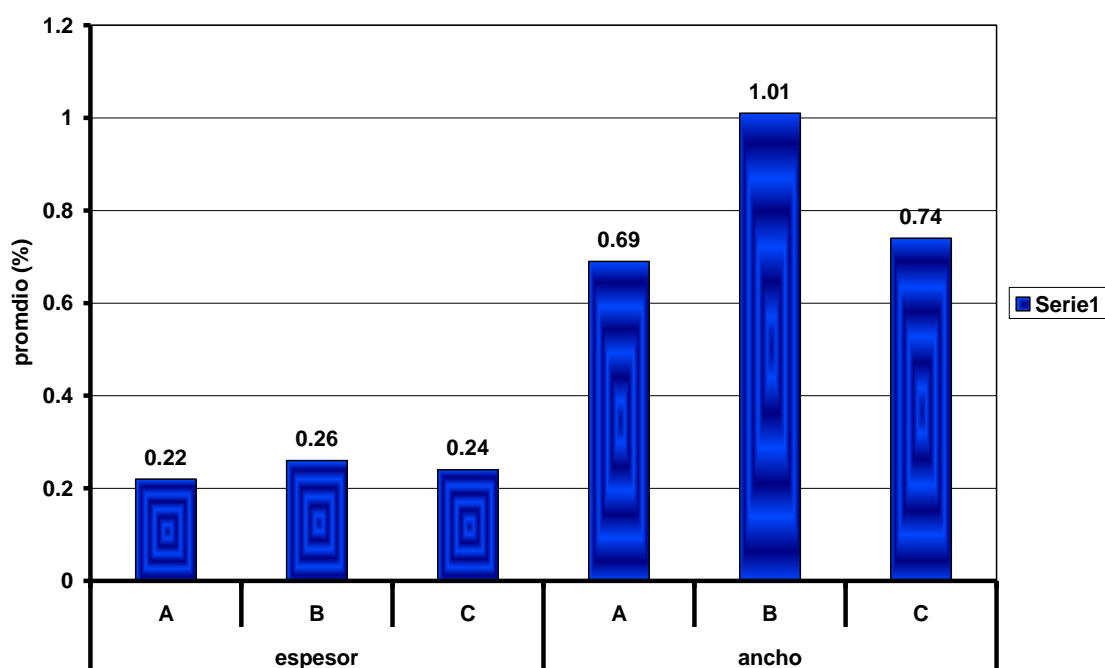
La variación y cambios de temperatura en este programa se realizaron incrementando la temperatura en forma progresiva en rangos de prom. 3 °C y en tiempos iguales para cada etapa, tomándose como referencia el control de humedad de las muestras al final del tiempo establecido para cada etapa del programa de secado, teniendo una duración de secado de 215 horas (10-11 días).

#### 4.2.2 Control de la medida de contracción de madera para los espesores y anchos de la tabla cumala de 6/4" de espesor.

En el Cuadro 05, se puede observar la medida de la madera antes y después de ser puestas en la cámara de secado, así mismo la variación que sufre la madera aserrada después del proceso de secado en función de las tres repeticiones realizadas.

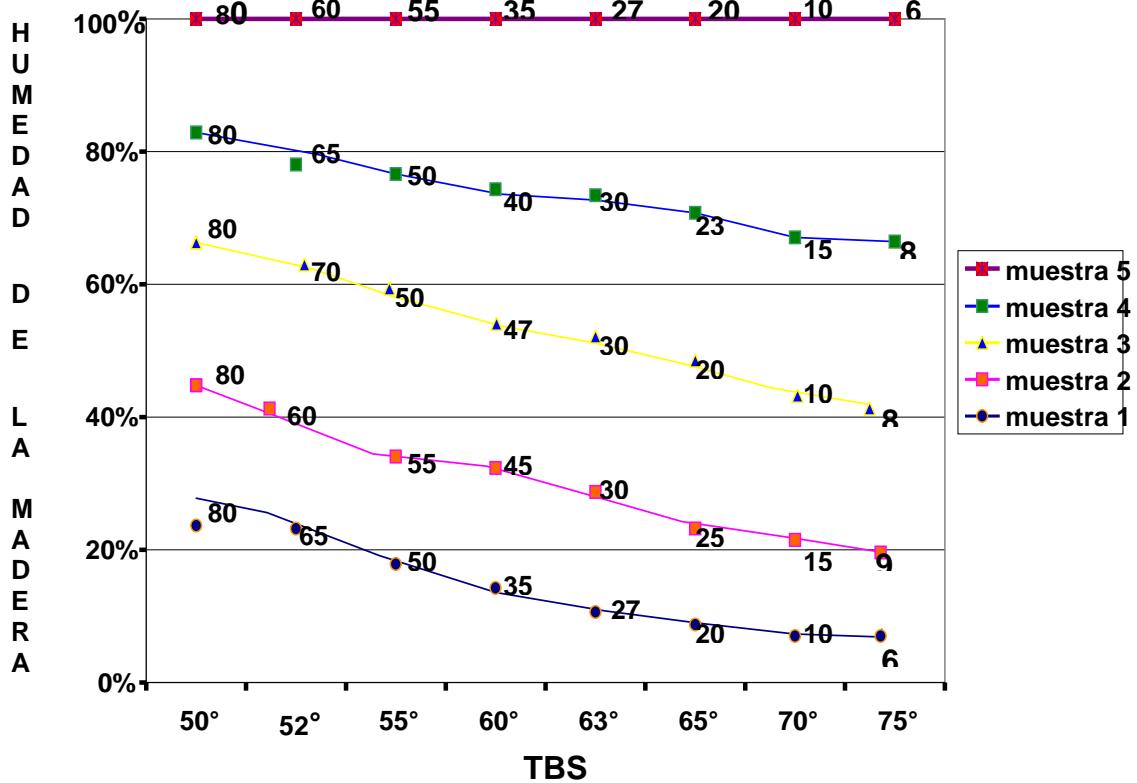
**Cuadro 05:** Contracción de la madera 6/4" de espesor

Al salir de la cámara						
Muestra	Espesor (%)			Ancho (%)		
N	A	B	C	A	B	C
1	0.10	0.30	0.20	1.00	2.00	0.00
2	0.20	0.30	0.30	1.80	2.00	2.20
3	0.20	0.00	0.10	0.20	0.30	0.30
4	0.30	0.40	0.00	1.00	0.50	1.00
5	0.40	0.40	0.10	0.90	0.20	0.50
6	0.20	0.00	0.30	0.00	0.30	0.50
7	0.20	0.50	0.40	0.90	1.80	1.00
8	0.30	0.40	0.30	0.50	1.50	0.90
9	0.30	0.30	0.70	0.10	1.40	1.00
10	0.00	0.00	0.00	0.50	0.10	0.00
<b>Promedio</b>	0.22	0.26	0.24	0.69	1.01	0.74



**Figura 04:** Comparación de la contracción de la madera de cumala de 6/4"

En la Figura 04 se observa la contracción final de la madera en sus tres puntos (A, B, C) al final de proceso de secado de “cumala” de 6/4” de espesor.



**Figura 05:** Variación del contenido de humedad durante el proceso de secado de la madera de “cumala” de 6/4” de espesor.

En la Figura 05 se puede observar el proceso de eliminación del contenido de humedad en cinco muestras de madera aserrada en las diferentes etapas del proceso de secado, donde en las tres primeras etapas (80%, 60% y 55% de CH) se considera que la madera es excesivamente húmeda.

### 4.2.3 control del proceso de secado de cumala de 6/4” de espesor

En el Cuadro 06 se presenta la variación del contenido de humedad para todas las etapas del proceso de secado en función a las tres repeticiones, al igual para 4/4”, la madera fue excesivamente húmeda en las primeras etapas por lo que los datos son aproximados.

A partir de la etapa 03 se tomaron datos del contenido de humedad inicial de las muestras de control que en promedio fue de 39%, iniciándose el secado con una temperatura de 50 °C, en la siguiente etapa (04), se incrementó la temperatura a 52 °C el cual hizo descender la humedad a 38%, en la etapa (05) nuevamente se incrementó la

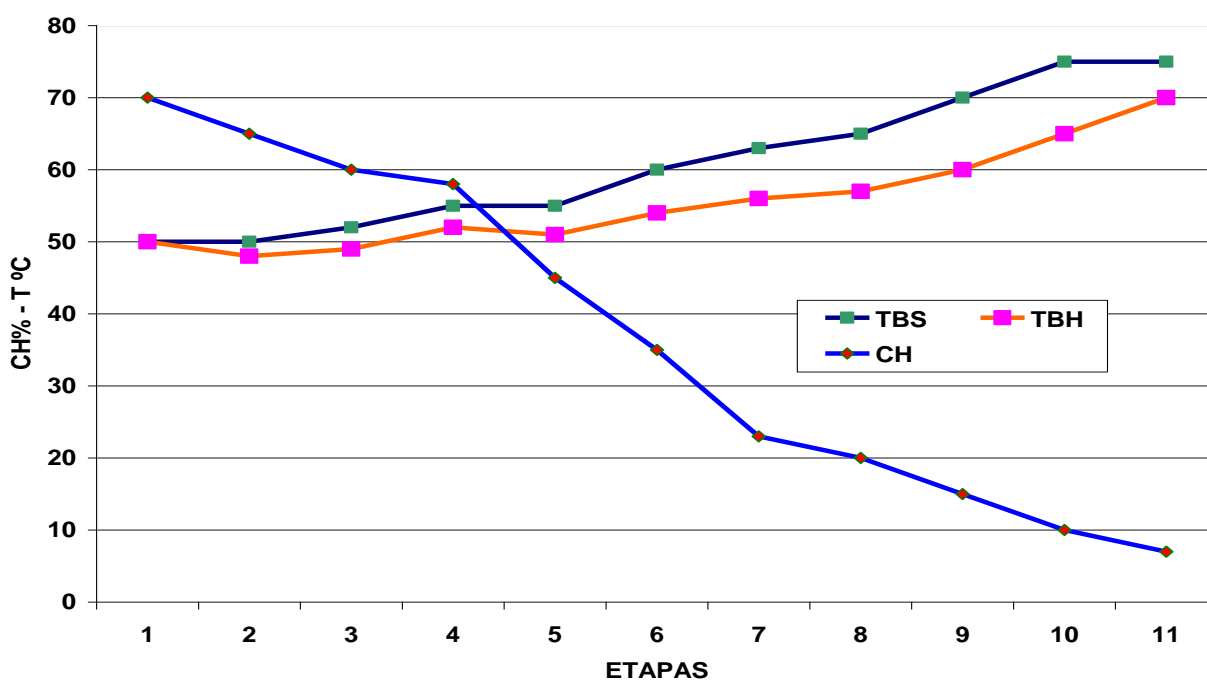
temperatura a 55 °C bajando la humedad hasta 35% con una depresión del bulbo húmedo de 5 °C, esto a su vez dio lugar a seguir incrementando la temperatura en la etapa (06) a 60 °C que hizo descender la humedad de la madera a 27%, y así sucesivamente hasta llegar a las dos últimas etapas (etapa 09 – 10) donde se incrementaron la temperatura a 70 °C y 75 °C, respectivamente hasta obtener el contenido de humedad final deseada de 6 – 8%.



**Cuadro 06.-** Control de porcentaje del contenido de humedad en el secado de “cumala” de 6/4” de espesor

Repetición	Muestras	Etapa 1 50 °C	Etapa 2 50 °C	Etapa 3 50 °C	Etapa 4 52 °C	Etapa 5 55 °C	Etapa 6 60 °C	Etapa 7 63 °C	Etapa 8 65 °C	Etapa 9 70 °C	Etapa 10 75 °C
1	1	> 60	50	38	35	35	29	9.7	9.7	7.9	6
	2	> 60	65	40	35	30	28	25.7	20.7	7.7	5
	3	> 60	60	37	35	32	29	18.3	10.3	9	4
	4	> 60	65	38.5	32	30	24	14.5	12	9.5	5.5
	5	> 60	65	39.8	39	35	29	17.3	14.5	6.3	6
	6	> 60	60	40	40	35	28	23.5	21.8	7.3	4
2	1	> 60	55	40	40	35	15	20.3	18.3	11.6	5.5
	2	> 60	50	40	40	38	30	35	27	8.5	6.3
	3	> 60	65	40	40	39	22	20	25.1	9.8	6.3
	4	> 60	60	40	40	40	27	20	17.6	9	8
	5	> 60	60	40	35	32	29	18.3	10.3	9	4
	6	> 60	65	39	32	30	24	14.5	14	9.5	5.5
3	1	> 60	60	40	39	35	29	17.3	14.5	6.3	6
	2	> 60	50	40	40	35	28	23.5	17.8	7.3	4
	3	> 60	65	40	40	35	25	20.3	16.3	11.6	5.5
	4	> 60	60	37	40	38	36	35	27	8.5	6.3
	5	> 60	65	40	40	39	24	20	12.1	9.8	6.3
	6	> 60	65	38	40	40	27	20	17.6	9	8
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>										
<b>PROMEDIO %</b>			<b>60</b>	<b>39</b>	<b>38</b>	<b>35</b>	<b>27</b>	<b>21</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>6</b>

#### 4.2.4 Relación entre la TBS, TBH, CH, durante el proceso de secado de 6/4" de espesor.



**Figura 06:** Variación del contenido de humedad y temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo en el proceso de secado de la madera de "cumala" de 6/4" de espesor.

En la figura 06, se puede observar la curva del contenido de humedad para el espesor 6/4" y la curva de las temperaturas (TBS y TBH) utilizadas para este proceso de secado; se observa que conforme se va incrementando la temperatura, también aumenta la diferencia psicrométrica y esta hace que la humedad descienda en forma lenta hasta obtener el contenido de humedad final requerido de 6% en un tiempo de 215 horas (11 días), aplicando una temperatura final de 75°C.

### 4.3 Secado de madera de 8/4" de espesor

#### 4.3.1 Programa de secado original

En el Cuadro 07 se muestra el programa de secado para "cumala" de 8/4" de espesor, el mismo que se encuentra dividido en catorce etapas, considerando como cada etapa, los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad final requerido.

**Cuadro 07:** Programa de secado original para cumala 8/4" con 100% de humedad

ETAPA	TIEMPO	TEMP. (°C)		CH	HR	CHE	GS
	(h)	TBS	TBH	(%)	(%)	(%)	
1	24	48	48	68	calentamiento		
2	24	48	46	65	86	18.1	3.59
3	24	50	47	60	84	16	3.75
4	24	50	47	57	84	16	3.56
5	24	55	51	55	81	14.2	3.87
6	24	55	51	52	81	14.2	3.66
7	24	58	53	47	77	12.7	3.70
8	24	58	53	45	77	12.7	3.54
9	24	60	53	38	69	10.7	3.55
10	24	60	53	34	69	10.7	3.18
11	24	65	57	25	67	9.8	2.55
12	24	65	57	18	67	9.8	1.84
13	24	70	60	13	62	8.5	1.53
14	24	75	60	8	enfriamiento	8.5	

336

Este programa se caracteriza por iniciarse tomándose como parámetro el contenido de humedad (CH) de las muestras de control hasta obtener la humedad deseada según se especifica en cada etapa, para luego a incrementar la temperatura (°C) y al mismo tiempo disminuir la humedad relativa del ambiente (HR), incrementándose de esta manera la energía cinética de las moléculas de agua, facilitando así la eliminación paulatina de la humedad de la madera sin forzar en ningún momento su estructura que originaría una contracción violenta.

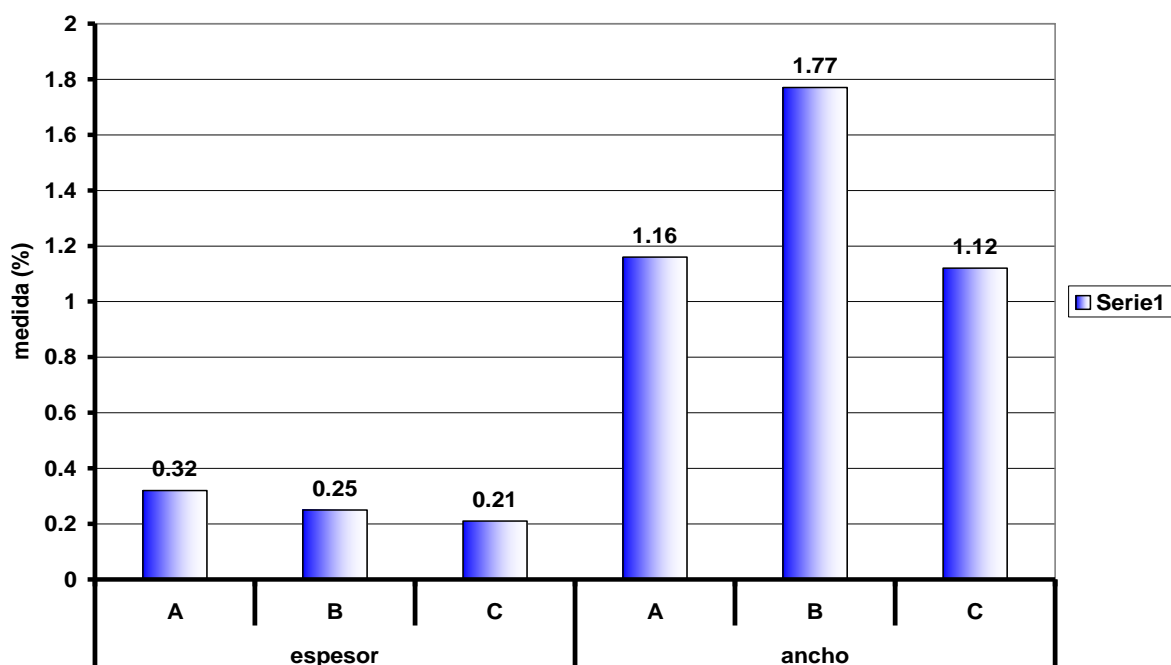
La variación y cambios de temperatura en este programa se realizaron incrementando la temperatura en forma progresiva en rangos de prom. 3 °C y en tiempos iguales para cada etapa, tomándose como referencia el control de humedad de las muestras al final del tiempo establecido para cada etapa del programa de secado, teniendo una duración de secado de 320 horas (13-14 días).

#### 4.3.2 Control de la medida de contracción de madera para los espesores y anchos de la tabla de cumala de 8/4" de espesor

En el Cuadro 08 se puede observar la contracción de la madera de 10 muestras después del proceso de secado, así mismo la variación que sufre la madera serrada en el ancho y espesor en función a las tres repeticiones realizadas.

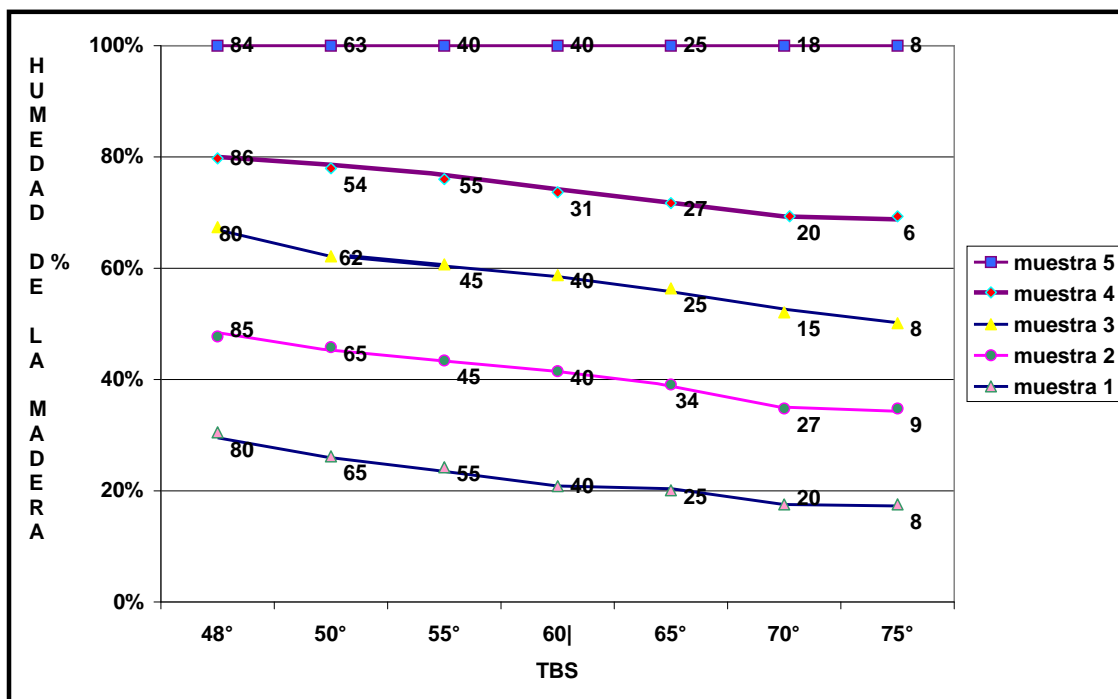
**Cuadro 08:** Contracción de la madera de 8/4" de espesor

Al salir de la cámara						
Muestra	Espesor (%)			Ancho (%)		
N	A	B	C	A	B	C
1	0.20	0.20	0.30	0.30	0.40	0.70
2	0.00	0.20	0.20	1.50	2.00	1.20
3	0.30	0.30	0.30	0.40	0.20	0.30
4	0.20	0.80	0.10	2.70	6.60	2.50
5	0.50	0.10	0.10	1.20	1.20	0.50
6	1.10	0.20	0.20	0.30	0.30	0.30
7	0.20	0.20	0.20	2.00	3.10	2.20
8	0.30	0.20	0.10	1.50	1.90	1.80
9	0.20	0.20	0.40	0.10	0.20	0.30
10	0.20	0.10	0.20	1.60	1.80	1.40
<b>promedio</b>	0.32	0.25	0.21	1.16	1.77	1.12



**Figura 07:** Comparación de la contracción de la madera de cumala de 8/4"

En la Figura 07 se observa la contracción final de la madera en sus tres puntos (A, B, C), tanto en el ancho como en el espesor, al final de proceso de secado de “cumala” de 8/4” de espesor.



**Figura 08:** Variación del contenido de humedad durante el proceso de secado de la madera de “cumala” de 8/4” de espesor.

En la figura 08 se puede observar el proceso de eliminación del contenido de humedad de la madera aserrada de cinco de las etapas del proceso de secado en función de las tres repeticiones realizadas, donde en las etapas del 01 al 04 consideran madera excesivamente húmeda.

#### 4.3.3. Control del proceso de secado de cumala de 8/4” de espesor

En el cuadro 09, se puede observar la variación del contenido de humedad para todas las etapas del proceso de secado en función de las tres repeticiones realizadas, donde en las etapas del 01 al 06 se consideran madera excesivamente húmeda en donde el medidor de humedad no alcanza a marcar con exactitud y se tomaron promedios aproximados.

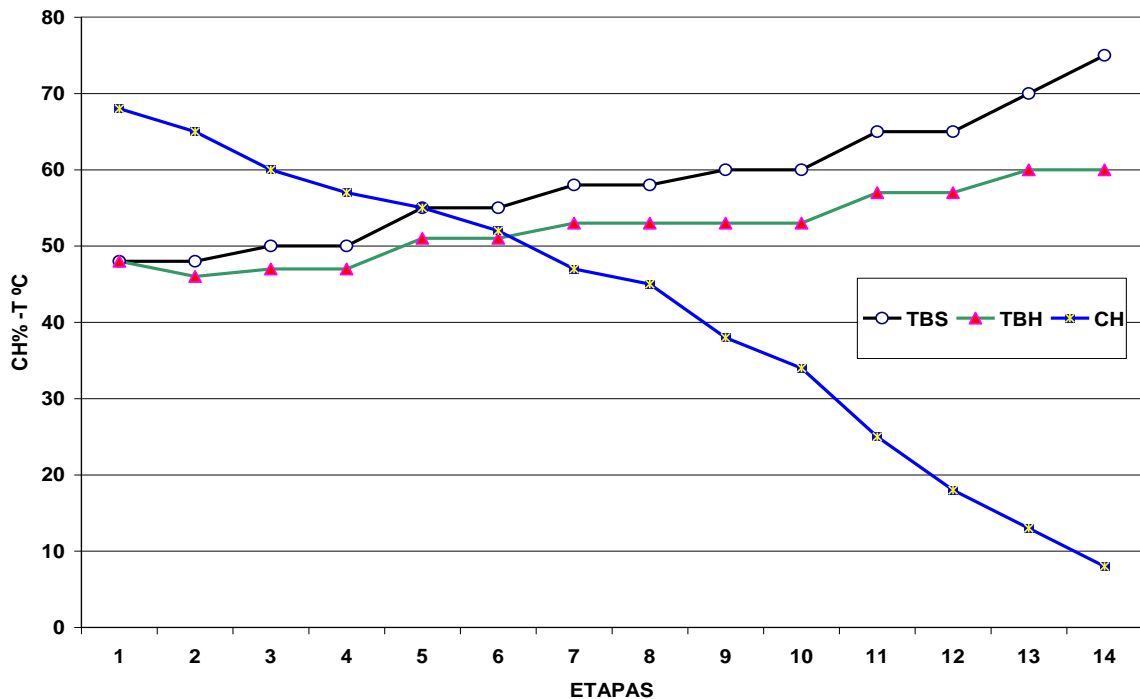
A partir de la etapa 07 se toma datos de las muestras de control de contenido de humedad siendo de 65% el contenido de humedad promedio con una temperatura de 58 °C, en la siguiente etapa (08), se mantuvo la temperatura a 58 °C, provocando que a través de evaporación descendiera a 60%, en la etapa 09 se incrementó la

temperatura a 60 °C descendiendo de esta manera la humedad a 50%, una vez tomado estos datos se incrementó nuevamente la temperatura a 65 °C bajando la humedad hasta 39%, esto a su vez origina que se siga incrementando la temperatura aún más, es decir que en la próxima etapa (12) se mantuvo la temperatura en 65 °C para que la humedad de la madera descienda a 26%, así sucesivamente llegamos a las dos últimas etapas (etapa 13 y 14), se puede incrementar la temperatura de 70 °C y 75 °C respectivamente hasta obtener el contenido de humedad final deseado 6-8%.

**Cuadro 09.-** Controles de porcentaje de contenido de humedad en el secado de “cumala” de 8/4” de espesor.

Repetición	Muestras	Etapa 1 48 °C	Etapa 2 48 °C	Etapa 3 50 °C	Etapa 4 50 °C	Etapa 5 55 °C	Etapa 6 55 °C	Etapa 7 58 °C	Etapa 8 58 °C	Etapa 9 60 °C	Etapa 10 60 °C	Etapa 11 65 °C	Etapa 12 65 °C	Etapa 13 70 °C	Etapa 14 75 °C
1	1	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	58	60	50	45	40	25.7	20.5	8
	2	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	60	58	51	45	40	34.3	27.4	9
	3	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	54	59	52	45	40	15.9	10.3	5
	4	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	57	60	53	44	33.5	27.9	20	6
	5	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	58	60	50	48	40	25.2	18.3	8
	6	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	60	60	49	46	40	18.5	9.5	9
2	1	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	58	60	50	43	38.5	22.4	18.9	5
	2	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	54	59	45	45	40	37.9	15.5	6
	3	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	57	58	50	42	40	39.1	27.5	8
	4	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	56	57	50	44	40	15.5	10.4	9
	5	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	52	60	51	45	40	27.7	21.5	8
	6	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	53	60	51	45	40	34.3	26.4	9
3	1	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	58	60	50	45	40	14.9	9.3	5
	2	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	58	61	50	44	32.9	27	21	6
	3	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	56	62	50	45	40	23.2	17.3	8
	4	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	58	60	50	46	40	18.5	10.5	9
	5	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	60	60	50	45	33.5	26.4	19.9	5
	6	calentamiento	calentamiento	> 80	> 80	± 70	± 70	63	60	49	44	40	35.9	14.5	6
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>														
<b>PROMEDIO %</b>								<b>65</b>	<b>60</b>	<b>50</b>	<b>45</b>	<b>39</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>7</b>

#### 4.3.4 Relación entre la TBS, TBH, CH, durante el proceso de secado de 8/4" de espesor



**Figura 09:** Variación del contenido de humedad y temperatura de bulbo seco y bulbo húmedo en el proceso de secado de la madera de “cumala” de 8/4” de espesor.

En la figura 09, se puede observar la curva del contenido de humedad para el espesor 8/4” y la curva de las temperaturas (TBS y TBH) utilizadas para este proceso de secado; se observa que conforme se va incrementando la temperatura, también aumenta la diferencia psicrométrica y esta hace que la humedad descienda en forma lenta hasta obtener el contenido de humedad final requerido de 7% en un tiempo de 336 horas (14 días), aplicando una temperatura final de 75°C.



#### 4.4 Defectos en el proceso de secado

Las intensidades de los defectos de la madera de 4/4", 6/4", y 8/4" de espesor se presentan en los siguientes cuadros:

**Cuadro 10:** Defectos físicos y biológicos en el secado de cumala de 4/4" según programas.

Defectos	PROGRAMA 1	PROGRAMA 2	PROGRAMA 3
	(138 horas)	(140 horas)	(145 horas)
Defectos físicos			
a) grietas	2%	0%	2%
b) Curvado	2%	2%	0%
c) Abarquillado	1%	0%	0%
<b>total de defectos físicos</b>	5%	2%	0%
defectos biológicos: presencia de mohos	NO	NO	NO
<b>Porcentaje aprovechable</b>	95%	98%	98%

Se observó que al colocar pesos encima de los paquetes se reduce en algo el defecto de abarquillamiento.

**Cuadro 11:** Defectos físicos y biológicos en el secado de cumala de 6/4" según programas.

Defectos	PROGRAMA 1	PROGRAMA 2	PROGRAMA 3
	(204 horas)	(210 horas)	(215 horas)
Defectos físicos			
a) grietas	0%	1%	0%
b) Curvado	1%	1%	0%
c) Abarquillado	1%	1%	3%
<b>total de defectos físicos</b>	2%	3%	3%
defectos biológicos: Presencia de mohos	SI	NO	NO
<b>porcentaje aprovechable</b>	98%	97%	97%

Debido a la presencia de mohos se requiere escobillarlos para aprovechar este 98%.

**Cuadro 12:** Defectos físicos y biológicos en el secado de cumala de 8/4" según programas.

<b>Defectos</b>	<b>PROGRAMA 1</b> (320 horas)	<b>PROGRAMA 2</b> (335 horas)	<b>PROGRAMA 3</b> (336 horas)
Defectos físicos			
a) grietas	2%	3%	0%
b) Curvado	1%	1%	0%
c) Abarquillado	1%	1%	2%
<b>total de defectos físicos</b>	4%	5%	2%
defectos biológicos:			
Presencia de mohos	SI	NO	NO
<b>porcentaje aprovechable</b>	96%	95%	98%

Debido a la presencia de mohos se requiere escobillarlos para aprovechar este 96%.

#### 4.5 Rendimiento de la madera de 4/4", 6/4", y 8/4". Con el programa original.

**Cuadro 13.** Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de "cumala" de 4/4" de espesor con el programa original.

Repetición	Primera		Segunda		Recuperación						TOTAL	
	pt	%	pt	%	RT		IR		D		pt	%
					pt	%	Pt	%	pt	%		
1	7858	53.00	6234	42.00	743	5.00	618	4.16	125	0.84	14835	100.00
2	7243	47.89	7123	47.10	712	5.00	545	3.60	1.4	1.41	14912.4	100.00
3	7525	51.80	6140	42.26	784	8.95	683	4.70	1.24	1.24	14349.24	100.00
<b>Promedio</b>	<b>7542.00</b>	<b>50.90</b>	<b>6499.00</b>	<b>43.79</b>	<b>746.33</b>	<b>6.32</b>	<b>615.33</b>	<b>4.15</b>	<b>42.55</b>	<b>1.16</b>	<b>14698.88</b>	<b>100.00</b>

**Cuadro 14.** Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de "cumala" de 6/4" de espesor con el programa original.

Repetición	Primera		Segunda		Recuperación						TOTAL	
	pt	%	pt	%	RT		IR		D		pt	%
					pt	%	Pt	%	pt	%		
1	10215	56.92	6270	34.94	1460	8.14	1245	6.94	215	1.20	17945	100.00
2	11314	61.78	5595	30.55	1403	7.66	1183	6.46	220	1.21	18312	100.00
3	10425	57.58	6428	35.50	1253	6.92	1045	5.77	208	1.15	18106	100.00
<b>Promedio</b>	<b>10651.33</b>	<b>58.76</b>	<b>6097.67</b>	<b>33.66</b>	<b>1372.00</b>	<b>7.57</b>	<b>1157.67</b>	<b>6.39</b>	<b>214.33</b>	<b>1.19</b>	<b>18121.00</b>	<b>100.00</b>

**Cuadro 15.** Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de "cumala" de 8/4" de espesor con el programa original.

Repetición	Primera		Segunda		Recuperación						TOTAL	
	pt	%	pt	%	RT		IR		D		pt	%
					pt	%	Pt	%	pt	%		
1	12148	57.45	6366	30.11	2628	12.43	2245	10.62	383	1.82	21142	100.00
2	10152	48.49	8745	41.77	2038	9.74	1913	9.14	125	0.60	20935	100.00
3	13423	64.49	5172	24.85	2219	10.66	2015	9.68	204	0.98	20814	100.00
<b>Promedio</b>	<b>11907.67</b>	<b>56.81</b>	<b>6761.00</b>	<b>32.24</b>	<b>2295.00</b>	<b>10.94</b>	<b>2057.67</b>	<b>9.81</b>	<b>237.33</b>	<b>1.13</b>	<b>20963.67</b>	<b>100.00</b>

Pt = Pies tablares                      IR = Incremento de recuperación

RT = Recuperación total              D = Desperdicio

#### 4.6 Programas mejorados en el proceso de secado de 4/4", 6/4" y 8/4".

**Cuadro 16:** Programa mejorado de secado con ventilación lateral para "cumala" de 4/4" de espesor

ETAPAS	TIEMPO (h)	TEMP. (°C)		CH (%)	HR (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo húmedo				
1	24	50	50	65	Calentamiento		
2	18	50	48	60	89	18.2	3.30
3	18	55	52	55	85	15.8	3.48
4	12	60	54	45	77	12.7	3.54
5	12	65	58	35	71	10.6	3.30
6	12	70	58	15	56	7.5	2.00
7	12	75	60	8	49	6.3	1.27
7	6	75	?	6	Enfriamiento		
	114						

#### Control del contenido de humedad en el secado con ventilación lateral de "cumala" de 4/4" de espesor

En el cuadro 17, se puede observar el contenido de humedad para todas las etapas del proceso de secado en función a las tres repeticiones, en la que se observa que en la etapa 01, se produce el calentamiento de la madera hasta obtener una temperatura inicial de 50 °C hasta estabilizar los termómetros, seguidamente se entra a la etapa de secado propiamente dicho, es decir etapa 02, en la que se tiene un contenido de humedad promedio de 98%, con una temperatura de 58 °C; haciendo que las etapas 03 y 04, se aumenten progresivamente la temperatura llegando a 62 °C, manteniéndose una depresión de 7 °C.

A partir de la etapa 05, existe depresiones mayores de 12 °C, 14 °C, 16 °C, 20 °C, y 24 °C, en la etapa 08, toda vez que en estas etapas el contenido de humedad está por debajo del 43%, lo que permite una eliminación mayor del agua en la madera sin ocasionar defectos considerables en la madera, llegando a un contenido de humedad final deseada del 08%.

**Cuadro 17:** Control de porcentaje de contenido de humedad en el secado de “cumala” de 4/4” espesor con ventilación lateral según la propuesta de programa mejorado.

Repetición	Muestras	Etapa 1	Etapa 2 58°C	Etapa 3 60°C	Etapa 4 62°C	Etapa 5 65°C	Etapa 6 68°C	Etapa 7 70°C	Etapa 8 72°C
<b>1</b>	1	Calentamiento	98	74	62	46	30	18	8
	2	Calentamiento	97	76	65	48	33	18	9
	3	Calentamiento	98	73	60	42	29	14	7
	4	Calentamiento	99	75	61	42	29	13	7
	5	Calentamiento	99	73	60	38	20	12	7
	6	Calentamiento	98	72	60	38	22	12	6
<b>2</b>	1	Calentamiento	99	77	65	47	32	21	6
	2	Calentamiento	99	74	59	49	31	18	7
	3	Calentamiento	98	76	60	48	30	17	9
	4	Calentamiento	98	75	58	39	22	13	8
	5	Calentamiento	97	76	60	44	26	15	8
	6	Calentamiento	98	74	60	41	26	15	9
<b>3</b>	1	Calentamiento	97	73	60	40	25	17	7
	2	Calentamiento	98	76	63	49	30	18	7
	3	Calentamiento	97	76	62	42	26	14	9
	4	Calentamiento	98	78	64	48	29	15	9
	5	Calentamiento	99	75	64	45	27	17	9
	6	Calentamiento	98	76	63	44	24	13	7
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>								
<b>Promedio</b>			<b>98</b>	<b>75</b>	<b>61</b>	<b>44</b>	<b>27</b>	<b>16</b>	<b>8</b>

**Cuadro 18.-** programa mejorado de secado con ventilación lateral para “cumala” de 6/4” de espesor

ETAPAS	TIEMPO	TEMP. (°C)		CH	HR	CHE	GS
	(h)	TBS	TBH	(%)	(%)	(%)	
1	24	50	50	70	calentamiento		
2	12	50	48	65	89	16	4.06
3	16	52	49	60	87	15.5	3.87
4	16	55	52	58	85	15.8	3.67
5	20	55	51	45	81	14.2	3.17
6	24	60	54	35	73	11.6	3.02
7	18	63	56	23	68	10.5	2.19
8	18	65	57	20	67	9.1	2.20
9	16	70	60	15	62	8.5	1.76
10	12	75	65	10	63	8.4	1.19
11	12	75	70	7	enfriamiento		
	188						

### **Control del contenido de humedad en el secado con ventilación lateral de “cumala” de 6/4” de espesor**

En el cuadro 19 se muestra el contenido de humedad para todas las etapas del proceso de secado en función a las tres repeticiones, en la que se observa que en la etapa 01, se produce el calentamiento de la madera hasta obtener una temperatura inicial de 50 °C, seguidamente se entra en la etapa de secado propiamente dicha, es decir etapa 02, en la que se tiene un contenido de humedad promedio de 74%, con una temperatura de 55 °C; haciendo que las etapas 03 y 04 se aumenten progresivamente la temperatura llegando a 65 °C, manteniéndose una depresión de 8 °C.- A partir de la etapa 05, existe depresiones mayores de 13 °C, 16 °C, 17 °C, 20 °C, y 22 °C, en la etapa 06, toda vez que en estas etapas el contenido de humedad está por debajo del 43%, lo que permite una eliminación mayor de agua ya que llegó al punto de saturación de las fibras en la madera sin ocasionar defectos considerables; llegando a un contenido de humedad final de 8%, esto en la etapa 09.

**Cuadro 19.-** control de porcentaje de contenido de humedad en el secado de “cumala” de 6/4” espesor con ventilación lateral según la propuesta de programa mejorado.

Repetición	Muestras	Etapa 1	Etapa 2 58°C	Etapa 3 60°C	Etapa 4 62°C	Etapa 5 65°C	Etapa 6 68°C	Etapa 7 70°C	Etapa 8 72°C	Etapa 9 75 °c
<b>1</b>	1	Calentamiento	70	65	60	58	45	35	23	6
	2	Calentamiento	65	76	65	48	33	18	9	5
	3	Calentamiento	80	73	60	42	28	14	7	4
	4	Calentamiento	65	75	61	42	29	13	7	5.5
	5	Calentamiento	70	73	60	38	20	12	7	6
	6	Calentamiento	80	72	60	38	22	12	6	7
<b>2</b>	1	Calentamiento	80	77	65	47	32	21	6	5.5
	2	Calentamiento	75	74	59	49	31	18	7	6.3
	3	Calentamiento	70	76	60	48	30	17	9	6.3
	4	Calentamiento	70	75	58	39	22	13	8	8
	5	Calentamiento	65	76	60	44	26	15	8	7
	6	Calentamiento	80	74	60	41	26	15	9	5.5
<b>3</b>	1	Calentamiento	65	73	60	40	25	17	7	6
	2	Calentamiento	70	76	63	49	30	18	7	6
	3	Calentamiento	80	76	62	42	26	14	9	5.5
	4	Calentamiento	80	78	64	48	29	15	9	6.3
	5	Calentamiento	75	75	64	45	27	17	9	6.3
	6	Calentamiento	98	76	63	44	24	13	7	8
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>									
<b>Promedio</b>			<b>74</b>	<b>74</b>	<b>61</b>	<b>45</b>	<b>28</b>	<b>17</b>	<b>9</b>	<b>6</b>

**Cuadro 20:** Programa mejorado de secado con ventilación lateral para “cumala” de 8/4” de espesor

ETAPAS	TIEMPO	TEMP. (°C)		CH	HR	CHE	GS	
	(h)	TBS	TBH	(%)	(%)	(%)		
1	24	48	48	68	calentamiento			
2	24	48	46	65	86	18.1	3.59	
3	21	50	47	60	84	16	3.75	
4	21	50	47	57	84	16	3.56	
5	20	55	51	55	81	14.2	3.87	
6	18	55	51	52	81	14.2	3.66	
7	18	58	53	47	77	12.7	3.70	
8	20	58	53	45	77	12.7	3.54	
9	20	60	53	38	69	10.7	3.55	
10	20	60	53	34	69	10.7	3.18	
11	20	65	57	25	67	9.8	2.55	
12	20	65	57	18	67	9.8	1.84	
13	20	70	60	13	62	8.5	1.53	
14	20	75	60	8	enfriamiento	8.5		
	286							

### **Control del contenido de humedad en el secado con ventilación lateral de “cumala” de 8/4” de espesor**

En el cuadro 21, se puede observar el contenido de humedad para todas las etapas del proceso de secado en función de las tres repeticiones, en la que se observa que en la etapa 01 y 02, se produce el calentamiento de la madera hasta obtener una temperatura inicial de 50 °C, seguidamente se entra en la etapa de secado propiamente dicha, es decir etapa 03, en la que se tiene un contenido de humedad promedio de 87%, con una temperatura de 50 °C; haciendo que las etapas 04, 05, y 06, se aumenten progresivamente la temperatura llegando a 55 °C, en este espesor cada aumento de temperatura esta dado por dos etapas.

A partir de la etapa 07, 08, 09 y 10, se aumenta la temperatura a 58 °C, 60 °C, el contenido de humedad esta por debajo de 30%, lo que permite una eliminación mayor del agua ya que llegó al punto de saturación de las fibras en la madera sin ocasionar defectos considerables, en la etapa 13 se sube la temperatura a 70 °C, lo que permite obtener un contenido de humedad final de 07%.



**Cuadro 21.-** control de porcentaje de contenido de humedad en el secado de “cumala” de 8/4” espesor con ventilación lateral según la propuesta de programa mejorado.

<b>Repetición</b>	<b>Muestras</b>	<b>Etapa 1 48 °C</b>	<b>Etapa 2 48 ° C</b>	<b>Etapa 3 50 °C</b>	<b>Etapa 4 50 °C</b>	<b>Etapa 5 55 °C</b>	<b>Etapa 6 55 °C</b>	<b>Etapa 7 58 °C</b>	<b>Etapa 8 58 °C</b>	<b>Etapa 9 60 °C</b>	<b>Etapa 10 60 °C</b>	<b>Etapa 11 65 °C</b>	<b>Etapa 12 65 °C</b>	<b>Etapa 13 75 °C</b>
<b>1</b>	1	calentamiento	calentamiento	98	75	65	52	47	42	38	25	15	10	8
	2	calentamiento	calentamiento	80	75	66	52	44	40	35	24	10	12	9
	3	calentamiento	calentamiento	96	70	65	54	39	41	36	23	12	14	5
	4	calentamiento	calentamiento	85	78	64	55	45	40	32	21	13	10	6
	5	calentamiento	calentamiento	80	75	68	58	35	45	34	26	15	15	8
	6	calentamiento	calentamiento	85	76	65	52	45	42	32	27	16	10	9
<b>2</b>	1	calentamiento	calentamiento	98	72	62	53	47	43	35	28	15	9	5
	2	calentamiento	calentamiento	80	74	65	53	47	40	38	29	14	8	6
	3	calentamiento	calentamiento	96	75	50	56	48	45	36	24	15	15	8
	4	calentamiento	calentamiento	85	70	65	54	48	46	34	23	15	14	9
	5	calentamiento	calentamiento	80	78	62	58	45	42	35	25	15	10	8
	6	calentamiento	calentamiento	85	75	65	52	35	41	36	26	13	9	9
<b>3</b>	1	calentamiento	calentamiento	80	76	50	53	45	45	35	24	15	9	5
	2	calentamiento	calentamiento	85	75	65	53	44	42	35	21	10	9	6
	3	calentamiento	calentamiento	98	74	62	56	39	42	36	23	13	10	8
	4	calentamiento	calentamiento	80	75	65	54	45	43	32	28	14	10	9
	5	calentamiento	calentamiento	96	70	50	48	35	44	31	25	14	14	5
	6	calentamiento	calentamiento	85	78	65	50	45	42	35	44	40	8	6
<b>TOTAL</b>	<b>18</b>													
<b>Promedio</b>				<b>87</b>	<b>75</b>	<b>62</b>	<b>54</b>	<b>43</b>	<b>43</b>	<b>35</b>	<b>26</b>	<b>15</b>	<b>11</b>	<b>7</b>

#### 4.7 Rendimiento de la madera de 4/4", 6/4", y 8/4", con el programa mejorado.

**Cuadro 22.** Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de "cumala" de 4/4", de espesor con el programa mejorado.

Repetición	Primera		Segunda		Recuperación						TOTAL	
	pt	%	pt	%	RT		IR		D		pt	%
					pt	%	pt	%	pt	%		
1	7880	53.00	6280	42.00	735	5.00	618	4.16	125	0.84	14895	100.00
2	7235	47.91	6985	47.19	545.28	4.90	545	3.92	0.28	0.98	14765.28	100.00
3	7325	51.90	6245	42.26	684.24	5.84	683	4.84	1.24	0.90	14254.24	100.00
<b>Promedio</b>	<b>7480.00</b>	<b>50.94</b>	<b>6503.33</b>	<b>43.82</b>	<b>654.84</b>	<b>5.25</b>	<b>615.33</b>	<b>4.31</b>	<b>42.17</b>	<b>0.91</b>	<b>14638.17</b>	<b>100.00</b>

**Cuadro 23.** Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de "cumala" de 6/4", de espesor con el programa mejorado.

Repetición	Primera		Segunda		Recuperación						TOTAL	
	pt	%	Pt	%	RT		IR		D		pt	%
					pt	%	pt	%	pt	%		
1	10125	57.00	6345	35.00	1460	8.00	1245	7.15	215	0.95	17930	100.00
2	11853	61.90	5595	30.68	1398	7.42	1183	6.52	215	0.90	18846	100.00
3	10564	57.58	6632	35.50	1260	6.92	1045	6.04	215	0.88	18456	100.00
<b>Promedio</b>	<b>10847.33</b>	<b>58.83</b>	<b>6190.67</b>	<b>33.73</b>	<b>1372.67</b>	<b>7.45</b>	<b>1157.67</b>	<b>6.57</b>	<b>215.00</b>	<b>0.91</b>	<b>18410.67</b>	<b>100.00</b>

**Cuadro 24.** Comportamiento al secado artificial con ventilación lateral de "cumala" de 8/4", de espesor con el programa mejorado.

Repetición	Primera		Segunda		Recuperación						TOTAL	
	pt	%	Pt	%	RT		IR		D		pt	%
					pt	%	pt	%	pt	%		
1	12506	58.00	6265	30.40	2663	11.60	2280	10.62	383	0.98	21434	100.00
2	9985	48.40	8456	41.50	2105	10.10	1980	9.14	125	0.96	20546	100.00
3	13254	64.55	5172	24.82	2294	10.63	2090	9.69	204	0.94	20720	100.00
<b>Promedio</b>	<b>11915.00</b>	<b>56.98</b>	<b>6631.00</b>	<b>32.24</b>	<b>2354.00</b>	<b>10.78</b>	<b>2116.67</b>	<b>9.82</b>	<b>237.33</b>	<b>0.96</b>	<b>20900.00</b>	<b>100.00</b>

Pt = Pies tablares                      IR = Incremento de recuperación  
 RT = Recuperación total                D = Desperdicio

## V. CONCLUSIONES

1. Los programas de 4/4", 6/4" y 8/4", utilizados por la empresa son satisfactorios, pudiendo mejorar a través de la reducción de tiempo en el que se cambia los diferentes grados de temperatura.
2. La contracción de la especie de "cumala de 4/4" para este estudio fue de 0.05%, para el espesor y de 0.8% para el ancho; en 6/4" fue de 0.25% y 1.01%, en el espesor y ancho respectivamente; así mismo en el de 8/4 se obtuvo una contracción de de 0.26% en el espesor y 1.35% en el ancho.
3. En el cuadro de rendimiento de 4/4" se obtuvo 1.16% del desperdicio total; en 6/4", 1.16% de desperdicio y de 1.13% en 8/4".
4. Las tablas que entran a la cámara de secado con pequeñas rajaduras o grietas producidas por golpes son más propensas a romperse por tensiones internas generadas por fuerzas capilares.
5. Algunos defectos físicos de la madera pueden reducirse con la correcta manipulación de las tablas, o pequeñas grietas cerrarse durante el proceso de secado.

## **VI. RECOMENDACIONES**

1. Usar los programas mejorados por ahorro de energía 24 horas en 4/4", 27 horas en 6/4, y de 50 horas en 8/4 y un porcentaje de promedio de desperdicios de 0.28% menos que con el programa original.
2. Trabajar con maderas pre-clasificadas para aprovechar la mayor capacidad de las cámaras de secado.
3. Realizar el mantenimiento permanente de las cámaras de secado antes de ser utilizado para no tener problemas que afecten el tiempo de secado.
4. Hacer un mantenimiento periódico al caldero con el fin de aumentar la potencia de extracción cuando se utilizan las demás cámaras de secado.

## VII. BIBLIOGRAFÍA

- ALVAREZ, H. y FERNÁNDEZ, J. 1984. Fundamentos Teóricos del secado de la madera. Instituto de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. 193 p.
- ATENCIA, M. 2006. Secado de la madera. 9 p.
- BIBLIOTECA ATRIUM DE LA CARPINTERÍA. 1993. colección Técnica de Bibliotecas Profesionales. Ediciones Océano. Barcelona, España.
- CASTILLO, J. P. 2001. Secado de madera aserrada de *Populus euroamericana* cv. I-488. Memoria para optar al título de Ingeniero Forestal. Escuela de Ingeniería Forestal. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Talca. Talca. Chile. 96 p.
- FERNÁNDEZ, J. 1998. Manual de Secado de Maderas. Centro de Investigación Forestal (CIFOR-INIA). Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM) Madrid, España. 170 p.
- FUENTES, M. 1994. Secado de la madera aserrada de *Pinus radiata*, impregnada con sales hidrosolubles CCA. Universidad Austral de Chile. Valdivia. Chile. 46p.
- FLORES, A. 1995. Secado artificial para cumala (*Virola* sp.) y Catahua (*Hura crepitans*. L) en un mismo compartimiento en IMPULSA Iquitos – Perú. Trabajo Profesional Ing. Forestal. Iquitos – Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 43 p.
- INSTITUTO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA 1988. Secado y Preservado de la madera. Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 105 p.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA 1989. Manual del Grupo Andino para el Secado de maderas. Proyecto Sub regional de la promoción industrial de la madera para la construcción. Colombia.
- MORI, W. 2000. Comportamiento al secado en hornos de compartimiento de la especie cumala (*Virola* sp.) de una pulgada y media de espesor. Islandia – Perú. Práctica pre- profesional Bach. Ingeniería Forestal. Iquitos – Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/ Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 18 p.
- NOVOA, L. 2005. Manual de Buenas Prácticas de Manufactura para el Secado Natural y Artificial de Madera Aserrada, Acorde a los Estándares Expresados en la Normas. Dirección Nacional de Desarrollo de Comercio Exterior. Vice Ministerio de Comercio Exterior. Lima – Perú. 74 p.

- RAMIREZ, C. 2004. Comportamiento al secado automatizado en hornos de comportamientos de la especie cumala (*Virola* sp.) y cedro (*Cedrela odorata*) en la empresa industrias reunidas E.I.R.L. Practica pre profesional-. Bach. Ingeniería Forestal. Iquitos, Perú. Facultad de Ingeniería Forestal / Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 28 p.
- ROJAS, H. 1987. Seminario sobre secado y preservación de la madera. Defectos del secado de la madera y su prevención. Lima, Perú. 12 p.
- SALAZAR, C. 2004. Comportamiento de secado artificial en hornos de comprensión Benecke de la especie cumala (*Virola* sp.) de una pulgada de espesor en Forestal Industrial yavari - FIYSA. Practica pre profesional-. Bach. Ingeniería Forestal. Iquitos, Perú. Facultad de Ingeniería Forestal / Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 30 p.
- SOLIGNAC, J. 2006. "Determinación de costos operativos del secado artificial de la *Virola* sp. de una pulgada de espesor" Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/ Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 70 p.
- SOBREVILLA, A. 1980. Secado de la madera. Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, Facultad de Ingeniería Forestal. Iquitos. 93 p.
- SCHREWE (1984). Manual de secado de la madera. Proyecto PNUD/FAO/PER. Lima-Perú. 78 p.
- TROPICAL FOREST CONSULTORES. 2005. Servicios de información, precios y estadísticas comerciales del sector maderas. Boletín N° 36. (01 de Noviembre al 30 de Noviembre del 2005). Lima – Perú. 10 p.
- TUSET, R. y DURAN, F. 1985. Manual de maderas comerciales, equipos y procesos de utilización. Montevideo, Uruguay. 688 p.
- VIZCARRA, S. 1998. Guía Para el Secado de la Madera en Hornos. Proyecto de Manejo Forestal Sostenible (BOLFOR). Documento Técnico 69/1998. Santa Cruz .Bolivia. 65 p.

# **ANEXO**



Figura 10: Croquis de acceso al aserradero TROPICAL LUMBER SAC



**HOJA DE CUBICACION DE MADERA DE EXPORTACION**

**TROPICAL LUMBER S.A.C.  
CARRETERA SANTA MARIA S/N**

PAG		
FECHA DE CUB: / /		
ESPECIE :		
TOTAL ENTREGADO		
ESPEJOR	PIEZAS	PIETAJE

**CUBICACION DE MADERA DE EXPORTACION**

N°	LARGO ( )	PIEZAS	PT
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

TOTAL PZAS \_\_\_\_\_  
TOTAL PT \_\_\_\_\_

N°	LARGO ( )	PIEZAS	PT
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

TOTAL PZAS \_\_\_\_\_  
TOTAL PT \_\_\_\_\_

N°	LARGO ( )	PIEZAS	PT
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

TOTAL PZAS \_\_\_\_\_  
TOTAL PT \_\_\_\_\_

N°	LARGO ( )	PIEZAS	PT
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			
11			
12			
13			
14			
15			
16			

TOTAL PZAS \_\_\_\_\_  
TOTAL PT \_\_\_\_\_



**Figura 11:** Cámara en proceso de llenado



**Figura 12:** Vista frontal de las cámaras de secado



**Figura 13:** Termómetro de bulbo seco y bulbo húmedo



**Figura 14:** Traslado de la leña al caldero