

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE  
MADRE DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Carrera Profesional de Ingeniería Forestal y Medio Ambiente**



**TÍTULO:**

**“Estudio del secado convencional y rendimiento de *Dipteryx micrantha* Harms, en el aserradero Forestal Río Piedras S.A.C –  
Tambopata”**

**ROGER CHAMBI LEGOAS**

**Tesis para optar el Título Profesional de Ingeniero Forestal y Medio Ambiente**

**Asesor: Ing. Mg. Emer Ronald Rosales Solórzano**  
Docente de la Facultad de Ingeniería

**Co-Asesor: Ing. Jorge Peinado Martínez**

**PUERTO MALDONADO-PERÚ**

**NOVIEMBRE DE 2010**

**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Escuela Académico Profesional de Ingeniería Forestal y Medio ambiente**

**TESIS**

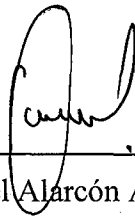
**Estudio del Secado Convencional y Rendimiento de *Dipteryx micrantha Harms*, en el  
aserradero Forestal Río Piedras S.A.C - Tambopata**

**PRESENTADO POR:**

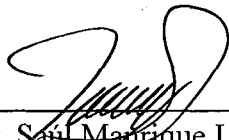
**ROGER CHAMBI LEGOAS**

**Bachiller en Ingeniería Forestal y Medio Ambiente**

**Tesis sustentada y aprobada por los jurados y patrocinador de la presente  
investigación.**



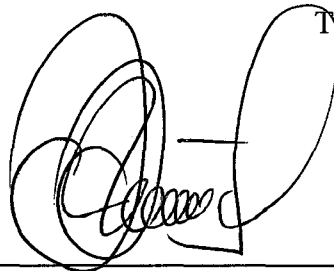
\_\_\_\_\_  
Ing. Gabriel Alarcón Aguirre  
Primer Jurado Calificador



\_\_\_\_\_  
Ing. Saul Marique León  
Segundo Jurado Calificador



\_\_\_\_\_  
Mat. Wilbert Caviedes Contreras  
Tercer Jurado Calificador



\_\_\_\_\_  
Ing. Mg. Emer Ronald Rosales Solórzano  
Asesor

## **DEDICATORIA**

*Especialmente dedicada a mis queridos padres  
y hermanos.*

*A mis asesores: Ing. Emer Ronald Rosales e  
Ing. Jorge Peinado, y a mis compañeros que  
me apoyaron en la realización de este estudio.*

## AGRADECIMIENTOS

En estas líneas quiero expresar mis más sinceros agradecimientos a todas las personas que de un modo u otro me apoyaron en la elaboración y ejecución del presente trabajo de investigación; especialmente a mi madre Etelvina que siempre estuvo a mi lado dándome todo su amor y ayudándome en todo lo que pudiera aun sacrificando algunas aspiraciones y gustos personales, a mi padre Victor Gregorio por su esfuerzo diario y el enseñarme el valor de un hombre, a mis hermanos Nancy, Javier, Fernando y Mirella por darme motivación y alegría.

A mi asesor Ing. Mg Emer Ronald Rosales Solórzano quien siempre estuvo como un amigo y maestro desde que empecé la elaboración del proyecto de tesis ayudándome con sus importantes aportaciones a éste trabajo; a mi coasesor Ing. Jorge Peinado Martínez por su apoyo durante esta larga trayectoria, asimismo agradezco al Ing. Mg.Sc Florencio Trujillo Cuéllar docente de la Universidad Nacional Agraria La molina, especialista en secado de la madera, por su ayuda en aspectos técnicos y científicos que permitió enriquecer la presentación y análisis de los resultados.

A mis amigos y ex compañeros Javier Valles, Roxana Casilla, Milton Huanca, Edwin Jurado, Jose Luis Mamani, Washington Camala, Lisbeth Estrada y Vanessa Hilares, por su apoyo en la ejecución de la presente tesis, ¡muchas gracias amigos!

A la empresa Forestal Río Piedras S.A.C que mediante su Gerente Sr. Alan Schipper Guerovich me abrieron las puertas a sus instalaciones, con todas las facilidades del caso con lo que pudo ser posible realizar esta investigación; agradezco también al jefe de planta Ing. Orlando Ramírez y al jefe de hornos Sr. Eder Barrios que me apoyaron en el control de los procesos de transformación.

Por último agradezco a mi Universidad Nacional Amazónica de Madre de Dios por permitirme el acceso y uso de los laboratorios, a mi amigo Bachiller Larry Chañi encargado de los laboratorios por ayudarme en el uso y control de los equipos.

***¡Gracias a todos por su ayuda que permitió hacer posible la presente investigación!***

***¡Gracias Dios por iluminarme y cuidarme siempre!***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

Resumen.....	8
Introducción.....	12
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	14
1.1. Problema, hipótesis y variables.....	14
a) El problema.....	14
b) Hipótesis general.....	15
c) Identificación de las variables.....	15
1.2. Objetivos de la investigación.....	17
a) Objetivo general.....	17
b) Objetivos específicos.....	17
1.3. Justificación e importancia.....	17
Capítulo II: Revisión de literatura.....	20
2.1. Marco teórico.....	20
2.2. Marco conceptual.....	26
Capítulo III: Metodología.....	48
3.1. Materiales.....	48
3.2. Métodos.....	51
3.2.1. Tamaño de muestra y población.....	52
3.2.2. Preparación de la carga.....	53
3.2.3. Los programas de secado.....	55
3.2.4. Control del proceso de secado.....	56
3.2.5. Cinética del secado convencional.....	58
3.2.6. Contracción de la madera.....	59
3.2.7. Calidad del secado y evaluación del programa de secado.....	60
3.2.8. Evaluación del comportamiento de la humedad y tensiones en la madera	62
3.2.9. Determinación del rendimiento en el secado y cepillado.....	64
Capítulo IV: Resultados y Discusiones.....	68
5.1. Cinética del secado convencional.....	68
5.2. Calidad del secado.....	74
5.3. Rendimiento.....	86
Capítulo V: Conclusiones y recomendaciones.....	91
5.1. Conclusiones.....	91
5.2. Recomendaciones.....	93
Bibliografía.....	95
Anexos.....	99

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Dimensiones de corte de las piezas.....	54
Cuadro 2: Programa empleado para el ensayo 1.....	55
Cuadro 3: Programa empleado para el ensayo 2.....	56
Cuadro 4: Nivel de clasificación de los alabeos.....	61
Cuadro 5: Determinación de la Calidad y Condiciones de secado.....	62
Cuadro 6: Especificaciones para la clasificación.....	65
Cuadro 7: Resumen del secado en el ensayo 1.....	68
Cuadro 8: Resumen del secado en el ensayo 2.....	68
Cuadro 9: Índice de calidad, porcentaje de presencia en cada nivel según defecto al final del secado – ensayo 1.....	74
Cuadro 10: Índice de calidad, porcentaje de presencia en cada nivel según defecto al final del secado – ensayo 2.....	75
Cuadro 11: Gradiente de humedad de las muestras de control en ambos ensayos.	78
Cuadro 12: Resumen de contracciones en ambos ensayos.....	82
Cuadro 13: Valores de contracción radial y tangencial promedios en ambos ensayos.....	83
Cuadro 14: Rendimiento por calidades y total en ambos ensayos.....	86
Cuadro 15: Causas de la madera aprovechada y no aprovechada en tablillas.....	87
Cuadro 16: Rendimiento total neto en tablillas de calidad A y B, estimado en todo el proceso productivo.....	90

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Acanaladura.....	39
Figura 2: Torcedura.....	39
Figura 3: Encorvadura.....	39
Figura 4: Arqueadura.....	40
Figura 5: Curva velocidad de secado de la madera.....	44
Figura 6: Curva de secado.....	46
Figura 7: Ubicación Geográfica del Aserradero Forestal Río Piedras S.A.C.....	49
Figura 8: Elementos que conforman un paquete.....	53
Figura 9: Vista transversal de la disposición de paquetes que forman la carga.....	54
Figura 10: Probeta Estratificada.....	63
Figura 11: Probeta de Tenedor.....	63

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1: Curva de secado del ensayo 1.....	69
Gráfico 2: Curva de secado del ensayo 2.....	69
Gráfico 3: Curva de velocidad de secado del ensayo 1.....	70
Gráfico 4: Curva de velocidad de secado del ensayo 2.....	71
Gráfico 5: Curva de evolución de la Temperatura del ensayo 1.....	72
Gráfico 6: Curva de evolución de la Temperatura del ensayo 2.....	72
Gráfico 7: Curva de evolución del contenido de humedad de equilibrio del ensayo 1	73
Gráfico 8: Curva de evolución del contenido de humedad de equilibrio del ensayo 2	73
Gráfico 9: Comparación de los gradientes de humedad de ambos ensayos.....	79
Gráfico 10: Comparación de contracciones en ambos ensayos.....	84
Gráfico 11: Comparación de la contracción ponderada en ambos ensayos.....	85
Gráfico 12: Proporción de cantidad de piezas por tipo de corte en el ensayo 1.....	85
Gráfico 13: Proporción de cantidad de piezas por tipo de corte en el ensayo 2.....	85
Gráfico 14: Comparación de rendimientos por calidad de tablillas en ambos ensayos	87
Gráfico 15: Comparación de los volúmenes reales e irreales.....	89



## RESUMEN

Los objetivos de esta investigación fueron: estudiar la cinética del secado mediante determinación de regresiones que permitan predecir el contenido de humedad de la madera (CH%) en el tiempo, determinar la calidad del secado y el rendimiento de tablillas en éste proceso más el cepillado. El estudio se realizó a nivel industrial en el aserradero Forestal Río Piedras S.A.C con hornos convencionales de capacidad de 100 m<sup>3</sup>.

Se realizaron dos ensayos por separado, sometiendo la madera a un programa de secado distinto por cada ensayo, la carga de secado para el ensayo 1 y 2 fueron de un volumen inicial de 75,56 y 79,51 m<sup>3</sup> respectivamente. Para la determinación de la calidad del secado se trabajó con una muestra de 378 y 379 piezas (muestras de secado) respectivamente para los ensayos 1 y 2, para el control del secado se escogieron 12 piezas (muestras control) para cada ensayo, antes de iniciar el secado se determinó el CH% inicial promedio de la muestras control mediante el método gravimétrico estipulada en la NTP 251.010.1980, también la medición de longitud en el ancho y espesor de las piezas que forman la muestra de secado. Durante el secado se midió diariamente el CH% de las muestras control mediante pesadas de las muestras, se registraron también las condiciones ambientales del horno (contenido de humedad de equilibrio, temperatura) cada 6 horas.

Inmediatamente después de finalizado el secado se prepararon probetas estratificadas y probetas tenedor para el gradiente de humedad y evaluación de tensiones respectivamente, se determinó el CH% final promedio de la madera, se midieron nuevamente las longitudes en el espesor y ancho de las piezas de la muestra de secado con el fin de determinar la contracción, en éstas piezas se midieron también los alabeos para determinar la calidad de secado la cual se calculó mediante los criterios de la Norma Chilena NCh 993-E Of. 72. Después las cargas se sometieron al proceso de cepillado hallándose el volumen final de tablillas de calidad A y B determinándose así el rendimiento en el secado y cepillado.

Los resultados muestran que se puede predecir muy bien el contenido de humedad para cualquier instante de tiempo mediante las ecuaciones: “ $y = 0,0001x^2 - 0,0673x + 16,6430$ ” con un coeficiente R<sup>2</sup> de 0,997 para el ensayo1, “ $y = 26,5326 e^{0,0034x}$ ” con un coeficiente

$R^2$  de 0,995 para el ensayo 2; la velocidad de secado en ambos ensayos corresponden a la tercera etapa de secado decreciente (Fase III), donde la madera a medida que su CH% es cada vez menor, se resiste más a la pérdida de agua, debido a que esta última etapa el secado es gobernado por el movimiento difusional.

El índice de calidad total de secado en el ensayo 1 y 2 fueron de 1,77 y 1,92 respectivamente, correspondientes a una calidad de secado “**menos que regular**” y unas condiciones “**poco adecuadas**” de secado; el gradiente de humedad promedio de la madera fueron bajos con valores de 0,87% y 0,50% respectivamente para el ensayo 1 y 2; en la evaluación de tensiones la madera resultante del secado tiene esfuerzos de compresión en la superficie de la pieza y de tracción en el interior; La contracción ponderada de los tres tipos de corte del ensayo 1 fue de 4,05%, 2,96% y 7,01% respectivamente para la contracción en el ancho, espesor y volumétrica, en el ensayo 2 se tuvo una contracción ponderada de 5,59%, 3,63% y 9,22 % respectivamente para la contracción en el ancho y espesor y volumétrica.

El rendimiento en el secado y cepillado en tablillas de calidad A y B es de 56,03% y 49,61% para el ensayo 1 y 2 respectivamente, promediando de ambos ensayos un rendimiento de **52,82%**.

Complementando estos resultados con el estudio de rendimiento en el aserrío realizado por Miche, 2006, en ésta misma empresa (que reportó un rendimiento de 45,45% de rollizo con corteza), se calculó que el rendimiento total neto de rollizo con corteza en tablillas secas y cepilladas, en todo el proceso productivo (aserrío, secado y cepillado), es de **24,01%** a más.

## SUMMARY

The objectives of this research were to study the drying kinetics by determination of regression to predict the wet content of wood (CH%) over time, determine the drying quality and performance of splints in this process more the brushing . The study was made at the sawmill industry in the "Forestal Río Piedras S.A.C." with conventional ovens of capacity of 100 m<sup>3</sup>.

Two tests were conducted by separately, subjecting the wood to a different drying program for each test, the drying load for test 1 and 2 were from an initial volume of 75,56 and 79,51 m<sup>3</sup> respectively. For the determination of the quality of drying we worked its with a sample of 378 and 379 pieces (dry samples) respectively for test 1 and 2, for the control of drying were chosen 12 pieces (control samples) for each test, before start the drying was determined CH% initial average control samples by the gravimetric method set forth in the NTP 251.010.1980, also the measuring of length in the width and thickness of the pieces of the dried sample. During drying was measured daily the CH% of the control samples by heavy samples, there were also environmental conditions of the oven (equilibrium of wet content, temperature) every 6 hours.

Immediately after completion of the dried test tubes were prepared and samples stratified fork to the wet gradient and evaluation of tensions respectively, we determined the CH% final average wood, its were measured again lengths in the thickness and width of the pieces dried sample to determine the contraction, in these pieces were also its measured the warping to determine the quality drying which was calculated using the criteria of Rule Chilean NCh 993-E Of. 72. After the loads were subjected to the brushing process finding the final volume of tablets of quality of test A and B and determine the performance drying and brushing.

The results show that it can predict very well the wet content for any instant of time using the equations: " $y = 0,0001 x^4 - 0,0673 x + 16,6430$ " with a coefficient  $R^2$  of 0,997 for test 1, " $y = 26,5326 e^{-0,034x}$ " with a coefficient  $R^2$  of 0,995 for test 2, the drying rate in both tests correspond to the third stage of drying (Phase III), where the wood as its CH% is

becoming minor, are more resistant to water loss, because this last stage drying is governed by diffusional motion.

The total quality index drying test 1 and 2 were **1,77** and **1,92** respectively, corresponding to a drying quality "**less than fair**" and a conditions "**unsuitable**" drying, the average wet gradient wood were low with values of 0,87% and 0,50% respectively for test 1 and 2, in the evaluation of tensions resulting from drying the wood has compressive tensions on the surface of the piece and traction inside, the contraction weighted of the three kind of cutting of test 1 was 4,05%, 2,96% and 7,01% respectively for the contraction in the width, thickness and volume, in test 2 had a contraction is weighted of 5,59%, 3,63% and 9,22% respectively for contraction in the width and thickness and volume.

The drying performance and quality brushed tablets A and B of 56,03% and 49,61% for test 1 and 2 respectively, averaged both test a yield of **52,82%**.

Complementing these results with the study of performance in the sawmill by Miche 2006, this same company (who reported a yield of 45,45% of round wood over bark), it was estimated that the total return net of round wood over bark in dried and brushes tablets, in throughout the production process (sawing, drying and brushes), is of **24,01%** more.

## INTRODUCCIÓN

En los últimos años el Perú ha registrado un notable crecimiento en la exportación de madera, llegando en el año 2008 a totalizar cerca de 222 millones de U\$\$<sup>1</sup>, 65,04% más que el exportado en el 2004, cabe destacar que tras la caída del mercado de Caoba, una de las partidas de mayor exportación del sub sector maderas es “madera para parquet, molduras y perfiladas” que en el 2008 representaron el 31,40% del total exportado de este subsector, perfilándose además como uno de los de mayor crecimiento desde el 2004 (SUNAT, 2010), pero este crecimiento se limita a la disponibilidad de madera seca, de la cual el mercado internacional es cada vez más demandante.

La madera por ser un producto natural sufre cambios dimensionales en su estado húmedo que hacen que sus aplicaciones en la industria de la construcción se vean limitadas, por tanto para que la madera se convierta en material estable es necesario eliminar el agua libre e higroscópica contenida en su estructura, esta eliminación rápida de la humedad se consigue con el secado artificial.

El secado de la madera se ha convertido en un proceso vital para el desarrollo del sector maderero y mueblero de cualquier país, de hecho, la calidad con la que se adelante es un tema obligado si se quiere competir nacional o internacionalmente con buenos productos (Atencia, 2008).

La industria, en este campo, enfrenta dos retos importantes a resolver: la gran cantidad de tiempo y energía que consume el proceso de secado, y la ineficiencia en el proceso, relacionado con la condición de humedad de la madera y sus anomalías sucedáneas, que lleva a consumos energéticos altos en procesos de remanufactura y pérdidas de materia prima (Atencia, 2008).

Uno de los primeros pasos para resolver estos problemas es el conocimiento del comportamiento de la madera en el proceso de secado que comprende: el estudio de la cinética de secado que permite predecir la variación temporal del contenido de humedad, es decir el contenido de humedad final para cualquier instante de tiempo, el tiempo de duración del proceso, velocidad de secado, lo cual apoya la toma de decisiones en la conducción y optimización del proceso de secado (Vallejos, 2003); el estudio de la calidad de la madera resultante del proceso que depende en gran medida del programa de secado utilizado; el estudio de las tensiones que se producen y la variación dimensional

<sup>1</sup>Cantidad excepcionando los montos de las Partidas: “Pasta de Madera”, “Desperdicios y desechos de madera o cartón” y “Papel o cartón” 12

(contracción) después de concluido el secado, que permitiría calcular con qué dimensiones tiene que ser secada la madera para lograr las dimensiones finales requeridas.

En Forestal Río Piedras S.A.C se han realizado estudios de rendimiento en Tablillas de Shihuahuaco en el proceso de aserrío, como el de Miche (2006), que reportó un rendimiento de 43,23% de tablillas en el aserrío de volumen rollizo con corteza, pero el proceso de producción no termina ahí sino que después del aserrío continúa el secado y el cepillado donde recién se obtiene el producto final para despacho a la ciudad de Lima (tablillas secas y cepilladas), por tanto la determinación del rendimiento en el secado y cepillado, que es un objetivo del presente estudio, conjuntamente con el rendimiento en el aserrío, ya determinado por anteriores autores, permitiría tener un rendimiento total en todo el proceso productivo de transformación (aserrío, secado y cepillado), con lo cual se puede hacer una estimación confiable de cuánto es el volumen final de despacho resultante de procesar una troza.

Por ende la industria maderera necesita de información del secado y rendimientos de maderas para la mejora de los procesos de transformación, y secundariamente para incentivar la instalación de secadores artificiales en empresas que todavía no cuentan con esta tecnología; la información actual que se tiene en el Perú sobre el secado de la madera específica para nuestras especies más comerciales es muy general y poca, así este estudio pretende aportar información básica y aplicativa a la industria maderera sobre una de las maderas más promisorias como el Shihuahuaco.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

### **1.1. PROBLEMA, HIPÓTESIS Y VARIABLES**

#### **a) El problema**

El secado es uno de los procesos más importantes en la transformación de la madera porque mejora sus propiedades físicas y mecánicas, dándole mayor calidad y aumentando sustancialmente su valor, además el producir madera seca hace que los costos por transporte de la madera disminuyan (Tuset y Durán, 1979), entonces una eficiente operación de secado determina una mayor rentabilidad para las empresas madereras que realizan este proceso; pero a la vez el secado puede ser muy costoso y riesgoso si no se conoce como se comporta la madera en el secado, que defectos son más frecuentes, cuánto es el tiempo y velocidad de secado, y si el programa de secado es adecuado para la especie, porque al emplear programas inadecuados por no conocerse el comportamiento de la madera en el secado pueden producirse grandes pérdidas de madera por los defectos de secado que se pueden presentar.

El desconocimiento del comportamiento de la madera en el secado hace que muchas empresas madereras pequeñas y medianas vean con cierto riesgo implementar secaderos en su infraestructura productiva debido a los problemas derivados del uso de la madera no convenientemente secada. Además en el país no se tiene estudios detallados y específicos para las maderas peruanas, por tal el secado en muchas empresas se realiza de forma muy empírica haciendo que el proceso sea ineficiente.

Particularmente en Forestal Río Piedras S.A.C no se realiza un eficiente proceso de secado, porque no se tiene conocimiento de la variación temporal del contenido de humedad (cinética del secado), lo que también dificulta calcular los tiempos de secado y realizar la programación adecuada de atención de los pedidos de tablillas secas y cepilladas, principalmente se tienen problemas de pérdida de madera por un mal secado lo que origina un menor rendimiento en el cepillado, además no se ha evaluado

técnicamente el programa de secado empleado para la especie Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms), por tanto hay una incertidumbre en la eficiencia del proceso.

Asimismo no se tiene conocimiento exacto de cuánto es el aprovechamiento de la madera en tablillas secas y cepilladas, lo cual genera inseguridad al momento de tomar decisiones sobre cambios en la cadena productiva, por lo tanto es clave la determinación del rendimiento de la madera en el secado y cepillado. Anteriormente se han realizado estudios del rendimiento en el aserrío en esta empresa, que conjuntamente con los resultados del presente estudio, nos permitirá conocer el rendimiento de tablillas de Shihuahuaco en todo el ciclo productivo de la empresa Forestal Río Piedras S.A.C.

Así podemos definir el problema como:

“En la empresa Forestal Río Piedras SAC, existe la incertidumbre de la eficiencia del proceso de secado empleado por no conocerse bien el comportamiento de la madera frente al secado convencional, también existe desconocimiento del rendimiento de la madera en tablillas en el secado y cepillado de la especie Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms)”

Y nos planteamos las siguientes interrogantes:

¿Cómo será el comportamiento de la madera de Shihuahuaco en el secado convencional?, ¿Serán adecuadas las condiciones de secado con la aplicación de dos programas de secado empleados por Forestal Río Piedras S.A.C? y ¿Cuánto será el rendimiento de la madera en tablillas en el proceso de secado y cepillado?

## **b) Hipótesis General**

H<sub>1</sub>: La relación de las variables CH% vs. Tiempo (curva de secado) y velocidad de secado vs. CH% (curva de velocidad de secado) se pueden modelar mediante un buen ajuste a regresiones matemáticas.



H<sub>2</sub>: La calidad de secado resultante de la aplicación de los programas de secado es de buena a excelente.

H<sub>3</sub>: El rendimiento en tablillas de calidad A y B en el secado y cepillado es superior a 60%.

### **c) Identificación de las variables**

Las variables se describen para cada caso de investigación del estudio:

#### **c.1) Rendimiento:**

**X: Independiente:** Volumen inicial, volumen final por calidad de tablillas (A y B).

**Y: Dependiente:** Rendimiento por calidades (A y B).

#### **c.2) Cinética del secado:**

**X: Independiente:** Temperatura, contenido de humedad de equilibrio del ambiente de secado (CHE%), ventilación, contenido de humedad (CH%) inicial y final de la madera, tiempo.

**Y: Dependiente:** Contenido de humedad (CH%) instantáneo de la madera, velocidad del secado (CH%/tiempo).

#### **c.3) Calidad del programa de secado:**

**X: Independiente:** % de defectos de alabeos (acanaladura, encorvadura, arqueadura y torcedura), parámetros de evaluación de la calidad del secado (Norma chilena NCh 993 of 72 ajustada)

**Y: Dependiente:** Calidad y condiciones de secado.

## 1.2. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

### a) Objetivos generales

- ❖ Estudiar la cinética del secado convencional de la madera de Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms).
- ❖ Determinar la calidad del secado para la evaluación del programa de secado empleado por Forestal Río Piedras S.A.C.
- ❖ Determinar el rendimiento de la madera en tablillas secas y cepilladas, en el proceso de secado y cepillado.

### b) Objetivos específicos: Los siguientes objetivos permitirán lograr los objetivos generales planteados:

- ❖ Determinar las curvas de secado: CH% vs. Tiempo (curva de secado), Velocidad de secado vs. CH% (curva de velocidad de secado), y evaluar su ajuste a modelos matemáticos de regresiones.
- ❖ Determinar la calidad y condiciones de secado.
- ❖ Evaluar el comportamiento de la humedad y tensiones en la madera en el secado.
- ❖ Determinar la contracción en el ancho y espesor de la madera en el proceso de secado.
- ❖ Determinar el rendimiento en tablillas de calidad A y B en el secado y cepillado.

## 1.3. JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

La exportación de maderas ha tenido un crecimiento casi sostenido en los últimos años, así en el 2008 las exportaciones del “Sub sector maderas” fueron cerca de 222 millones de U\$\$, 4.63% más que el 2007, y la partida “madera para parquet, molduras y perfiladas” representó el 31,40% del total de productos “maderas” en el 2008 (SUNAT, 2010), cabe destacar que ésta partida está conformada en un 100% por madera seca y además es una de las de mayor valor agregado, pero la partida “madera aserrada” de menor valor agregado continúa siendo la de mayor exportación ya que representa el

44,73% del total, a pesar que desde el 2005 ha tenido un crecimiento negativo debido a que el mercado internacional cada año es más demandante de madera seca, la cual la industria maderera peruana no puede satisfacer, disminuyendo la venta debido a la baja de los precios de la madera aserrada (ADEX, 2008); por ende es necesario e importante el desarrollo de la tecnología del secado en la industria maderera peruana para poder competir internacionalmente en el mercado de la madera.

El desarrollo de la tecnología del secado comprende el conocimiento del secado propio para cada especie, es así que ésta investigación se justifica por la necesidad e importancia de obtener información sobre el comportamiento de la madera de Shihuahuaco en el secado convencional; actualmente en el Perú se tiene muy poca información específica del tema estudiado, por el contrario la información existente es muy general, y no muy aplicable en la industria maderera regional y nacional.

El secado convencional es un proceso vital para lograr el desarrollo de la actual industria maderera, desarrollo fundado en un aumento sustancial del valor agregado del producto, pero a la vez el secado es un proceso que requiere de una gran inversión y gasto por el consumo energético, tiempo, costos de personal y grandes pérdidas de materia prima ocasionados por una mala conducción del proceso, esto hace que algunas empresas vean con cierto riesgo implementar secaderos en su cadena productiva, pero estos problemas se resuelven y minimizan con un adecuado proceso de secado, el cual es mejorado si se conoce como se comporta la madera en las condiciones extremas propias del secado convencional; el comportamiento es descrito principalmente por la cinética del secado que permite predecir la variación temporal del contenido de humedad, es decir el contenido de humedad final para cualquier instante de tiempo, el tiempo de duración del proceso, velocidad de secado, con lo cual se puede planificar y simular todo el secado.

El comportamiento de la madera en el secado está relacionado con la calidad del secado la cual a su vez permite evaluar si el programa de secado es adecuado o no para la especie, las diferencias de humedad y las tensiones que se producen en la madera describen también el comportamiento de la madera.

Con la determinación del rendimiento en el secado y cepillado, se podrá saber cuánto es el aprovechamiento de las tablillas de Shihuahuaco en estos procesos, el cual

complementando con el resultado de rendimiento en el aserrío hallado por otros autores como el estudio de Miche, 2006, permitiría determinar el rendimiento neto total de la madera en todo el proceso de transformación (aserrío, secado y cepillado) en Forestal Río Piedras S.A.C, con estos resultados se mejoraría la optimización y conducción del secado de Shihuahuaco en ésta empresa, y serviría para promover el secado convencional en las empresas que aún no realizan este proceso por desconocimiento del comportamiento de la madera en el secado.

Cada año se está metiendo más presión al bosque y las tasas de deforestación están aumentando, siendo una de las causas el bajo rendimiento en la transformación primaria y secundaria, haciendo que la actividad maderera no sea sostenible para el bosque, ante esta situación este estudio aportará conocimiento para mejorar el aprovechamiento en la transformación de la madera de Shihuahuaco, lo que traería como consecuencia una mejor cantidad, calidad y valor del producto generando mayor riqueza privada y sostenibilidad ecológica.

## CAPÍTULO II: REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. MARCO TEÓRICO:

#### 2.1.1. Antecedentes en el secado de Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms).

Según el INIA, las piezas grandes secan con dificultad en forma natural, presentándose problemas de alabeos, en el secado artificial presenta buen comportamiento con un programa suave de 10 días para piezas de pequeñas dimensiones de 13 mm de espesor. Es resistente al ataque biológico; no requiere ser preservada.

No se tienen más antecedentes de estudios de secado artificial de Shihuahuaco en el país ni en el extranjero.

#### 2.1.2. Principales estudios sobre el secado de la madera en otras especies.

Para fines de conocimiento de estudios de secado de otras especies coníferas y latifoliadas se muestran los resúmenes de estas investigaciones:

**"Comportamiento del Pino radiata frente al secado convencional y bajo vacío: estudio de la cinética y la calidad del secado", Vallejos Diaz Sergio Javier, 2003.**

En esta investigación se analizó el comportamiento durante el secado de la madera de pino radiata (*Pinus radiata* D. Don). Se estudió la cinética del secado convencional, se exploró la evolución de la humedad durante el secado bajo vacío en atmósfera de vapor sobrecalentado; además se evaluó la calidad de la madera seca.

El estudio de la cinética del secado convencional es basado en la determinación del coeficiente global de transferencia de masa ( $K \times$ ), mientras que para el secado bajo vacío se realiza un estudio de la velocidad de secado basado en mediciones experimentales de evolución de la masa y la temperatura de la madera.

Para el secado convencional se realizaron tres ensayos, bajo un programa de secado constante 70°C/60% (T/TH), y un ensayo bajo vacío con un programa 70°C/9% (T/CHE) y una presión de 0.2 bar.

Los resultados muestran que la cinética del secado convencional del pino radiata puede ser representada en base a un coeficiente global de secado. La magnitud de este coeficiente es del orden de  $6,5 \cdot 10^{-5}$  ( $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{s}$ ). En el secado bajo vacío, es observada una etapa inicial de secado constante con una duración de 11 h, un contenido de humedad crítico de 58% y una velocidad de secado máxima 1,45 (%/h).

En relación con la calidad de la madera seca de pino radiata de 25 mm de espesor, en el secado convencional resulta una buena calidad de la madera, y en secado bajo vacío la calidad obtenida es satisfactoria. (Vallejos, 2003).

**“Aplicación de un programa de secado convencional en base a pérdida de humedad para madera de Aromo australiano (*Acacia melanoxylon* R. Brown).”, Claudio Fabián Sepúlveda Sepúlveda, 2007.**

El objetivo de este trabajo fue estudiar la aplicación de un programa de secado convencional en base a pérdida de humedad para madera de Aromo australiano.

Se obtuvo la materia prima del fundo San Germán que pertenece a la Universidad Austral de Chile, ubicado a 17 km al norte de la ciudad de Valdivia, se trabajó en los laboratorios del Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la UACH y en el taller de este mismo, utilizando el secador artificial Hildebrand HB y el aserradero portátil Wood-Mizer LT 40 HD G24. Las tablas fueron aserradas a un espesor de una pulgada, con ancho variable sin privilegiar ningún tipo de corte (radial, mixto, tangencial) y de 1,20 m de largo.

Para evaluar la calidad y condiciones del secado, se utilizó la metodología utilizada por Bravo (1977), la cual se basa en la suma de las medias estadísticas de los defectos considerados, que es una ponderación en base a la adaptación de cuatro índices, estos defectos considerados fueron: acanaladura, torcedura, encorvadura, arqueadura y grietas.

Del análisis de defectos considerados y sus respectivos índices, se puede concluir que las condiciones y calidad de los experimentos realizados no permitieron obtener una madera seca de buena calidad. (Sepúlveda, 2007)

**“Estudio de la velocidad del secado de renovales de canelo *Drimys winteri*”, Patricio Pérez *et al*, 2005.**

Se estudió experimentalmente la velocidad del secado artificial a temperaturas convencionales de renovales de canelo *Drimys winteri*.

El diseño experimental incluye los programas de secado y el espesor de la madera. Seis ensayos son realizados usando madera de 25 y 50 mm de espesor, en un horno convectivo de 0,3 m<sup>3</sup>. La madera para los ensayos experimentales proviene de bosques de renovales creciendo en la zona de Lanco (X Región, Chile).

Los resultados muestran que las curvas de secado carecen de la etapa de velocidad de secado constante, la velocidad de secado máxima se encuentra en el rango de 1,72 y 2,99 (%/h) y el contenido de humedad crítico varía entre 120 y 140 %. La velocidad del secado es limitada por la tendencia a los defectos del secado de los renovales de canelo. (Pérez *et al*, 2005)

**“Secado de *Eucalyptus nitens* y *globulus* y su aprovechamiento en blocks, pisos y muebles”, Carlos Rozas *et al*, 2005.**

Ensayos de secado en madera radial y tangencial de *Eucalyptus nitens* y *globulus* fueron realizados en laboratorios de la Universidad del Bío-Bío en el marco del Proyecto FONDEF D9811018 y posteriormente validados a escala industrial.

A escala de laboratorio, la escuadría utilizada fue de 30 mm de espesor, 1,8 m de largo y ancho aleatorio. A escala industrial en tanto, fue de 32 mm de espesor, largos de 2,1 y 2,8 m, con anchos variables. En general, los programas de secado fueron suaves, con temperaturas no superiores a los 50°C, con un bajo potencial de secado e incluyeron tratamientos de vaporizado para recuperar colapso y reducir tensiones de secado.

Se evaluaron contenidos de humedad inicial y final, densidad básica, gradientes de humedades, grietas, contracciones, tensiones y alabeos, determinando finalmente su aprovechamiento en pisos, blocks y muebles.

Los resultados indican que la madera de *Eucalyptus nitens* presenta una fuerte evaporación superficial, generando altos gradientes de humedad, contracciones prematuras a nivel de superficie y tensiones de secado bajo el P.S.F, originando grietas superficiales e internas. Cuando el colapso es severo, debido a la baja resistencia

mecánica de la pared celular de la madera, se generan grietas superficiales e internas en la madera.

El mejor aprovechamiento se obtuvo para madera radial, donde el *Eucalyptus globulus* registró entre 52 y 81% para blocks, entre 48 y 91% para piso y entre 38 y 89% para muebles. El *Eucalyptus nitens* registró entre 60 y 71% en blocks, entre 59 y 61% para piso y entre 52 y 63% para muebles.

La pérdida por nudos en *Eucalyptus globulus* fluctuó entre 3 y 22% en madera radial y entre 5 y 24% para madera tangencial. Para *Eucalyptus nitens*, en tanto, fluctuó entre 12 y 19% y entre 15 y 34% para los cortes antes señalados.

La pérdida por grietas en *Eucalyptus globulus* varió entre 3 y 10% para madera radial y entre 15 y 21% para tangencial. En el *Eucalyptus nitens* ésta fluctuó entre 3 y 13% y entre 5 y 38%.

Lo anterior, permite concluir que la madera de corte radial es la mejor opción para ser utilizada en estas aplicaciones. (Rozas *et al*, 2005)

**“Estudio experimental del secado a temperaturas convencionales de Acacias”,  
Rubén A. Ananías *et al*, 2008.**

En este trabajo, se estudian programas de secado a temperaturas convencionales y la calidad de la madera seca de *A. melanoxylon* y *A. dealbata*.

Experimentalmente son realizados 8 ensayos de secado a temperaturas convencionales, usando un horno de secado convectivo de 0,3 m<sup>3</sup> de capacidad. El diseño experimental incluye como factores variables la especie (*A. melanoxylon* y *A. dealbata*), el espesor de la madera (25 y 50 mm) y el tipo de corte (tangencial y radial).

Los resultados indican que para 25 o 50 mm de espesor, la *A. melanoxylon* y la *A. dealbata*, en corte radial y tangencial se dejan secar satisfactoriamente bajo un mismo programa de temperaturas convencionales.

La calidad de la madera seca se ve favorecida por la carencia de colapso y la baja anisotropía de la contracción transversal. (Ananías *et al*, 2008)



**“Secado artificial de madera de Coigüe (*Nothofagus dombeyi*)”, Miguel Peredo y Ramón Figueroa, 1992.**

Se aplicó un programa de secado artificial para secar madera de coigüe (*Nothofagus dombeyi*) de 1" de espesor, pretratada mediante inmersión en agua a 70° C durante 48 horas. Se planteó como objetivo específico aplicar un programa de secado en base a contenido de humedad y evaluar en forma técnica la calidad del secado de la madera tratada. El ensayo se evaluó en función de la calidad final obtenida, así como de la duración del secado. El programa de secado aplicado a madera de coigüe resultó ser de regular calidad, ya que se observaron algunos defectos de secado. La mayor incidencia en los defectos correspondió en el caso de grietas, a grietas en los extremos, y en el caso de alabeos, a torceduras. En términos generales la desclasificación se debió más a una alta frecuencia de defectos que a una alta intensidad de éstos. No se apreció un cambio significativo en la calidad al aplicar el pretratamiento. Sí se notó una apreciable disminución en los tiempos de secado, reduciéndose éste en promedio aproximadamente en un 35%. Además de obtener una reducción bastante significativa en el colapso residual de las piezas. (Peredo y Figueroa, 1992)

**Secado artificial de sequoia crecida en Chile (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.), Roberto Juacida P *et al*, 1996.**

Se aplicó un programa de secado artificial propuesto por Rasmussen (1980) a madera aserrada de *Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl. de 25 mm de espesor crecida en Chile. Se evaluó la efectividad del programa en función del contenido de humedad final y la cantidad y magnitud de defectos producidos durante el proceso, tales como alabeos y grietas. Se determinó además la variación dimensional.

La madera utilizada para los ensayos se obtuvo de un rodal ubicado en el predio Voipir, provincia de Villarrica, IX Región. Se extrajeron 7 árboles, obteniendo de cada uno una troza de 4 m de longitud. La madera fue aserrada con sierra huincha y dimensionada a escuadrías de 25 mm x 100 mm x 1,1 m en el Instituto de Tecnología de Productos Forestales de la Universidad Austral de Chile. Los ensayos se efectuaron en un secador experimental de la Facultad de Ciencias Forestales.

El programa aplicado en madera de secuoya crecida en Chile produjo madera de buena calidad. La mayor frecuencia de defectos correspondió a arqueadura y encorvadura, seguidos en bajo porcentaje por torcedura y acanaladura.

Encorvadura fue el alabeo más descalificador. No hubo presencia de grietas, excepto en los nudos. No se evidenció colapso. El contenido de humedad inicial promedio de la madera fue de 127%, y el final logrado de 10,6%. La temperatura máxima del bulbo seco aplicado fue 65,5°C y la duración del proceso fue de 100 horas (incluidos tiempos de calentamiento, equilibrado y acondicionado). (Juacida P *et al*, 1996)

### **2.1.3. Estudios del rendimiento de Shihuahuaco en el aserrío.**

**“Evaluación del rendimiento en trozas de Shihuahuaco (*Dipteryx odorata* Aublet Willd) en el proceso de transformación primaria (Tambopata – Madre de Dios)”, Miche Merino Williams W., 2006.**

Se utilizaron trozas de *Dipteryx odorata* Aublet -Willd, que se procesaron en el aserradero Forestal Río Piedras. El coeficiente de aserrío o rendimiento fue de 49,39% del volumen de rollizo con corteza y 84,57% del volumen rolliza aprovechable (sin corteza, descuento por defecto (huecos, podridos o rajaduras)). Con el sistema tradicional de aserrío, se generó 93,1585 m<sup>3</sup> de madera seleccionada “tablillas pre parquet, tablillas recuperadas, tablillas para cerco y tablas para cerco”; volumen obtenido de 188,6031 m<sup>3</sup> del volumen de rollizo con corteza, con un grado de confiabilidad de 0,923. El coeficiente de aserrío sólo para tablillas fue de 45,45% del volumen rollizo con corteza, y 77,81% del volumen aprovechable. Se determinó la fórmula de la recta  $Y = -0,1745 + 0,5998 (X)$  para estimar madera aserrada a partir de medidas de trozas (diámetro y longitud “utilizando la fórmula de Smalian”). (Miche, 2006).

**“Evaluación del rendimiento en trozas de *Hymenaea oblongifolia* (Azúcar huayo)”, Alarcón *et al*, 2005.**

La evaluación del rendimiento en aserrío de trozas de *Hymenaea oblongifolia* se inició con la coordinación del Gerente de la Empresa Aserradero Forestal Río Piedras SAC y

culmina con la medición final del volumen que determina el rendimiento de la especie, estas actividades se desarrollaron en el periodo de septiembre a diciembre de 2005.

La fuente de abastecimiento de la materia prima perteneció a las concesiones Forestales; Otorongo, Río Piedras y EMFORPORTILLO, correspondiente a la parcela de corta anual 2005. El trabajo de investigación se ejecutó en la planta de aserrío N° 01, planta que tiene mayor productividad y cuenta con las herramientas completas para el aserrío. El número de trozas de la especie en el patio fue de 85, siendo 30 las trozas evaluadas. La cubicación de la trozas se realizó mediante la fórmula de Smalian en la que se toma en consideración la medida de los diámetros mayor y menor, sin considerar la corteza. En el proceso de aserrío de las trozas fueron aserradas en sierra cinta en la que se determinó el espesor de la pieza de madera, en grueso comercial de 1 ½ “, así mismo se dimensiono sus anchos comerciales de 4”, 5”, 6”, 7” a más, el largo de la madera fue dimensionada de 1 ½ ´ a más de 16´.

El volumen de la madera aserrada fue obtenido para cada pieza de acuerdo con sus tres dimensiones. Una vez obtenido los volúmenes de la madera aserrada, se procedió a determinar el rendimiento o coeficiente de aserrío a través de la fórmula establecida para el estudio. Los resultados obtenidos de la evaluación fueron de 55,02% de rendimiento en el aserrío considerando las secciones de duramen y albura, y de 31,95% de rendimiento de la sección del duramen. (Alarcón *et al*, 2005)

## 2.2. MARCO CONCEPTUAL:

### 2.2.1. Clasificación taxonómica de la especie

Reino	: Plantae
División	: Magnoliophyta
Clase	: Magnoliopsida
Orden	: Fabales
Familia	: Leguminosae (Faboideae)
Nombre científico	: <i>Dipteryx micrantha</i> Harms
Nombre común	: “Shihuahuaco”
Sinónimos botánicos	: <i>Coumaruna micrantha</i> (Harms) Ducke

### 2.2.2. Descripción de la especie

**Árbol** de unos 50-150 cm de diámetro y 20-35 m de altura total, con el fuste cilíndrico, la ramificación desde el segundo tercio, la base del fuste recta o con raíces tablares pequeñas de hasta 1 m de alto (Reynel *et al*, 2003).

**Corteza externa** lenticelada, color marrón claro a grisáceo o verdusco; presenta escamas de ritidoma que desprenden aisladamente dejando huellas impresas (“martillado”), las lenticelas de 2-4 mm de diámetro (Reynel *et al*, 2003).

**Corteza interna** granular, color amarillo pálido, con gránulos de color blanquecino y amarillo oscuro (Reynel *et al*, 2003).

**Ramitas terminales** con sección circular, color marrón oscuro cuando secas, de unos 4-9 mm de diámetro, finamente agrietadas y glabras (Reynel *et al*, 2003).

**Hojas** compuestas imparipinnadas, alternas y dispuestas en espiral, de 13-30 cm de longitud, el peciolo de 4-8 cm de longitud, éste y el raquis acanalados y estrechamente alados, las alas de 1-2 mm de ancho, el raquis terminado en un mucrón lanceolado y alargado, de 2-3,5 cm de longitud, los foliolos 4-7 pares, oblongos, de 4-10 cm de longitud y 2-3,5 cm de ancho, enteros, los nervios secundarios 10-14 pares, prominulos en ambas caras, el ápice de los foliolos obtuso a agudo, cortamente acuminado, la base obtusa a rotunda, las láminas glabras, coriáceas, rígidas (Reynel *et al*, 2003).

**Inflorescencias** panículas terminales o axilares de 10-20 cm de longitud, multifloras (Reynel *et al*, 2003).

**Flores** hermafroditas, zigomorfas, de 0,8-1,2 cm de longitud, con cáliz y corola presentes, el pedicelo de 1-2 mm de longitud, el cáliz de 3-5 mm de longitud, la corola rosada, de 6-10 mm de longitud, el androceo 5-7 mm de longitud, con varios estambres, el gineceo con un pistilo de ovario súpero y alargado, el estigma capitado (Reynel *et al*, 2003).

**Frutos** oblongoides de 3-6 cm de longitud y 2-4 cm de diámetro, leñosos, indehiscentes, la superficie de color amarillento, el mesocarpio harinoso y oleoso, la semilla única (Reynel *et al*, 2003).

**Semillas** de color amarillo, péndula, aromática (presencia de curamina), el mesocarpio harinoso y oleoso, la semilla es única. Entre 600 a 700 semillas hacen un kilo (Angulo, 2006).

### **2.2.3. Utilidad**

La madera es de muy buena calidad, extraordinariamente dura y pesada. Es apta para el torneado, tiene buena durabilidad y es resistente a la humedad. Con ella se elaboran parquet, elementos de la construcción que requieren mucha resistencia y perduración, tales como puntales y vigas, mangos de herramientas, postes y chapas decorativas (Reynel *et al*, 2003).

En otros países de Sudamérica se le aprovecha por el contenido de Cumarina de la semilla. Esta sustancia tiene uso industrial en perfumería.

### **2.2.4. Características de la madera de Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms)**

**Color:** El tronco recién cortado presenta las capas externas de madera (albura) de color blanco y las capas internas (duramen) de color marrón con jaspes claros y de forma regular, observándose entre ambas un gran y abrupto contraste de color. En la madera seca al aire la albura se torna de color blanco rosáceo y el duramen marrón rojizo.

**Olor** Distintivo y característico.

**Lustre o brillo** Moderado a elevado.

**Grano** Entrecruzado.

**Textura** Media.

**Veteado o figura:** Bien definido, arcos superpuestos y bandas angostas, paralelas, satinadas, jaspeado amarillo en la sección tangencial.

Fuente: PROMPEX-WWF-USAID-INIA-ITTO, 2005

#### **Características anatómicas:**

##### **Madera patrón**

Madera de porosidad difusa. Poros visibles a simple vista, solitarios de forma oval y múltiples radiales en similar proporción; con 3 a 9 poros/mm<sup>2</sup>. Parénquima visible a simple vista paratraqueal vasicéntrico y aliforme. Radios visibles con lupa 10x, con 3 a 10/mm, estratificados.

### **Vasos**

El diámetro tangencial varía de 119 a 238 $\mu\text{m}$  y la longitud entre 307 y 538 $\mu\text{m}$ . Platina de perforación horizontal con perforación simple.

Punteado intervascular alterno con puntuaciones redondeadas y abertura inclusa.

Punteado radiovascular similar al intervascular pero con aberturas grandes y redondas.

Presencia de gomas.

### **Parénquima**

Paratraqueal vasicéntrico y aliforme, no estratificadas. Presencia de células cristalíferas septadas.

### **Radios**

Homogéneos, uniseriados y biseriados, estratificados. Altura entre 249 y 427 $\mu\text{m}$ .

### **Fibras**

Libriiformes no estratificadas. El diámetro total es 13 $\mu\text{m}$ , el grosor de pared celular 2,5 $\mu\text{m}$  y la longitud varía entre 1114 y 2419 $\mu\text{m}$  (CIMPEVISAC, 1998).

### **Características tecnológicas:**

El Shihuahuaco es una madera muy pesada, que presenta contracciones lineales bajas y la contracción volumétrica es estable. Para la resistencia mecánica se sitúa en la categoría alta.

### **Propiedades Físicas**

Densidad básica 0,87 g/cm<sup>3</sup>.

Contracción tangencial 9,10 %

Contracción radial 5,50 %

Contracción volumétrica 15,00 %

Relación T/R 1,60

### **Propiedades Mecánicas**

Módulo de elasticidad en flexión:  $\text{kg/cm}^2$

Módulo de rotura en flexión  $1,286 \text{ kg/cm}^2$

Compresión paralela (RM)  $672 \text{ kg/cm}^2$

Compresión perpendicular (ELP)  $150 \text{ kg/cm}^2$

Corte paralelo a las fibras  $145 \text{ kg/cm}^2$

Dureza en los lados  $1,353 \text{ kg/cm}^2$

Tenacidad (resistencia al choque)  $6,2 \text{ kg-m}$

RM = Resistencia máxima

ELP = Esfuerzo al límite de proporcionalidad

Fuente: PROMPEX-WWF-USAID-INIA-ITTO, 2005

### **2.2.5. El secado artificial**

El secado artificial consiste en crear alrededor de la madera unas condiciones ambientales artificiales de presión, temperatura y humedad, muy por debajo de la humedad de la madera, lo que propicia su secado rápido (Vignote y Jiménez, 2000). Se puede definir también como el balance dinámico entre la transferencia de calor del flujo de aire para la madera, superficie de evaporación de la madera, difusión de la humedad a través de la madera y el flujo de masa de agua libre (Hart, 1966). Por medio de equipos e instalaciones, se establecen en recintos cerrados condiciones climáticas diferentes a las condiciones atmosféricas normales. Mediante ventiladores, se produce un flujo de aire estable que circula a través de las pilas de madera, con temperatura y humedad relativa controladas de acuerdo a los programas preestablecidos según especie y dimensiones de la madera a secar. La velocidad de secado se puede incrementar, elevando la temperatura tanto como sea admisible para cada especie en particular y a la calidad del producto final deseado (Sepúlveda, 2007).

También se puede controlar la humedad relativa del aire de tal forma que los gradientes de humedad no produzcan esfuerzos de tensión no deseados.

La importancia del secado artificial es que con estos métodos se reducen los tiempos de secado además de reducir los costos de transporte, las propiedades de resistencia son mejoradas en general, salvo al impacto o al choque, mejora la capacidad de resistencia

a la mayoría de hongos e insectos, mejora el cepillado, lijado y a las aplicaciones de colas y pinturas (Tuset y Durand, 1979).

Hoy en día es uno de los procesos más utilizados en empresas que figuran con gran producción, teniendo en cuenta los tres factores limitantes de este aceleramiento, que son la velocidad del aire circulante, la humedad relativa y la temperatura.

El secado a altas temperaturas consiste en secadores de compartimento donde la temperatura de secado es superior a 100°C, ha venido imponiéndose en países como EE.UU, Chile y Nueva Zelanda, debido a la necesidad de las industrias de incrementar su producción a un costo razonable y muy competitivo (JUNAC, 1989).

Las ventajas más interesantes del secado a alta temperatura está en los reducidos tiempos de secado que utilizan entre 1/4 y 1/6 de los ocupados en el secado convencional, la pequeña superficie que necesita para su instalación, la disminución del contenido de humedad de equilibrio y el menor consumo de energía (Peredo *et al*, 1985).

En cambio el secado convencional son cámaras o compartimentos cerrados, dotado de ventiladores que dan lugar a la circulación forzada del aire dentro de la cámara, tienen también un sistema de calentamiento controlado que permite elevar la temperatura del horno y dispositivos regulables para conseguir la variación deseada de la humedad relativa en el ambiente interior del horno, con temperaturas que oscilan entre los 40 y 100°C (BOLFOR, 1998).

Dentro de los problemas que generalmente son asociados al secado artificial a cualquier madera son la contracción, alabeos, grietas y colapso, además de los costos elevados de instalación, mantenimiento y costos de secado debido al consumo energético que se produce.

### **Secado Convencional Artificial**

El secado convencional se desarrolla en cámaras cerradas dentro de las cuales se establecen climas artificiales de incremento progresivo de temperatura y disminución de la humedad relativa. Cada etapa del secado se mantiene durante un determinado lapso, de acuerdo con un programa predeterminado experimentalmente según el tipo y dimensiones de la madera. Como los cambios en las condiciones inducen contenidos de humedad de equilibrio cada vez más bajo, en las piezas de madera se genera un



gradiente de humedad que determina la velocidad de difusión del agua, del interior a la periferia (JUNAC, 1989).

El secado convencional es el sistema de secado más generalizado a nivel mundial y se distinguen varias formas, según la intensidad de la temperatura aplicada y las características de las instalaciones (JUNAC, 1989).

#### **2.2.6. La Humedad en la madera**

En un árbol recién cortado, su madera contiene una importante cantidad de agua, variando el contenido según la época del año, la región de procedencia y la especie forestal de que se trate. Las maderas livianas por ser más porosas, contienen una mayor cantidad de agua que las pesadas. De igual manera, la albura, por estar conformada por células cuya función principal es la conducción de agua, presenta un mayor contenido de humedad que el duramen. Esto indica que el porcentaje de agua contenido en los espacios huecos y en las paredes celulares de la madera es muy variable en el árbol vivo (Sepúlveda, 2007).

El agua contenida en la madera se encuentra bajo diferentes formas (agua libre, agua de saturación y agua de constitución).

##### ***Agua Libre***

Es el agua que se encuentra ocupando las cavidades celulares o lumen de los elementos vasculares, resultando una condición de “verde” para la madera. La cantidad de agua libre que contiene una madera está limitada por su volumen poroso. Al iniciar el secado, el agua libre va saliendo fácilmente por la evaporación, ya que es mantenida en la madera a través de fuerzas capilares muy débiles, hasta el momento en que no se contiene más agua de este tipo. En este punto la madera estará en lo que se denomina “punto de saturación de las fibras” (PSF), que corresponde a un contenido de humedad entre el 21% y 32% de contenido de humedad. Cuando la madera ha alcanzado esta condición, sus paredes celulares están completamente saturadas pero sus cavidades están vacías (JUNAC, 1989).

Para la retirada del agua libre se deben utilizar bajas temperaturas en las etapas iniciales del secado debido a los riesgos asociados a la remoción rápida de agua a altas temperaturas (Klitzke, 2005).

### ***Agua Higroscópica***

Es el agua que se encuentra en las paredes celulares llamada también agua de inhibición (JUNAC, 2006).

Cuando la madera ha perdido el agua libre por evaporación, y continúa secándose, la pérdida de humedad ocurre con mayor lentitud hasta llegar a un estado de equilibrio higroscópico (entre 12 y 18% de CH%) con la humedad relativa del aire circundante. El secado por debajo del equilibrio higroscópico sólo se logra con el secado artificial.

El agua higroscópica se mueve por difusión a través de las paredes celulares en consecuencia de las fuerzas originadas por la gradiente de humedad, cuando este tipo de agua es removida de las paredes la madera comienza a sufrir cambios dimensionales (Sepúlveda, 2007).

### ***Agua de constitución***

Es el agua que forma parte de la materia celular de la madera y que no puede ser eliminada utilizando las técnicas normales de secado. Su separación implicaría la destrucción parcial de la madera (JUNAC, 1989).

## **2.2.7. Movimiento del agua en la madera durante el secado**

### ***Movimiento capilar en la madera***

Este movimiento se produce sobre el PSF debido a las fuerzas capilares cuando la humedad se mueve desde el interior hasta la superficie.

El movimiento capilar es favorecido por el aumento de la temperatura, por la existencia de burbujas de aire en el interior de las células y por el aumento de diámetro de las punteaduras.

### ***Movimiento de difusión en la madera***

Abajo del PSF el movimiento de humedad a través de la madera es considerado un fenómeno de difusión, el agua retenida se mueve por medio de las paredes celulares por una gradiente de humedad, evapora y atraviesa las cavidades celulares por una gradiente de presión de vapor, torna a condensar para atravesar las paredes celulares y así sucesivamente hasta alcanzar la superficie de la madera (HART, 1975).

Esta pasada de agua retenida a través de las paredes celulares se debe al “salto molecular casual”, donde las moléculas saltan de un local de adsorción hacia otro, quedando la fuerza atrayente, y el trabajo de abrir la estructura de la madera fueron mayores que las fuerzas atrayentes del local de origen (Sepúlveda, 2007).

Así las moléculas absorbidas en la segunda camada o en camadas moleculares subsecuentes tienen más facilidad de cambiarse que las moléculas de la primera camada (Sepúlveda, 2007).

El movimiento del vapor de agua, a través de las cavidades celulares, cámaras de la punteaduras, aberturas de la membrana de las punteaduras y espacios intercelulares es establecido cuando gran parte de las fuerzas capilares terminan quedando en las cavidades celulares apenas aire y vapor de agua, estableciéndose así una gradiente de presión de vapor resultante de diferencias de humedad relativa del aire. En resumen, el proceso de difusión es la transferencia de moléculas de agua de una zona de alta presión de vapor a otra de menor presión de vapor generando un movimiento espontáneo que ocurre a través de los gradientes de presión (Sepúlveda, 2007).

### **2.2.8. Etapas del secado**

#### ***Pre calentamiento***

En esta etapa, la temperatura en la cámara debe subir lentamente al nivel deseado, este incremento de la temperatura debe ser uniforme y lento, evitando en lo posible la entrega de humedad a la madera, el clima de pre calentamiento depende de la especie de la madera, de la humedad inicial y del medio de pulverización (Sepúlveda, 2007).

### ***Calentamiento***

Una vez alcanzada la temperatura deseada de aire es el comienzo de esta fase, teniendo como objetivo el calentamiento a fondo y uniforme de la sección de la madera. Para la fase de calentamiento hay que tomar en cuenta como mínimo una hora por cada 10 mm de espesor para coníferas y latifoliadas fáciles, y dos horas y media para latifoliadas difíciles por cada 10 mm de espesor para el calentamiento (Sepúlveda, 2007).

### ***Secado***

Se inicia una vez terminada la fase de calentamiento, el objetivo de esta fase es secar lo más rápido posible por medio del aumento de la temperatura y de la reducción de la humedad del aire en forma gradual conforme con lo establecido en el programa (Klitzke, 2005).

Esta etapa de secado se puede subdividir en dos fases:

#### ***Secado antes del punto de saturación de las fibras***

En esta fase es donde se produce la extracción del agua libre de la madera, teniendo mucho cuidado con la humedad relativa del aire y de no utilizar temperaturas muy elevadas (Sepúlveda, 2007).

#### ***Secado después del punto de saturación de las fibras***

Una vez alcanzado el PSF, la madera es más rígida a la entrega del agua retenida y produce que la etapa de secado disminuya su velocidad, para que esto no suceda es que se aumenta el cociente de secado y las temperaturas mientras que la humedad relativa del aire se disminuye (Sepúlveda, 2007).

### ***Acondicionamiento***

Esta etapa está constituida por dos fases distintas conocidas como ecualización y acondicionamiento (Klitzke, 2005).

La primera de ellas tiene como objetivo uniformar la humedad de la carga en torno a la humedad del medio pre-establecido, esto se logra a través de la elevación de la humedad relativa del aire después de la última fase de secado (Klitzke, 2005).

El acondicionamiento tiene como función homogenizar la humedad dentro de la madera y reducir o eliminar las tensiones internas de cada pieza de la carga que se

desenvuelven en el secado, para esto se aumenta la humedad relativa del ambiente en la cámara de secado (Klitzke, 2005).

### ***Enfriamiento***

Es la última etapa del proceso, se debe evitar la abertura de la cámara con altas temperaturas para que así no se produzca un choque térmico en la carga, lo cual podría generar grietas superficiales, se debe mantener la humedad de equilibrio utilizada en la etapa de acondicionamiento y bajar la temperatura gradualmente (Sepúlveda, 2007).

### **2.2.9. Programas de secado**

Un secado artificial se obtiene cuando se hace circular aire caliente y seco uniformemente a través de una pila de madera. En tanto, el ritmo de secado y los riesgos de daños causados durante el secado, son diferentes, dependiendo de las características estructurales de la especie. Por esta razón las maderas requieren variaciones climáticas y de intensidad diferente, los programas de secado varían en función de la especie, espesor y humedad deseada, la humedad relativa del aire y la temperatura son factores fundamentales necesarios para conducir adecuadamente el secado (Klitzke, 2005).

Hoy en día existen tres tipos de programas de secado artificial, uno basándose en la pérdida de contenido de humedad, otro en el tiempo de secado, y en el cociente o gradiente de secado.

La elección de uno de ellos dependerá de los resultados que se quieran obtener, refiriéndose al contenido de humedad, porcentaje permisible de defectos y el grado de uniformidad de esta (Matthei, 1994).

Si nos referimos al programa de secado por tiempo de secado, se caracteriza por el establecimiento de tiempos fijos en cada etapa. Se utiliza generalmente, para maderas de fácil secado o bien para aquellas cuyo comportamiento ha sido largamente estudiados (Inzunza, 2004).

Con respecto al programa de contenido de humedad, es de preferencia aplicarla a especies latifoliadas y sobre todo a maderas susceptibles a desarrollar defectos,

tensiones y desuniformidad en el porcentaje de humedad, y también se aplica cuando se trata de experimentos exploratorios (Sepúlveda, 2007).

#### **2.2.10. Consideraciones al programar el secado**

Según Pedras, 2005, antes de comenzar a realizar algún programa de secado debemos tener en consideración los siguientes aspectos.

##### ***La especie***

Esta dependerá si son del tipo coníferas o latifoliadas.

##### ***Sus características y propiedades físicas***

Veremos su estructura, densidad y variación dimensional.

##### ***El tipo y dimensiones de la madera***

Corresponderá si la madera presenta albura, duramen o ambas, si es juvenil o madura, si pertenece a madera de reacción, sus escuadrías y tipo de corte.

##### ***El sistema de secado***

En Horno o Cámara, pueden ser del tipo Pre-secador, Deshumidificador, Alta temperatura, y convencional el cual puede ser del tipo Normal o Acelerado.

##### ***La relación entre equipos y factores***

Se identifican los más importantes como son: Temperatura, Humedad relativa, Velocidad del aire, Gradiente de humedad, Gradiente de secado.

##### ***La calidad y destino de los productos***

Esta última consideración se refiere si la madera será del tipo Estructural, si se va a clasificar según su apariencia y el destino de su mercado ya sea interno o externo.

### ***La Modelación del programa de Secado***

Según Pedras (2005), para la modelación y puesta en marcha del programa de secado en base a pérdida de humedad debemos tener en cuenta las siguientes variables para poder realizar los posteriores cálculos con los datos empíricos de las tablas que se asocian a estas variables:

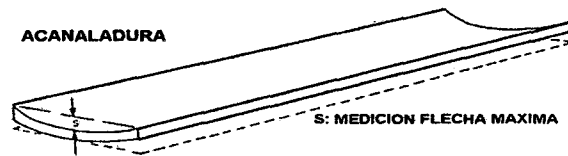
- Densidad básica de la especie.
- Espesor de la tabla.
- Temperatura inicial del proceso.
- Temperatura final del proceso.
- Velocidad de circulación del aire.
- Humedad inicial de la madera.
- Humedad final de la madera.

#### **2.2.11. Defectos de secado más frecuentes**

**a) Alabeos:** Los alabeos son deformaciones que suelen experimentar una pieza de madera por la curvatura de sus ejes longitudinales, transversales o ambos. Los cuales los más frecuentes son:

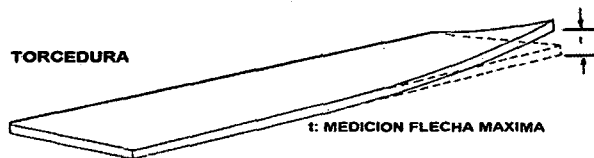
- Acanaladura.
  - Torcedura.
  - Encorvadura
  - Arqueadura.
- 
- **Acanaladura:** Es cuando los bordes longitudinales o las aristas no se encuentran en el mismo nivel que la zona central, se reconoce cuando al colocar la pieza de madera sobre una superficie plana apoyara la parte central de la cara quedando levantado los bordes, presentando un aspecto cóncavo. Generalmente se produce en madera floreada, en el reaserrado de madera endurecida superficialmente, y cuando hay piezas de distinto espesor en una misma hilera o cámara (Sepúlveda, 2007).

Figura 1: Acanaladura



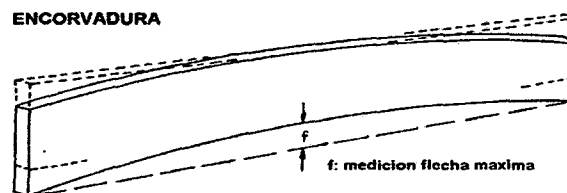
- **Torcedura:** Es el alabeo simultáneo en las direcciones transversal y longitudinal, se presenta cuando las esquinas de una pieza no se encuentran en el mismo plano. Susceptibles en maderas con fibra espiralada, diagonal o entrelazada, madera con médula, piezas mal aserradas y cuando hay ausencia de sobre pesos en la carga (Sepúlveda, 2007).

Figura 2: Torcedura



- **Encorvadura:** Es la curvatura a lo largo del canto de la pieza, se reconoce cuando al colocar la pieza de canto sobre una superficie plana, se observa una luz o separación entre el canto de la pieza de la madera y la superficie de apoyo. La causa de esta deformación se presenta en madera cuarteada, en madera juvenil y de reacción, excesiva contracción longitudinal y diferente contracción entre espesores cercanos a la médula y corteza (Sepúlveda, 2007).

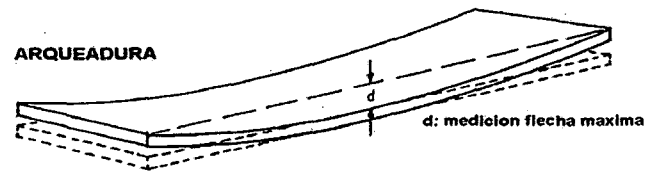
Figura 3: Encorvadura



- **Arqueadura:** Es el alabeo o curvatura de las caras en la dirección longitudinal. Se reconoce al colocar la pieza sobre una superficie plana, se observa una luz o separación entre la cara de la pieza y la superficie de apoyo. Son susceptibles a este defecto aquellas piezas de madera floreada, madera juvenil, contracción longitudinal, y grano desviado (Sepúlveda, 2007).



Figura 4: Arqueadura



- b) Grietas superficiales e internas:** Las grietas son la separación de los elementos constitutivos de la madera, las grietas superficiales son fisuras en la superficie de la madera y las internas como su nombre lo indica son fisuras en el interior de la pieza de madera, generalmente a lo largo de los radios leñosos que muchas veces no son visibles en la superficie, ambos tipos de grietas son debidas a los esfuerzos del secado, estos esfuerzos del secado son las tensiones que se establecen en la madera, debido a la diferencia de contracciones que se producen entre las zonas externas e internas; entre madera normal y de reacción y entre los diferentes planos de una pieza, en general, todas producto de un proceso de secado demasiado rápido (Sepúlveda, 2007).
- c) Rajaduras:** Son separaciones longitudinales de las fibras que atraviesa de una cara a la otra en la pieza, ocurren en el extremo de una tabla, debido a una rápida pérdida de agua que origina esfuerzos de tensión, las rajaduras a la vez pueden ser originadas en el bosque al momento de voltear el árbol (Sepúlveda, 2007).
- d) Colapso:** Ante todo, no es un defecto ocasionado por contracciones propias del secamiento por debajo de la zona de saturación de las fibras. Ocurre durante la evacuación del agua libre y consiste en una reducción o deformación de la cavidad celular. Las causas más probables de este fenómeno, que se presenta en determinadas especies de madera, son: paredes de las células, sobre todo de los vasos, completamente impermeables; las cavidades celulares llenas de agua sin burbujas de aire; baja resistencia a la compresión perpendicular, plasticidad de las paredes celulares por sustancias como taninos; estas causas, sumadas a altas temperaturas iniciales y una rápida desecación superficial, producen este defecto. El colapso es propio del duramen y generalmente va acompañado de endurecimiento superficial severo, deformaciones excesivas, acanalamiento de la sección transversal

y apanamiento. Parece ser que debido a la impermeabilidad de las células y la falta de entrada de aire para reemplazar el agua que sale de las cavidades por fuerzas capilares, se forman tensiones capilares de varios cientos de atmósferas que exceden la resistencia de compresión y aplastan las paredes (Sena, 2007).

#### **2.2.12. Tensiones de la madera**

La expresión madera tensionada comprende todos los síntomas que son causados por gradientes de humedad que se crean en el interior de la madera durante el proceso de secado. Incluye la disminución aparente de la permeabilidad (al flujo de salida) debida al secado de la capa superficial y muy especialmente al desarrollo de tensiones de secado que pueden permanecer en la madera aún después que el secado ha finalizado (Álvarez y Fernández-Golfin, 1992).

El secado demasiado rápido producirá defectos (principalmente colapso en maderas densas y gruesas) que no siempre es posible eliminarlos (Peredo *et al*, 1985).

Cuando una pieza de madera está en proceso de secado, el agua almacenada en la superficie y un poco por debajo de la superficie de ella es eliminada al ambiente de circundante. Esta pérdida de agua superficial está siendo reemplazada por agua que se mueve desde el interior hasta la superficie de la madera, pero la superficie va quedando con menos humedad que el interior de la madera, formándose una distribución de humedad desde el interior más húmedo hacia la superficie más seca, lo que se conoce como gradiente de humedad (Ananías, 1995).

A poco de iniciar el secado la superficie llega a un contenido de humedad por debajo del punto de saturación de la fibra equivalente al contenido de humedad de equilibrio del ambiente y el interior se encuentra todavía por sobre el punto de saturación de la fibra y por lo tanto libre de contracción. En cambio la superficie seca puede presentar una fuerte tendencia a contraerse. Así, como la madera es un material que actúa como un solo cuerpo bien cohesionado, si una parte de la madera presenta evidencias de contracción y la otra no, la parte que tiende a contraerse genera esfuerzos internos de compresión sobre la parte de menor contracción o que no se ha contraído. Esto es, el interior de la madera es comprimido por la superficie de la madera que tiende a contraerse pero su contracción es impedida por la resistencia que opone el interior

húmedo y sin contraerse de la madera. La madera queda sujeta a esfuerzos de compresión en el interior y compensada con esfuerzos de tensión en la superficie.

A esta situación de esfuerzos se le denomina primera etapa del secado. En este caso si los esfuerzos de tensión en la superficie de la madera son de mayor magnitud que la resistencia en tensión perpendicular a la fibra se pueden producir las grietas superficiales. Y si los esfuerzos de compresión en el interior de la madera superan la resistencia permisible por la madera perpendicular a las fibras puede contribuir al colapso de la madera (Ananías, 1995).

Cuando el interior de la pieza está en compresión, se produce un flujo interno y sus dimensiones disminuyen, o sean son más cortas que la dimensión inicial. Este cambio en las dimensiones en el interior es debido al comportamiento viscoelástico y plástico de la madera. Por su parte la superficie de la madera tiende a un flujo en tensión y sus dimensiones aumentan (Ananías, 1995).

Al continuar el proceso de secado, la situación anterior ocasiona una inversión de los esfuerzos, en lo que se denomina segunda etapa del secado. El interior de la pieza de madera ha perdido agua por debajo del punto de saturación de las fibras y comienza a contraerse. Como tiene las dimensiones más pequeñas y la superficie esta alargada, como resultado de ello, el interior tiende a tensionar la cubierta de la superficie, la cual por su parte opone cierta resistencia a la tracción. Queda entonces, el interior en tensión y la superficie en compresión (Ananías, 1995).

En esta situación, si las tensiones en el interior de la madera superan la resistencia perpendicular a la fibra permisible por la madera se pueden producir, las grietas internas (Ananías, 1995).

Las tensiones de secado pueden producir deformaciones de la madera cuando ésta se elabora para su aplicación final. Estas tensiones pueden comprobarse aserrando una delgada lámina de madera en franjas angostas mediante una sierra huincha (Cofre, 2003).

Mientras mayores sean las tensiones, mayor será el arqueamiento de estas franjas.

Ratificando lo anterior, Torres, 1991, con respecto al uso, confirma que si el uso final significa partir la madera en su espesor o ancho, producir molduras o efectuar algún tipo de desbaste, se rompe el equilibrio de tensiones internas, y la madera,

inevitablemente, sufre deformaciones que la desclasifican para el destino final programado.

En relación a la evaluación de las tensiones de la madera, existe una forma sencilla de determinar o visualizar el grado de tensión que pueda tener determinada carga de madera a controlar a través de la elaboración de tenedores de tensión, los cuales son extraídos de zonas de una pieza de madera especificada por norma, y pueden ser elaborados con dos o cuatro pinzas (Cofre, 2003).

En la evaluación de la tensión de la madera, si al momento del corte, las pinzas externas del tenedor se curvan hacia adentro esto es una indicación de que la madera tiene esfuerzos de compresión en la superficie de la pieza y de tracción en el interior. El tratamiento de acondicionado debe continuar (BOLFOR, 1998).

Si las pinzas se mantienen rectas o muy ligeramente curvadas hacia afuera, la madera está prácticamente libre de esfuerzos y el secado se da por concluido (BOLFOR, 1998). Finalmente, si las pinzas del tenedor se curvan visiblemente hacia afuera, los esfuerzos se han invertido, la superficie de la pieza está bajo tracción y el interior en compresión. Esto indica un exceso de humedad de la madera durante el acondicionado (BOLFOR, 1998).

### **2.2.13. Cinética del secado**

La cinética del secado de madera, es la representación de la evolución de las condiciones ambientales y de la madera en el transcurso del secado. En particular la evolución temporal de la humedad de la madera o de la velocidad del secado respecto del tiempo o la humedad de la madera, son las cinéticas del secado más reconocidas (Vallejos, 2003).

En la cinética del secado basan los estudios en los cambios de la cantidad promedio de humedad con el tiempo, contrario a lo que describe la dinámica del secado que describe los cambios de temperatura y humedad.

Así la cinética del secado describe la cantidad de humedad evaporada, el tiempo, el consumo de energía, etc. Sin embargo, el cambio de humedad depende de la transferencia de calor y de masa entre la superficie del cuerpo, el ambiente y el interior del material a secar (Dávila, 2004).

## Curva de velocidad de secado de la madera

Este tipo de curva indica con que velocidad se seca el material. Este diagrama es muy útil para diferentes propósitos. Este diagrama tiene la función  $\Phi = f(CH)$ , donde muestra la cantidad de humedad removida desde el material secado por unidad de tiempo por unidad de superficie secada.

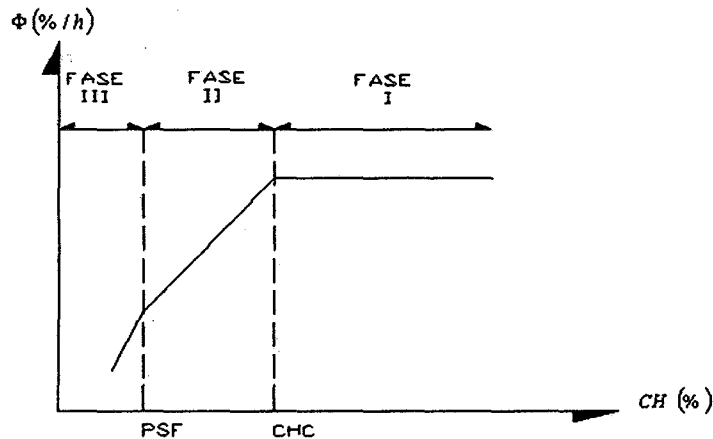
$$\Phi = -\frac{m\Delta CH}{A\Delta t}$$

O como:

$$\Phi = \frac{\Delta CH}{\Delta t}$$

Teóricamente la velocidad del secado de la madera puede ser representada por 3 periodos o etapas de secado (Figura 5).

Figura 5: Curva velocidad de secado de la madera



(Fuente: Vallejos, 2003)

El primer periodo o etapa (Fase I) se observa al inicio del secado a partir de un contenido de humedad elevado, con velocidad de secado constante, depende de las condiciones del ambiente ( $T$ ,  $v$ ,  $HR$ ), en donde la temperatura incrementa la velocidad de evaporación del agua desde la superficie de la madera, y por otra parte, estimula también el flujo interno de humedad; el desplazamiento del aire y por ende su

velocidad, facilitan la evacuación del aire húmedo, permitiendo poner en contacto nuevamente la superficie de la madera, con aire de mayor capacidad secante y la humedad relativa, índice del grado de saturación del aire, determinara la mayor o menor capacidad secante del ambiente (Vallejos, 2003).

En esta etapa predominan fenómenos de transferencia de calor y evaporación superficial, es decir, la evaporación ocurre en la superficie de la madera y todo el calor aportado se utiliza para evaporar el agua. La temperatura y la presión de vapor en la superficie corresponden a la TH (temperatura en el bulbo húmedo) y a la presión de saturación respectivamente. El movimiento interno de agua líquida llega hasta superficie de la madera donde se evapora. Esta etapa constante finaliza cuando aparecen zonas secas en la superficie de la madera. El contenido de humedad en esta condición se denomina contenido de humedad crítico, donde más allá de este punto la temperatura de la superficie de la madera tiende a ser la temperatura del ambiente. La segunda etapa (Fase II), corresponde a la primera parte de la etapa de secado con velocidad de secado decreciente. Este periodo puede durar un tiempo mayor que el de la etapa anterior, aunque la cantidad de agua removida es menor. Con algunas zonas secas en la superficie de la madera, la presión de vapor se hace inferior a la de saturación y la temperatura aumenta, alejándose de la temperatura de bulbo húmedo, a la cual tendió en la primera etapa (Vallejos, 2003).

La velocidad de secado por unidad de superficie total, disminuye en forma lineal, hasta que la superficie de la madera se seca completamente, producto de que la velocidad de evaporación superficial, supera la velocidad de transporte de humedad desde el interior. De lo anterior se tiene la presencia de dos zonas, una superficial en el dominio higroscópico, donde la migración de humedad está regida por la difusión de vapor y agua líquida y un interior el resto agua libre migra por capilaridad (Vallejos, 2003).

La etapa a velocidad de secado decreciente implica el surgimiento de un frente de evaporación por debajo de la superficie el cual se desplaza hasta el centro de la madera. Ciertas evidencias experimentales dejan bastantes dudas sobre la presencia de este frente de evaporación para el caso del secado bajo vacío. Cuando toda la madera queda bajo el rango higroscópico (Fase III), nace teóricamente la tercera etapa de secado,

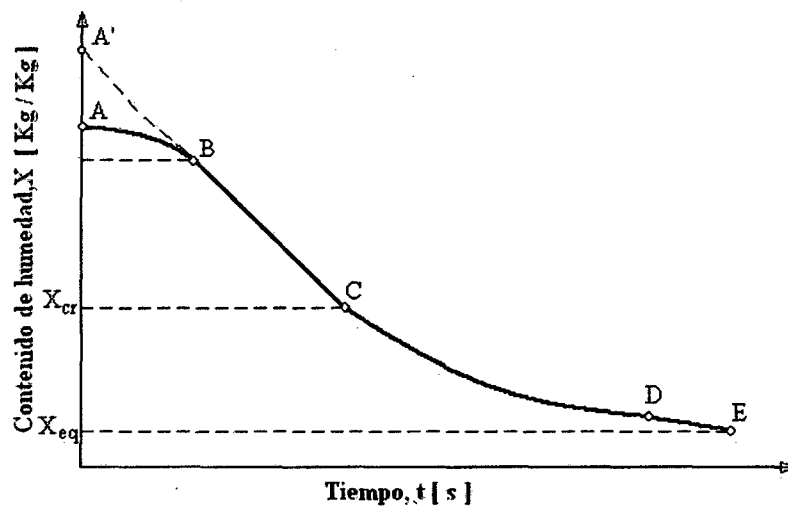
correspondiente a la segunda parte de la etapa de secado decreciente. En esta última etapa el secado es gobernado por el movimiento difusional, para el caso del secado convencional y el movimiento convectivo (permeabilidad) juega un rol importante en el caso del secado bajo vacío (Vallejos, 2003).

### Curva de Secado

Este tipo de curva nos muestra el contenido de humedad a través del tiempo en el proceso de secado. En el periodo inicial de secado, el cambio de humedad en el material está ilustrado en la curva A-B. Al terminar este primer periodo el secado toma una forma lineal del tipo  $X = f(t)$ , en este periodo la velocidad de secado es constante (recta B-C). El secado se mantiene igual por un periodo de tiempo hasta que llega a un punto crítico (Punto C) donde la línea recta tiene a curvarse y a formar una asíntota con el contenido de humedad  $X_{eq}$  donde es el valor mínimo de humedad en el proceso de secado esto quiere decir que el punto E jamás es tocado.

La recta (B-C) es llamado el periodo de velocidad de secado constante, y al siguiente periodo de secado se conoce como el periodo de caída de velocidad del secado (Dávila, 2004).

Figura 6: Curva de secado



#### **2.2.14. Parquet**

El parquet son pavimentos pegados artísticos y se fabrican a base de maderas nobles de variados coloridos para poder combinarlos; se pueden formar infinidad de dibujos.

Es un producto hecho de madera en la cual es usado para acabados de la construcción específica para el diseño de interiores.

Según el tamaño de los parquets, se dividen en:

Parquet mosaico, el tamaño de la madera es muy pequeño

Lamparquet, son láminas de maderas de dimensiones mayores a los anteriores

Industriales, destaca por su grueso. También es destacable su colocación, en donde la madera queda situada decanto.



## **CAPÍTULO III: METODOLOGÍA**

### **3.1. MATERIALES**

#### **a) Lugar de ejecución: Aserradero Forestal Río Piedras S.A.C:**

Está ubicado en el kilómetro km. 1,8, en el margen derecho carretera a la Cachuela, distrito Tambopata, provincia de Tambopata, Departamento de Madre de Dios, es una empresa que realiza la transformación primaria de la madera, entre sus principales productos están las tablillas pre-parquet de maderas duras; el área del aserradero tiene una extensión de 4,62 ha, tiene dos plantas de aserrío de la madera (planta 1 y planta 2), tres hornos o cámaras de secado y la planta de cepillado que es el último proceso para el producto final.

#### **b) Materiales y equipos:**

##### **b.1) Materiales de ejecución:**

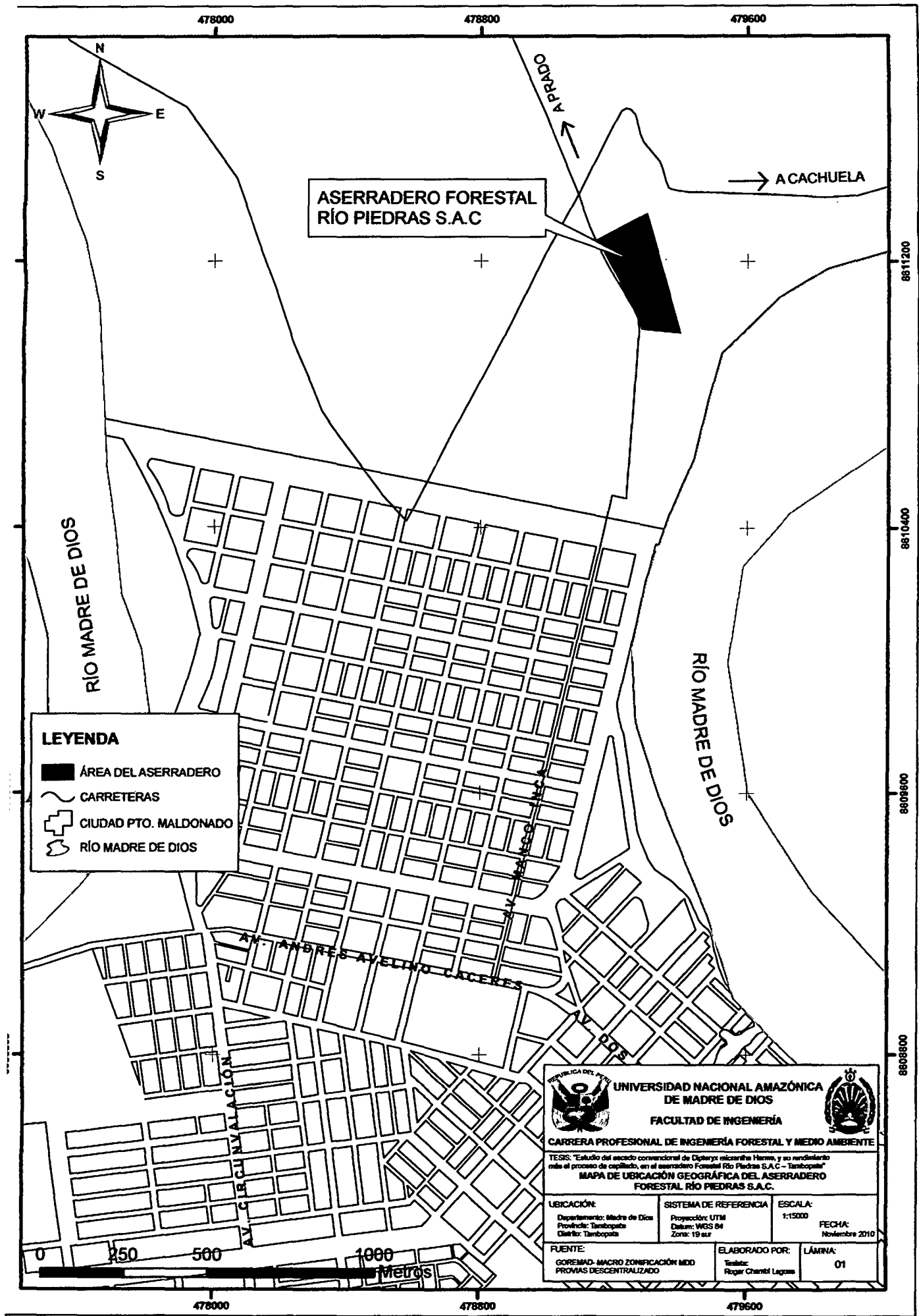
###### **Madera:**

Se trabajó con madera aserrada de Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms) de la empresa Forestal Río Piedras S.A.C. correspondiente al producto “tablillas”, esta madera es obtenida de trozas extraídas de los consolidados Otorongo y Chullachaqui, que son agrupaciones de concesiones forestales, dichos consolidados son administrados por la empresa Forestal Río Piedras S.A.C.





###### **Equipos para el secado:**


El equipo utilizado fue una cámara un horno convencional de las tres que posee la empresa Forestal Río Piedras S.A.C ubicado en el mismo aserradero, es de marca SECEA construida de aluminio, con una capacidad bruta de 100 m<sup>3</sup> y capacidad neta de 30000 pt. Su flujo bidireccional es en un rango de 2,5 a 3,5 m/s, y sus temperaturas pueden ser reguladas llegando hasta los 80°C como temperatura máxima, funciona a

Figura 7: Ubicación Geográfica del Aserradero Forestal Río Piedras S.A.C



**LEYENDA**

-  ÁREA DEL ASERRADERO
-  CARRETERAS
-  CIUDAD PTO. MALDONADO
-  RÍO MADRE DE DIOS


**UNIVERSIDAD NACIONAL AMAZÓNICA DE MADRE DE DIOS**  
 FACULTAD DE INGENIERÍA  
 CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y MEDIO AMBIENTE

TESIS: "Estudio del estado convencional de Dipteris micrantha Hieron. y su rendimiento más el proceso de capilado, en el aserradero Forestal Río Piedras S.A.C - Tambopata"  
**MAPA DE UBICACIÓN GEOGRÁFICA DEL ASERRADERO FORESTAL RÍO PIEDRAS S.A.C.**

<b>UBICACIÓN:</b> Departamento: Madre de Dios Provincia: Tambopata Distrito: Tambopata	<b>SISTEMA DE REFERENCIA</b> Proyección: UTM Datum: WGS 84 Zona: 19 sur	<b>ESCALA:</b> 1:15000 <b>FECHA:</b> Noviembre 2010
<b>FUENTE:</b> GOBEMAD- MACRO ZONIFICACIÓN MED PROVINAS DESCENTRALIZADO	<b>ELABORADO POR:</b> Tesis: Roger Chantel Legras	<b>LÁMINA:</b> 01

base de un caldero de agua cuyo combustible son desperdicios de trozas y madera aserrada desechada, tiene 6 ventiladores por cámara.

Posee un sistema computacional o software computacional llamado ALADIN para el control del secado.

#### **Máquinas y equipos para el cepillado:**

El cepillado se realizó una vez secada la madera, la empresa tiene una planta destinada para este proceso, a continuación se describen las máquinas y/o equipos que se utilizan:

- **Cepilladora.**

De marca Extend Light Machinery Co Ltd, posee dos motores que accionan las cuchillas superior e inferior respectivamente, estos son de marca Seing, tienen una potencia de 40 HP y 1720 rpm; también posee un motor de uñas de presión de marca Seing, que tiene una potencia de 5 HP, 860 rpm; un motor de regulación de apertura de entrada de la misma marca con una potencia de 1HP, 1120 rpm.

- **Despuntadoras**

Son dos de marca Extend Light Machinery, el disco de corte es de 18" de diámetro, el motor de marca Súper electric COL, tiene una potencia de 10 HP, revoluciona a 3450 rpm.

- **Canteadora Múltiple**

Es una máquina recientemente adquirida, realiza cortes múltiples a la madera, en el canteado de las piezas cepilladas realiza cortes en ambos cantos simultáneamente, se emplean discos de 10" de diámetro, ésta acoplado a un sistema de evacuación de aserrín mediante aspiración.

#### **Materiales y equipos para el control del secado y evaluación de defectos.**

- Sierra disco pequeña
- Estufa
- Balanza analítica
- Higrómetro de pines
- Vernier
- Wincha métrica

- Regla con precisión al milímetro
- Mesa de clasificación
- Cámara fotográfica
- Formatos para toma de datos
- Tableros de apuntes
- Bolsas plásticas y ziploc.

**b.2) Materiales de Gabinete:**

- Un millar de papel
- Folders
- Computadora
- Materiales de escritorio
- Calculadora
- Impresora

### **3.2. MÉTODOS**

El tipo de trabajo de investigación es básico aplicado y el método es descriptivo y explicativo. El estudio se realizó a escala industrial llevándose a cabo dos ensayos, consistió en someter las piezas de Shihuahuaco (*Dipteryx micrantha* Harms) a dos programas de secado distintos para cada ensayo, estos programas son los que utiliza la empresa para secar la madera; se registraron las condiciones ambientales del horno y la evolución del CH% de la madera; se evaluaron las tensiones de la madera en el secado mediante probetas tenedor; se determinó los gradientes de humedad promedios mediante probetas estratificadas; se determinó la contracción en el ancho, espesor y volumétrica de la madera; se evaluaron los defectos de secado determinando la calidad y condiciones de secado, lo cual permitió evaluar el programa de secado; posterior al secado, las piezas se sometieron al proceso de cepillado, determinándose el rendimiento en los procesos de secado y cepillado; a continuación se detalla la metodología:

### 3.2.1. Tamaño de muestra y población

El estudio se realizó en dos secados, evaluándose dos cargas.

En el primer secado el volumen ingresado fue de 73,56 m<sup>3</sup> (31172,26pt) conformada por 24203 piezas de madera.

En el segundo secado el volumen ingresado fue de 79,51 m<sup>3</sup> (33696,23 pt) conformada por 27131 piezas de madera.

El tamaño de la población en piezas para el primer y segundo secado fue de 24203 y 27131 piezas respectivamente, y el tamaño de muestra para el estudio del comportamiento de la madera en el secado (muestra de secado) se obtuvo mediante la siguiente fórmula basada en función al nivel de error, variabilidad y nivel de confianza:

$$n = \frac{N p q Z^2}{E^2 (N-1) + Z^2 p q} \quad \dots\dots Ecuación 1$$

Donde:

N: Tamaño de la población

P: proporción de éxito o variabilidad positiva = 0,5 \*

q: Variabilidad negativa = (1 - p)

E: Error muestral = 0,05

Z = 1,96 (nivel de confianza al 95%)

\* El valor de 0,5 se le da cuando se desconoce la variabilidad.

Reemplazándose los valores en la anterior fórmula se obtuvo que el tamaño de muestra para el primer secado es de 378 piezas, y de 379 piezas para el segundo secado, las piezas fueron de dimensiones 25mm x 130mm x 920mm (medida técnica de 1 in x 5 in x 3 ft), distribuidas igualmente en 3 paquetes ubicadas al azar en el nivel inferior, medio y superior del castillo que forma la carga, estas piezas se destinaron a la identificación, cuantificación y medición de defectos de secado para la determinación de la calidad y condiciones de secado.

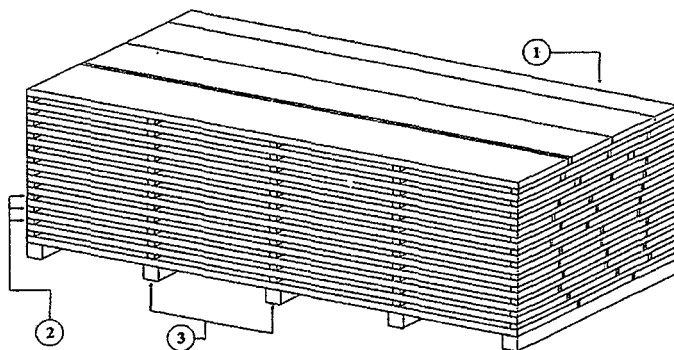
Para el control de secado se destinaron 12 piezas testigo (muestra de control), tomando como referencia a BOLFOR (1998), que señala que por cada 8500 pt se toman 4 muestras como mínimo para el control de secado, de estas mismas muestras se obtuvieron las probetas tipo tenedor para las tensiones y probetas estratificadas para el gradiente de humedad.

### 3.2.2. Preparación de la carga

#### 3.2.2.1. Apilado horizontal de la madera

El apilado horizontal de la madera se realizó de acuerdo al procedimiento y normativa de la empresa que toma en consideración las pautas descritas en la Norma Técnica Peruana NTP 251.134 (Apilado horizontal de la madera), la cual indica que la madera debe clasificarse antes de ser apilada, agrupándose según el largo y espesor de las tablillas. El apilado de las tablillas fueron en paquetes de 21 corridas o camas, con un ancho de 1,10 m y una altura de 1,20 m, cada paquete es armado con tablillas de una sola medida, los listones separadores de la misma especie, secos libre de torceduras y rajaduras de sección 22mm x 22mm, la distancia entre estos fueron de una máximo de 60 cm.

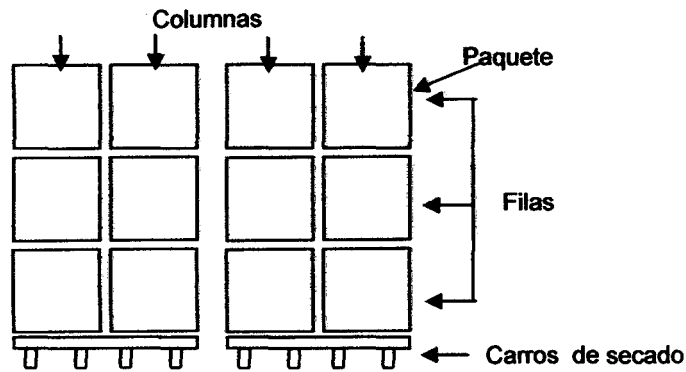
Figura 8: Elementos que conforman un paquete.



1. Madera aserrada, 2. Listones separadores, 3. Travesaños

La carga para el primer secado estuvo formada por 79 paquetes, y para el segundo secado por 80 paquetes, encastilladas en 4 columnas de paquetes y 3 niveles o filas, cada nivel separado por travesaños.

Figura 9: Vista transversal de la disposición de paquetes que forman la carga



### 3.2.2.2. Las piezas

Las piezas que conformaron las cargas para este estudio corresponden al producto “tablillas”, estas piezas son de corte del tipo tangencial, radial y oblicuo, sus dimensiones técnicas son las siguientes:

Cuadro 1: Dimensiones de corte de las piezas:

Dimensiones de corte de las piezas.		
Espesor (in)	Anchos (in)	Largos (ft)
1	3	1,5
		2
	3,25	2,5
		3
	4	5
		6
	5	7

Fuente: Elaboración propia

Las dimensiones mostradas en el cuadro 1 corresponden a medidas técnicas de corte que con fines prácticos se emplean por la empresa para el aserrío y cubicación, por tanto no son las medidas reales de las piezas.

La combinación de todas estas distintas medidas en espesor, ancho y largo, hacen en total 28 escuadrías diferentes de tablillas, antes de entrar la carga al horno se hallaron las medidas promedios reales de la piezas, se registraron todas las pilas (paquetes) de madera y se contabilizaron las piezas por medidas para saber exactamente el número total de piezas y por tanto el volumen entrante.

### 3.2.3. Los programas de secado.

La empresa Forestal Río Piedras emplea varios programas de secado, dependiendo el empleo de uno u otro del espesor, especie y CH% inicial de la carga; en sí los programas de secado para la misma especie con el mismo espesor de piezas son muy similares. En el presente estudio se aplicarán dos programas de secado (uno por cada ensayo), siendo éstos los más representativos y utilizados por la empresa Forestal Río Piedras S.A.C para el secado de tablillas de Shihuahuaco, los valores de las variables de ambos programas de secado se describen a continuación:

Humedad final: <10% Humedad inicial: >60%

Temperatura inicial: 48 °C Temperatura final: 55 °C

Velocidad del aire: Rango de 2,5 a 3,5 m/s

Los programas de secado aplicados para el “ensayo 1” y “ensayo 2” respectivamente son los siguientes:

Cuadro 2: Programa empleado para el ensayo 1.

ETAPA	DURACIÓN	CH%	T (°C)	CHE%	GS	VENTILA %
Calefacción			48	22		80
Acondicionamiento	8		48	22		80
Secado		60	48	11,5	2,4	80
Secado		50	50	10,5	2,7	80
Secado		40	50	10	2,8	80
Secado		35	52	10	2,8	80
Secado		30	52	10	2,8	80
Secado		25	52	9,8	2,6	70
Secado		20	55	8,8	2,3	70
Secado		15	57	7,5	2	80
Secado		10	62	6,2	1,6	65
Secado		5	65	6	0,8	65
Acondicionamiento	12		65	8		65
Enfriamiento			55			50

Fuente: Forestal Río Piedras S.A.C



Cuadro 3: Programa empleado para el ensayo 2.

ETAPA	DURACIÓN	CH%	T (°C)	CHE%	GS	VENTILA %
Calefacción			48	22		80
Acondicionamiento	8		48	22		80
Secado		60	48	11,5	2,4	80
Secado		30	50	15	1,9	80
Secado		50	50	11	2,5	80
Secado		40	50	10,5	2,7	80
Secado		35	52	10	2,8	80
Secado		30	55	10	2,8	80
Secado		25	57	8,5	2,9	70
Secado		20	57	7,5	2,7	70
Acondicionamiento	10		60	10		80
Secado		15	60	6,5	2,3	80
Secado		10	62	6,2	1,6	65
Secado		5	65	5,8	0,9	65
Acondicionamiento	12		62	9		65
Enfriamiento			55			50

Fuente: Forestal Río Piedras S.A.C

Donde:

Duración: Duración de la etapa en horas.

CH%: Contenido de humedad de la madera en porcentaje.

T°: Temperatura dentro de la cámara en °C.

CHE%: Contenido de humedad de equilibrio de la cámara en porcentaje.

GS: Gradiente de secado.

Ventila%: Poder de ventilación en porcentaje.

### 3.2.4. Control del proceso de secado

Se realizaron controles antes, durante y después del secado.

En la parte superior del castillo se colocaron los sobre pesos para disminuir la formación de alabeos y asegurar la calidad del secado.

Durante el proceso de secado se registró del software cada seis horas la temperatura, el contenido de humedad de equilibrio de la cámara, y el contenido de humedad de la madera detectada por sondas colocadas en 8 piezas testigo.

El contenido de humedad inicial se determinó mediante la obtención de dos probetas de 1" de ancho de cada una de las 12 muestras testigo (muestra de control), las probetas son cortadas a 30 cm de los extremos, y se someten al procedimiento descrito en la Norma Técnica Peruana para la determinación del contenido de humedad (NTP 251.010.1980) la cual consiste en pesar las probetas en una balanza electrónica, para posteriormente ser llevadas a la estufa con el fin de obtener su peso seco (anhidro) constante y mediante la fórmula de contenido de humedad se realiza el cálculo de éste de cada una de las probetas.

$$CH\% = \frac{P_G - P_O}{P_O} \times 100 \quad \dots\dots Ecuación 2$$

Fuente: JUNAC, 1989

Donde:

CH: Contenido de humedad de la madera (%)

P<sub>G</sub> : Masa inicial de la madera (g)

P<sub>O</sub> : Masa de la madera en estado anhidro (g)

Una vez conocida la humedad media de cada testigo (en base al promedio de las humedades obtenidas de las dos probetas) y el peso húmedo de la zona restante del testigo, se determina el peso seco que tendría esta zona central.

$$Peso\ seco = \frac{Peso\ húmedo}{\frac{CH\%}{100} + 1} \quad \dots\dots Ecuación 3$$

Fuente: Pedras, 2005

Así la evolución de la humedad de cada testigo se determina refiriendo el peso diario al peso seco calculado mediante la ecuación 3, expresando el contenido de humedad en % (Pedras, 2005).

Las operaciones realizadas al final del proceso para cada ensayo fueron pesos de las piezas de muestra de control para determinar el contenido de humedad final promedio de cada una de ellas y la obtención de probetas de estas muestras de control para determinar su CH% (según el procedimiento en NTP 251.010.1980) y conocer la humedad final de la carga, además mediciones de los alabeos y grietas de las piezas que forman la muestra de secado con el fin de evaluar el programa de secado empleado,

también se obtuvieron las probetas estratificadas y probetas tenedor de las muestras de control para conocer la gradiente de humedad y las tensiones originadas en el secado.

### 3.2.5. Cinética del secado convencional

La cinética del secado de madera, es la representación de la evolución de las condiciones ambientales y de la madera en el transcurso del secado; la expresión gráfica de la cinética del secado son las curvas de secado:

- a) Contenido de humedad de la madera *contra* tiempo de secado, llamada propiamente curva de secado.
- b) Velocidad de secado *contra* contenido de humedad de la madera, llamada curva de velocidad de secado.

Para la realización de estas curvas se registró cada 6 horas las condiciones ambientales (Humedad de equilibrio, temperatura) dentro del horno, y se pesaron diariamente las 12 muestras testigo en una balanza de precisión de 0,1 gramos y mediante las ecuaciones 2 y 3 se determinaron el CH% diarias de estas muestras; la velocidad de secado experimental para cada dato de CH% se obtuvo empleando la siguiente fórmula:

$$\Phi_{\text{exp}} = \frac{\Delta\text{CH}}{\Delta t} \quad \dots\text{Ecuación 4}$$

Donde:

Fuente: Vallejos, 2003

$\Delta\text{CH}$ : variación del contenido de humedad (%).

$\Delta t$ : intervalo de tiempo (h).

$\Phi_{\text{exp}}$ : Velocidad de secado experimental

Para la modelación de la cinética de secado se escogieron las ecuaciones matemáticas de las regresiones que más se ajustaron a las curvas de secado, estas regresiones se hicieron con la ayuda del programa Microsoft Excel 2007.

### 3.2.6. Contracción de la madera

Se determinó la contracción en el ancho, en el espesor y volumétrica de las piezas que forman la muestra de secado; para esto antes de secar la madera se realizaron mediciones iniciales del ancho y espesor de las piezas, marcando exactamente las zonas de medición, al finalizar el secado se midieron nuevamente las piezas en la misma zona de la primera medición. Se identificó también el tipo de corte de cada pieza.

No se realizó la medición longitudinal porque la contracción longitudinal no es significativa siendo despreciable para la contracción volumétrica.

La contracción en el ancho y espesor se relaciona a la contracción radial y tangencial según el tipo de corte de la pieza, en las piezas radiales el ancho va en la dirección radial, y el espesor va en la dirección tangencial, así la contracción en el ancho (Ca) corresponde a la contracción radial ( $\beta_r$ ), y la contracción en el espesor (Ce) corresponde a la contracción tangencial ( $\beta_t$ ); en el caso de las piezas tangenciales la relación es inversa.

Para el cálculo de la contracción en el ancho, espesor y volumétrica se emplearon las siguientes fórmulas planteadas por JUNAC (1989):

$$\beta_r, \beta_t \cong Ca, Ce = \frac{d_i - d_f}{d_i} \times 100 \quad \dots \text{Ecuación 5} \quad \beta_v = \beta_r + \beta_t \cong Ca + Ce \quad \dots \text{Ecuación 6}$$

Fuente: JUNAC, 1989

Donde:

Ca, Ce: Contracción en el ancho, espesor, en porcentaje.

$d_i$ : Dimensión inicial en mm.

$d_f$ : Dimensión final en mm.

$\beta_v$ : Contracción volumétrica en porcentaje.

$\beta_r, \beta_t$ : Contracción radial, tangencial, en porcentaje.

La contracción en el ancho, espesor y volumétrica determinado es con fines prácticos para saber la reducción de las dimensiones de las piezas en el secado y calcular la pérdida de volumen por contracción.

### **3.2.7. Calidad del secado y evaluación del programa de secado**

#### **3.2.7.1. Evaluación de defectos de secado.**

Inmediatamente después de concluir el secado se identificaron, cuantificaron y midieron defectos de secado como son los alabeos (acanaladura, torcedura, encorvadura y arqueadura) y grietas superficiales, de las piezas que conforman la muestra de secado, la forma de medición está descrita en la revisión bibliográfica, la evaluación de defectos permitió hallar el índice de alabeos.

#### **3.2.7.2. Cálculo del índice de alabeos**

Para calcular el índice de alabeos se utilizó la metodología aplicada en otros estudios anteriores realizados en Chile por Kauman y Mittak (1966), Muñoz (1972), Bravo (1977), Guerrero e Inzunza (1980), Figueroa (1991), Vallejos (2003), Sepúlveda (2007), y otros. Esta metodología consiste en clasificar cada tablilla en un nivel de clasificación por cada tipo de alabeo, esta clasificación se basa en los valores máximos admisibles para cada nivel descritos por el INN, 1972, el índice de alabeos resulta de la media aritmética de la suma ponderada de los defectos considerados, la suma ponderada es la sumatoria del número de tablillas multiplicada por el factor de intensidad correspondiente al nivel de clasificación.

En el siguiente cuadro se muestra la forma de cómo se evaluaron los alabeos, teniendo como antecedente los valores máximos admisibles descritos por el INN (Instituto Nacional de Normalización) (1972) en la Norma Chilena NCh 993-E Of. 72, ajustado a tablillas de 95 cm. de longitud.

Cuadro 4: Nivel de clasificación de los alabeos (Límites permitidos en mm. para cada nivel según defecto, ajustado a tablillas de 95 cm. de longitud)

Deformaciones (mm)	Nivel de clasificación			
	A	B	C	D
Acanaladura	0	2	4	>4,0
Arqueadura	0	4,8	9,3	>9,3
Encorvadura	0	2	4	>4,0
Torcedura	0	3,5	6,8	>6,8

Fuente: NCh 993-E Of.72

Donde:

Niveles	Intensidad
A = sin alabeo	0
B = alabeo leve	0,5
C = alabeo leve – fuerte	1
D = alabeo intenso	1,5

Fuente: Figueroa, 1991

Así entonces, en base al cuadro 4, se calculó el índice de alabeos mediante la simple expresión:

$$IA = \frac{nA \times 0 + nB \times 0.5 + nC \times 1 + nD \times 1.5}{N} \quad \dots\dots Ecuación 7$$

Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- IA : Índice de alabeos
- nA : Número de piezas sin alabeo
- nB : Número de piezas con alabeo leve
- nC : Número de piezas con alabeo leve - fuerte
- nD : Número de piezas con alabeo intenso
- N : Número total de piezas evaluadas

### 3.2.7.3. Determinación de la calidad y condiciones de secado:

Para la determinación de la calidad de la madera obtenida y poder evaluar el programa de secado, se empleó la metodología utilizada por muchos investigadores como: Muñoz (1972), Bravo (1977), Guerrero e Inzunza (1980), Figueroa (1991), Vallejos (2003), Sepúlveda (2007), y otros; la cual se basa en el índice de alabeos, el valor del índice obtenido determinó en base al cuadro 5 la calidad y condiciones de secado.

La siguiente tabla muestra el sistema utilizado para determinar la calidad y condiciones del secado.

Cuadro 5: Determinación de la Calidad y Condiciones de secado

<b>CALIDAD DEL SECADO</b>	<b>INDICE</b>	<b>CONDICIONES DE SECADO</b>
Excelente Muy buena Buena	0 0,0 a 0,50 0,51 a 1,00	Adecuadas
Regular Menos que regular	1,01 a 1,50 1,51 a 2,00	Poco adecuadas
Defectuosa Mala Muy mala	2,01 a 3,0 3,01 a 5,0 Más de 5,0	Inadecuadas

Fuente: Figueroa, 1991

### 3.2.8. Evaluación del comportamiento de la humedad y tensiones en la madera

Para saber cómo es el comportamiento de la humedad y de las tensiones dentro de la madera se preparó las probetas estratificadas para la gradiente de humedad y las probetas de tenedor para las tensiones.

Para esto después de concluido el secado de la carga de madera, se cortan tres secciones (probetas) de 1 in de cada una de las 12 muestras testigo. Estas probetas se

destinan a las pruebas finales de contenido de humedad promedio, para la distribución de la humedad periférica y del centro de la tabla, y para las pruebas de tensión en la madera (pruebas de tenedor) (BOLFOR, 1998).

Las secciones deben ser cortadas a una distancia de por lo menos 15 cm del extremo de las muestras de secado. Los detalles de tipo de corte y tamaño de las secciones son mostradas en la figura 10 y 11.

Figura 10: Probeta Estratificada

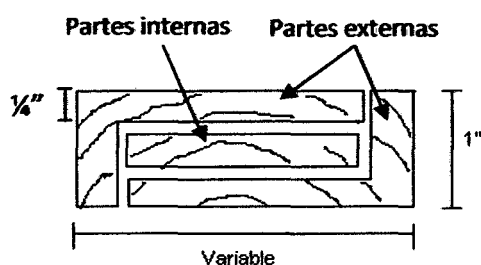
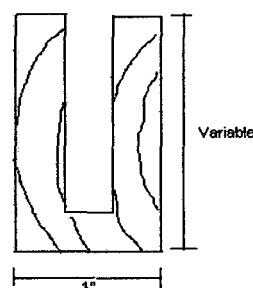


Figura 11: Probeta de Tenedor



La evaluación de la distribución de humedad de las probetas estratificadas se realizó de acuerdo al procedimiento indicado por JUNAC (1989), se pesan separadamente las partes externas, internas obtenidas de la probeta, luego se llevan a una estufa a  $103 \pm 2$  °C hasta alcanzar su peso seco al horno, con los datos del peso inicial y peso seco al horno se calculan los contenidos de humedad correspondientes a las dos diferentes partes de la sección transversal de la pieza, cuando el secado ha sido normal, incluyendo el periodo de acondicionamiento, las diferencias de humedad entre la partes externas y central no deben ser significativas (no mayores a 20%), en caso contrario, se presentarán deformaciones cuando la madera sea reaserrada.

La evaluación preliminar y final de las pruebas de esfuerzos o tensiones (pruebas de tenedor) de la madera se realizaron según JUNAC (1989), y la guía de BOLFOR (1998), para evaluar tensiones de secado:

Si al momento del corte, las pinzas externas del tenedor se curvan hacia adentro esto es una indicación de que la madera tiene esfuerzos de compresión en la superficie de la pieza y de tracción en el interior. El tratamiento de acondicionado debe continuar.



Si las pinzas se mantienen rectas o muy ligeramente curvadas hacia afuera, la madera está prácticamente libre de esfuerzos y el secado se da por concluido.

Finalmente, si las pinzas del tenedor se curvan visiblemente hacia afuera, los esfuerzos se han invertido, la superficie de la pieza está bajo tracción y el interior en compresión. Esto indica un exceso de humedad de la madera durante el acondicionamiento.

Las conclusiones finales de las pruebas de tensiones o esfuerzos de la madera se dan después de 24 horas que los tenedores y las tablas se han mantenido bajo techo o en un cuarto y se puede observar que:

Las pinzas exteriores del tenedor se han torcido considerablemente hacia adentro; lo que indica que el material todavía presenta tensiones por distribución irregular de la humedad y el tratamiento de acondicionamiento de la próxima carga del mismo tipo de material debe prolongarse por más tiempo.

Las pinzas exteriores del tenedor están rectas; la madera está libre de tensiones. El secado fue correctamente ejecutado y las próximas cargas deben tener el mismo tiempo de acondicionamiento.

Las pinzas exteriores del tenedor se han torcido hacia afuera; el material ha tenido una inversión de tensiones. La próxima carga de un material similar deberá ser acondicionada a una humedad relativa más baja o durante un tiempo más corto.

### **3.2.9. Determinación del rendimiento en el secado y cepillado**

#### **3.2.9.1. Cepillado y clasificación de la madera**

Después del proceso de secado, se sometieron las piezas al proceso de cepillado; el cepillado es del tipo S2S (cepillado dos caras), algunas deformaciones (alabeos) originadas en el secado desaparecen con éste proceso. Se inicia con el cepillado de las dos caras de las piezas a un espesor de 19 mm después pasa por un clasificado inicial, donde se seleccionan tablillas de calidad A, calidad B y tablillas para ser rectificadas con el despuntado y canteado a dimensiones menores que eliminen los defectos detectados, obteniendo tablillas de calidad A y B.

La clasificación se realizó de acuerdo a la evaluación rápida de defectos de secado (alabeos, grietas y rajaduras), defectos naturales (picaduras, manchas, nudos, agujeros de gusano, pudriciones, etc.) y defectos de acabado (grano arrancado, arista faltante, falta de cepillo, etc.), los cuales determinan agrupar la madera en 2 niveles o grados de calidad: A y B.

A continuación se muestra las especificaciones para la clasificación de las tablillas.

Cuadro 6: Especificaciones para la clasificación

Defectos	Descripción	Tolerancias	
		Calidad A	Calidad B
<b>Defectos de secado</b>			
Arqueadura	Serán permitidas solo si su arco es uniforme y si la pieza no pierde su flexibilidad, para topar completamente la cara cóncava sobre una base recta. La arqueadura convexa debe ser favorable a la cara buena caso contrario se tiene que partir la pieza para perder dicha arqueadura.	2 mm.	4 mm.
Encorvadura	Se permiten sólo en materia prima sin rectificar y la encorvadura debe ser inferior a la sobre medida de pase que tiene la madera para poder ser rectificada. En casos de encorvaduras superiores a la sobre medida de pase para el rectificado se tendrá que partir la pieza en dos, por la parte de mayor encorvadura para así poder reducir al mínimo dicha encorvadura.	4mm.	4mm.
Torcedura o reviradas	En caso de tener piezas con torceduras superiores a las mencionadas tendrán que partir las piezas en piezas más pequeñas hasta desaparecer dichas torceduras o estar en los rangos de torceduras aceptables.	1.5mm.	2mm.
Grietas		No se permiten	No se permiten
Rajaduras		No se permiten	No se permiten
<b>Defectos naturales</b>			
Coloración y manchas		Debe tener color uniforme en la cara buena.	Se permite bicoloraciones y manchas de todo tipo.

Nudos, picaduras, agujeros, estriados	No se permiten nudos abiertos en los cantos por motivos que pueden desprenderse a la hora de maquinarlo y esto puede ocasionar daños a las cuchillas de la máquina, generando pérdidas económicas	Libre de nudos y se permiten picaduras del tipo mosquito en la cara buena; (dos picaduras máximo por pieza con una distancia mínima de 30.00cm entre ellas). Solo en la tras cara sin afectar a la cara buena de la pieza se permiten nudos, estriados, picaduras y pequeños nudos cerrados.	Se permiten pequeños estriados en la parte central de la pieza, picaduras de todo tipo, agujeros de gusano y nudos cerrados sólo si no afectan la estructura de la pieza, y nudos abiertos en los cantos de 1/4 del espesor de la pieza.
Albura		No se permite	Se permiten contenidos de albura hasta un 50% de la pieza
Sílice, aglomeraciones sobresalidas		En la cara buena se permite el sílice sobre salido dentro de las fibras de la madera mas no en aglomeraciones sobresalidas del grano.	Se permiten
<b>Defectos de acabado</b>			
Falta de Cepillo	Se permite sólo si dicho defecto se encuentra en la tras cara y en parte central del largo y ancho de la pieza sin afectar a los cantos ni la estabilidad de la pieza.	Falta de cepillo muy leve en la tras cara (0,25 mm.)	Falta de cepillo leve en la tras cara (0,5 mm.)
Arista Faltante	No se permite en la cara buena bajo ninguna circunstancia. Solo se permite en la tras cara si dicho defecto se encuentra en la parte central de la longitud de la pieza y la longitud del defecto no deberá superar el 30% de la longitud total de la pieza ni afectar la estabilidad de la misma.	No se permite.	Solo en la tras cara hasta 2 mm. de espesor, no se permiten en las puntas
Falta de Cepillo en las puntas	No se permiten en ningun caso	No se permite	No se permite
Grano arrancado		No se permite en la cara buena.	Se permiten en la tras cara
Falta de Canteo	Se permite en un canto siempre y cuando la falta de canteo en el ancho no supere a 1.5 mm y la falta de canteo se encuentre ubicado en la parte central de la pieza y la longitud del defecto no supere el 50% del largo de la pieza y el otro canto esté perfectamente rectificado. La falta de canteo en las puntas se aceptará hasta 1.5 mm de lo especificado en la orden de compra.	Falta de Canteo de 1,5 mm	Falta de Canteo de 1,5 mm.

Fuente: Forestal Río Piedras S.A.C., 2009

Este sistema de clasificación es propio de la empresa y de su cliente Grupo Bozovich. Las piezas cuyos defectos no permiten que sean clasificadas en calidades A o B, son destinadas como leña para el caldero o para la producción de carbón, de estas piezas se calculó su volumen total y se hizo una evaluación de sus defectos presentados, esto con el fin de saber en qué medida los defectos de secado afectan en el rendimiento de la madera en el proceso de cepillado.

### 3.2.9.2. Cálculo del rendimiento

Para este estudio se entiende por “rendimiento en el secado y cepillado” de tablillas de Shihuahuaco a la proporción entre el volumen final correspondiente de las tablillas secas y cepilladas clasificadas en las calidades A y B, y el volumen inicial correspondiente de la carga de madera antes del secado.

Las tablillas secas se someten al proceso de cepillado anteriormente descrito, en este proceso se realizó un seguimiento de todas las tablillas para asegurarnos de que las tablillas que son objeto de estudio no se mezclen con otras que no forman parte de la carga estudiada. Se calculó el volumen de tablillas de calidad A y B (volumen final), y asimismo el volumen de madera desechadas por la presencia de defectos no admisibles.

Así se obtuvo el rendimiento de tablillas por calidades “A” y “B”, y el rendimiento total de tablillas que resulta de la sumatoria de los rendimientos por calidades.

El cálculo matemático del rendimiento por calidades consistió en la solución de la ecuación 8:

$$R = \frac{V_f}{V_o} \times 100 \quad \text{.....Ecuación 8}$$

Donde:

R: Rendimiento (%).

V<sub>F</sub>: Volumen final (m<sup>3</sup>) (tablillas según calidad “A” o “B”).

V<sub>O</sub>: Volumen inicial de la carga a secar (m<sup>3</sup>).

## CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIONES

### 4.1. CINÉTICA DEL SECADO CONVENCIONAL

En las siguientes tablas se muestran un resumen de los resultados de CH% y tiempo de secado de los ensayos:

Cuadro 7: Resumen del secado en el ensayo 1.

Ensayo 1		
CH% promedio	Inicial	16,51
	Final	7,03
Tiempo total de secado (horas)		262,5

Fuente: Elaboración propia

En el ensayo 1 el CH% inicial promedio fue de 16,51% y el final de 7,03%, con un tiempo total de secado de 262,5 horas.

Cuadro 8: Resumen del secado en el ensayo 2.

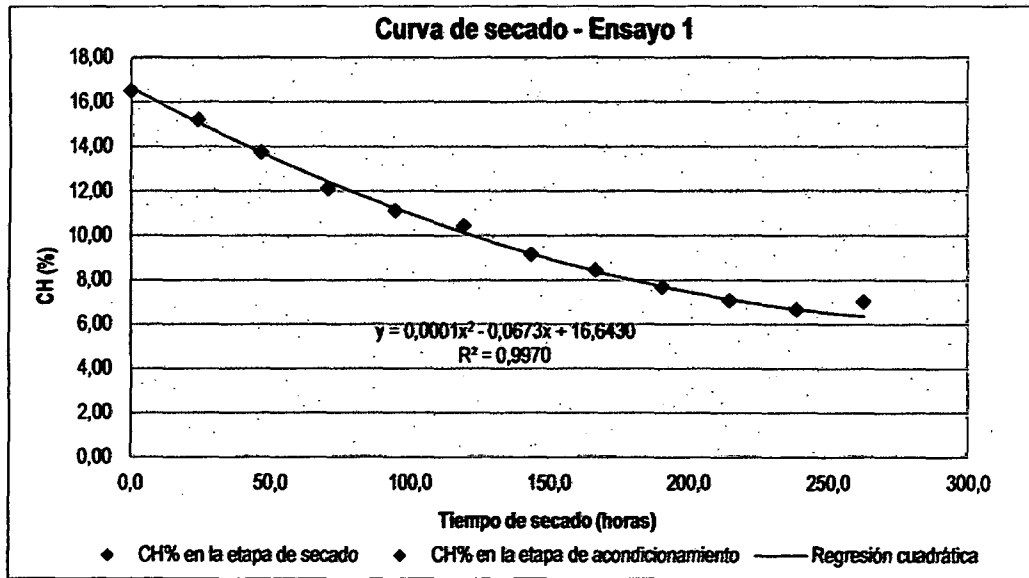
Ensayo 2		
CH% promedio	Inicial	30,52
	Final	6,96
Tiempo total de secado (horas)		403,0

Fuente: Elaboración propia

En el ensayo 2 el CH% inicial promedio fue de 30,52% y el final de 6,96%, con un tiempo total de secado de 403 horas.

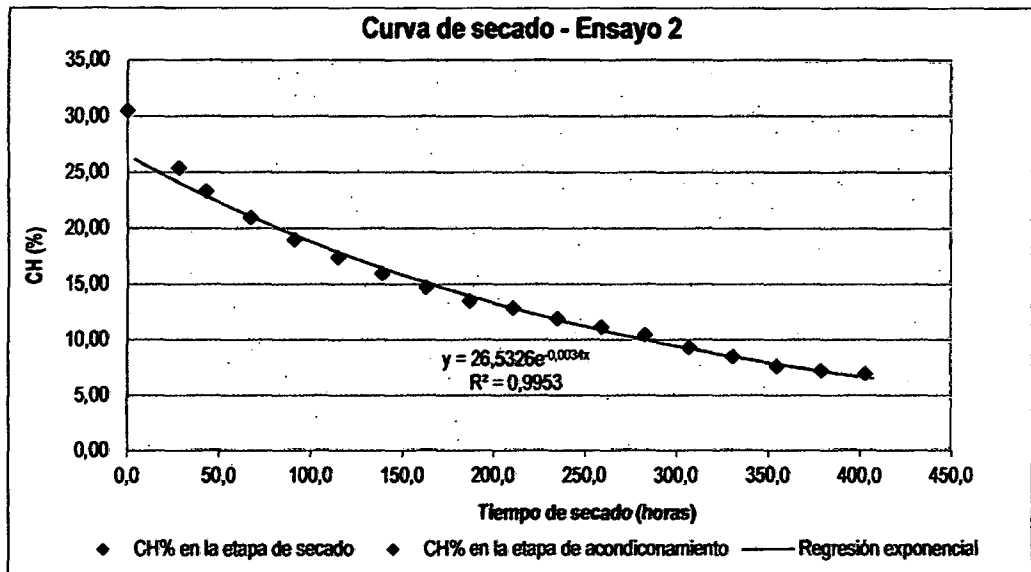
Se observa que el CH% promedio final de ambos ensayos es alrededor del 7%, siendo el CH% óptimo requerido para el producto tablillas de 10 a 12% (Forestal Río Piedras S.A.C), y fundamentándose con los resultados de gradientes de humedad (cuadro 11, pág. 78) en la cual la variación de CH% entre el interior y exterior es menor a 1 %, se puede enunciar que el CH% final es muy bajo e innecesario, pudiendo secarse la madera a CH% del 10%; el secado a humedades finales tan bajas no requeridas generan un mayor tiempo de secado, además de requerir mayor energía calorífica aumentando los costos, esto hace que el proceso de secado sea ineficiente.

Gráfico 1: Curva de secado del ensayo 1.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 2: Curva de secado del ensayo 2.



Fuente: Elaboración propia

En los gráficos 1 y 2 se representan respectivamente para cada ensayo los valores del CH% experimental de la etapa de secado del programa, los valores de CH% extremos (en color azul) son de la etapa de acondicionamiento que no se incluyen en la regresión de los ensayos porque no corresponden a la etapa de secado.

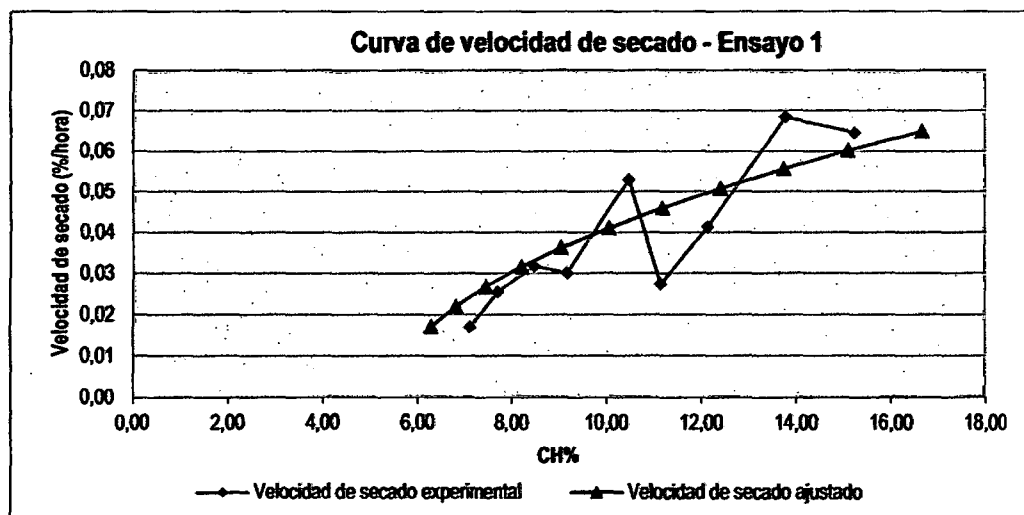
Para el ensayo 1 la curva de mejor ajuste es la regresión cuadrática “ $y = 0,0001x^2 - 0,0673x + 16,6430$ ” con un coeficiente  $R^2$  de 0,997, para el ensayo2 la curva de mejor ajuste es la regresión exponencial “ $y = 26,5326 e^{0,0034x}$ ” con un coeficiente  $R^2$  de 0,995, estas ecuaciones matemáticas son modelos que predicen casi perfectamente el CH% (variable dependiente “y”) en un tiempo determinado (variable independiente “x”).

La predicción matemática del CH% en el tiempo requiere que el término constante de la ecuación se iguale al valor del CH% inicial promedio de la carga, desplazándose entonces la curva, sólo así éstas ecuaciones se pueden aplicar. Entonces es de mucha importancia que el CH% inicial promedio sea determinado de forma precisa, para esto las muestras tienen que ser el mayor número posible (sugiriendo 12 a lo mínimo) y representativas de la carga de secado.

Para efectos de aplicación de estas ecuaciones en la predicción del CH% en el tiempo se sugiere utilizar la ecuación cuadrática del ensayo 1 cuando el CH% inicial promedio de la carga a secar está cercano al contenido de humedad de equilibrio del ambiente del lugar (17% aprox.) y cuando el programa de secado es igual o similar al aplicado en este ensayo.

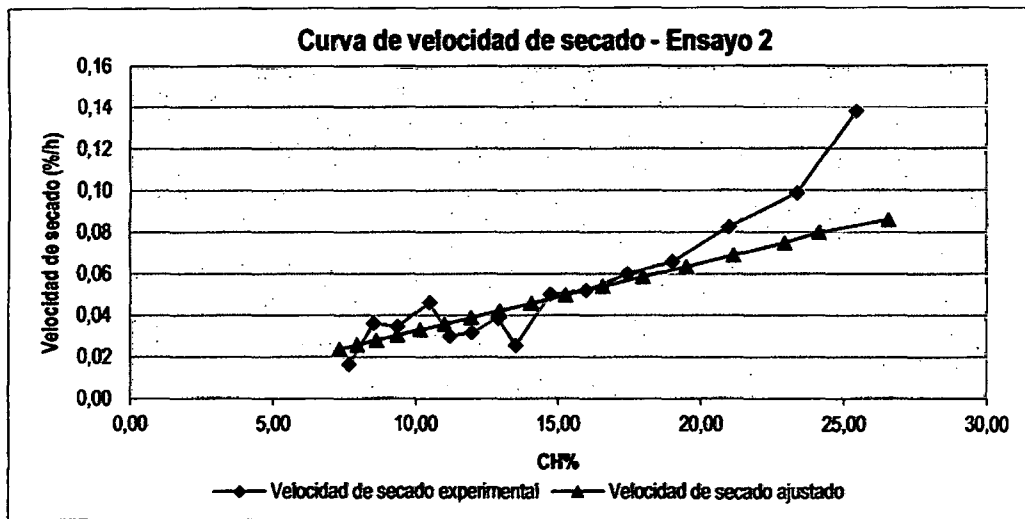
La ecuación exponencial del ensayo 2 se sugiere utilizar cuando el CH% inicial promedio de la carga a secar es cercano al punto de saturación de las fibras (PSF) (30% aprox.) y cuando el programa de secado sea igual o similar al aplicado en este ensayo.

Gráfico 3: Curva de velocidad de secado del ensayo 1.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 4: Curva de velocidad de secado del ensayo 2.



Fuente: Elaboración propia

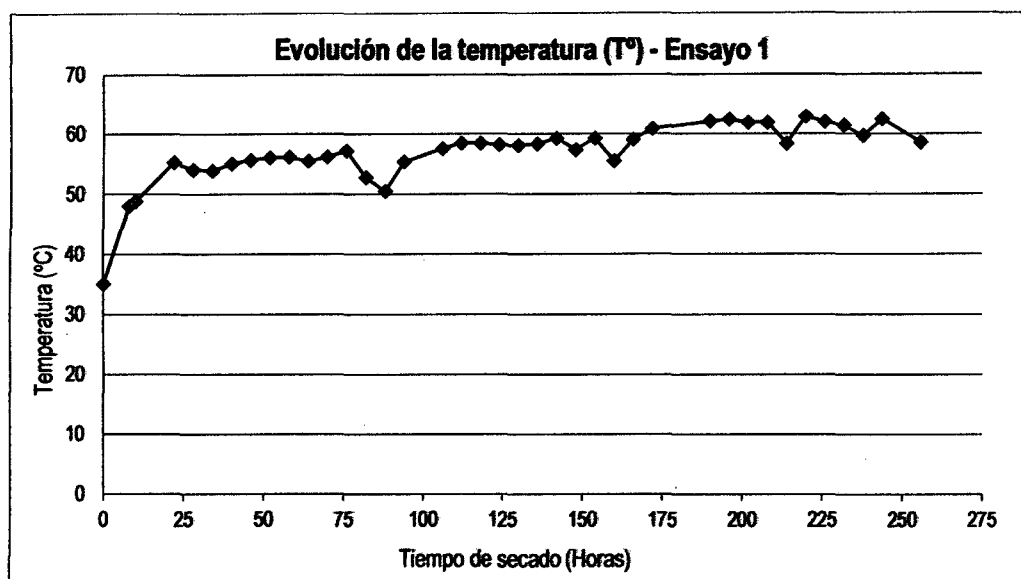
Los puntos en rojo de los gráficos 3 y 4 representan la velocidad de secado experimental (%/h) a cierto CH%, en estas curvas se observa que la velocidad de secado disminuye según el CH% sea cada vez menor, se observa que en algunos puntos estos valores tienden a subir y bajar, pero en ambos ensayos el sentido es decreciente comparando los valores extremos.

Los puntos en azul representan los valores de velocidad de secado a cierto CH% resultante del ajuste a la regresión cuadrática “ $y = 0,0001x^2 - 0,0673x + 16,6430$ ” para el caso del ensayo 1, en el ensayo 2 corresponde al ajuste exponencial “ $y = 26,5993 e^{0,0035x}$ ”. Estos valores ajustados expresan de forma más clara la tercera etapa de secado decreciente teórico (Fase II), que se presenta cuando toda la madera queda bajo el rango higroscópico, para el caso del ensayo 1 se parte de un CH% de 16,51% muy por debajo del PSF (30%) y cercano al CH% de equilibrio del ambiente, en el ensayo 2 se parte de un CH% de 30,52% que se encuentra dentro del PSF.

En el ensayo 1 se comienza con una velocidad de secado ajustado de 0,06 (%/h) decreciendo casi linealmente hasta llegar a una velocidad de 0,02 (%/h), para el ensayo 2 se tiene una velocidad de secado ajustado inicial de 0,09 (%/h) decreciendo casi linealmente hasta llegar a una velocidad de 0,02 (%/h), es así que la curva de velocidad de secado ajustada, muestra claramente que a medida que el CH% disminuye la madera se resiste más a la pérdida de agua, ya que, según Vallejos 2003, en esta última etapa el secado es gobernado por el movimiento difusional.

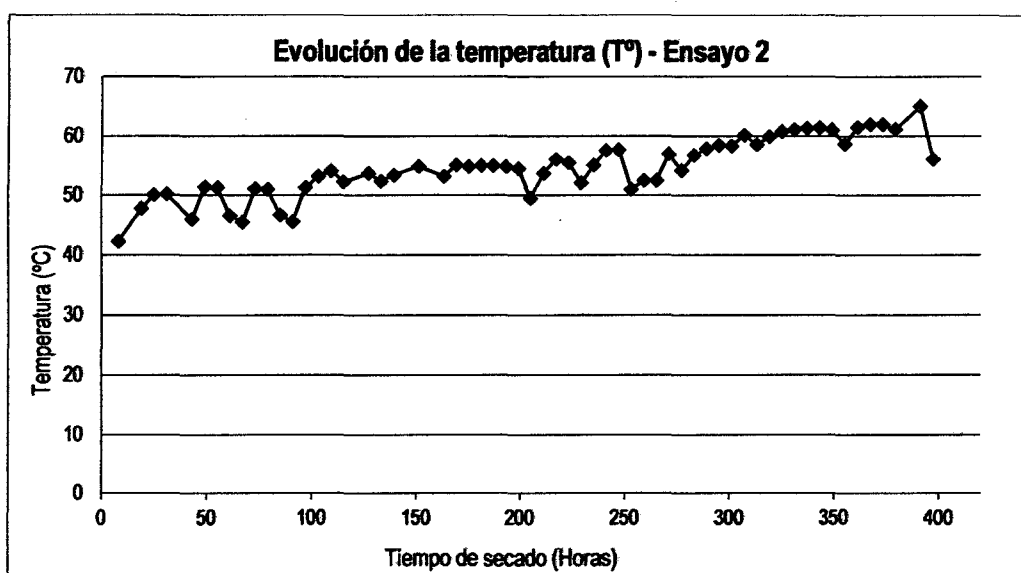


Gráfico 5: Curva de evolución de la Temperatura del ensayo 1.



Fuente: Elaboración propia

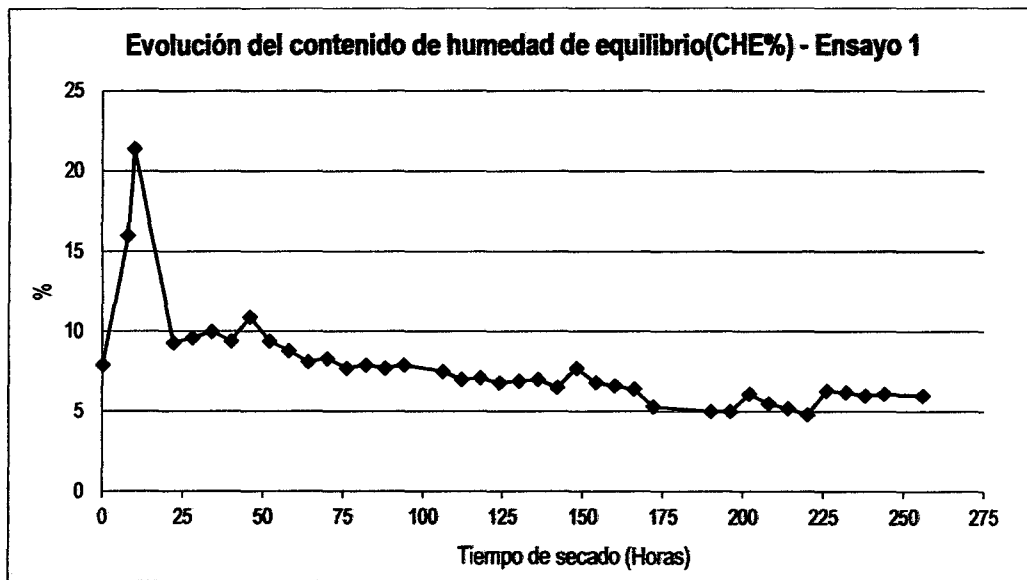
Gráfico 6: Curva de evolución de la Temperatura del ensayo 2.



Fuente: Elaboración propia

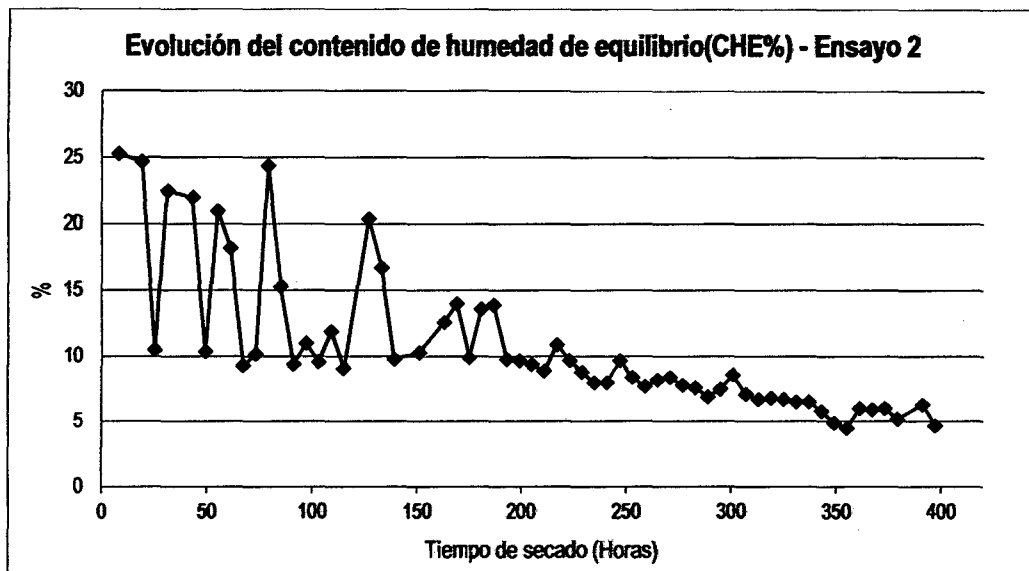
Los gráficos 5 y 6 representan la evolución de la temperatura durante el tiempo de secado de acuerdo al programa de secado fijado para cada ensayo; en ambos ensayos se nota un aumento progresivo de la temperatura en el tiempo, esto claramente se debe a que según progresa el secado la madera necesita cada vez más de mayor energía calorífica para poder lograr el movimiento y evaporación del agua, tal como lo manifiesta Ananías 2009.

Gráfico 7: Curva de evolución del contenido de humedad de equilibrio del ensayo 1.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 8: Curva de evolución del contenido de humedad de equilibrio del ensayo 2.



Fuente: Elaboración propia

Los gráficos 7 y 8 muestran la evolución del CHE% durante el tiempo de secado de acuerdo al programa de secado fijado para cada ensayo, en estos gráficos se observa que el CHE% decrece progresivamente en el tiempo, lo que es muy razonable debido a que éste expresa el punto a donde el CH% de la madera tiende a alcanzar como máximo, siendo necesario entonces un CHE% cada vez más bajo para alcanzar el CH% requerido.

## 4.2. CALIDAD DEL SECADO

### 4.2.1. Alabeos e índices de calidad:

En el cuadro siguiente se muestra los defectos o alabeos que se presentaron en cada ensayo, y cómo influyen estos en el índice final de secado.

Cuadro 9: Índice de calidad, porcentaje de presencia en cada nivel según defecto al final del secado – ensayo 1.

ENSAYO 1						
ALABEO	Nivel de clasificación				Índice de calidad	(%)
	A	B	C	D		
Acanaladura	69,05%	29,89%	1,06%	0,00%	0,16	9,04
Arqueadura	15,61%	64,55%	16,40%	3,44%	0,54	30,40
Encorvadura	13,76%	64,29%	20,11%	1,85%	0,55	31,07
Torcedura	25,66%	49,47%	19,58%	5,29%	0,52	29,50
<b>INDICE DE CALIDAD TOTAL DE SECADO</b>					<b>1,77</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Notamos que en el cuadro 9 al analizar el nivel de presencia de cada uno de los alabeos o deformación que sufre la madera durante el proceso de secado, para el ensayo 1, en acanaladura el porcentaje de piezas sin alabeo (A) es 69,05 %, un 29,89 % con nivel alabeo leve (B), 1,06 % alabeo leve-fuerte (C) y 0% alabeo intenso (D), lo cual nos arroja un índice de calidad de 0,16. Para arqueadura el porcentaje de piezas sin alabeo es 15,61%, un 64,55% nivel alabeo leve, de 16,4% leve-fuerte y 3,44% intenso, con un índice de calidad de 0,54. En el caso de encorvadura también se tuvo similares resultados con un 13,76% de piezas sin alabeo, 64,29% leve, 20,11% leve-fuerte y un 1,85 % de piezas con alabeo intenso, que genera un índice de 0,55. Y por último la torcedura que tuvo a un 25,66% de piezas sin alabeo, un 49,47% con alabeo leve, 19,58% leve-moderado y 5,29% de piezas con alabeo intenso, con lo cual resulta a 0,52 en el índice de calidad para este alabeo.

Se puede apreciar además que en arqueadura, encorvadura y torcedura la mayor parte (64,55%, 64,29% y 49,47 % respectivamente) de la piezas clasificaron en el nivel B (alabeo leve), en cambio en acanaladura la gran mayoría 69,05 % de la piezas no tenían este defecto.

El índice de calidad total de secado resulta de la suma de los índices de cada alabeo, cuyo resultado fue de 1,77 que significa una calidad de secado “menos que regular” y unas condiciones de secado “poco adecuadas” para el primer ensayo.

Los alabeos que más influyeron en la calidad de secado fueron arqueadura, encorvadura y torcedura ocupando un 30,40%, 31,07% y 29,5 % respectivamente del valor obtenido para el índice de calidad total de secado para este ensayo, el defecto que menos aportó fue acanaladura con un 9,04% de participación en el índice de calidad total.

Cuadro 10: Índice de calidad, porcentaje de presencia en cada nivel según defecto al final del secado en el ensayo 2.

<b>ENSAYO 2</b>						
<b>ALABEO</b>	<b>Nivel de clasificación</b>				<b>Índice de calidad</b>	<b>(%)</b>
	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>		
<b>Acanaladura</b>	72,55%	25,88%	1,57%	0,00%	0,15	7,54
<b>Arqueadura</b>	8,24%	60,78%	27,84%	3,14%	0,63	32,72
<b>Encorvadura</b>	16,47%	55,69%	23,14%	4,71%	0,58	30,17
<b>Torcedura</b>	14,90%	60,39%	20,78%	3,92%	0,57	29,56
<b>INDICE DE CALIDAD TOTAL DE SECADO</b>					<b>1,92</b>	<b>100,00</b>

Fuente: Elaboración propia

Para el ensayo 2, en acanaladura el porcentaje de piezas sin alabeo (A) es 72,55%, un 25,88% con nivel alabeo leve (B), 1,57% alabeo leve-fuerte (C) y 0% alabeo intenso (D), lo cual nos arroja un índice de calidad de 0,15. Para arqueadura el porcentaje de piezas sin alabeo es 8,24%, un 60,78% nivel alabeo leve, de 27,84% leve-fuerte y 3,14% intenso, con un índice de calidad de 0,63. En el caso de encorvadura un 16,47%

de piezas no presentaron este alabeo, 55,69% leve, 23,14% leve-fuerte y un 4,71% de piezas con alabeo intenso, que genera un índice de 0,58. Y por último la torcedura que tuvo a un 14,90% de piezas sin alabeo, un 60,39% con alabeo leve, 20,78% leve-moderado y 3,92% de piezas con alabeo intenso, que contribuye con un 0,57 al índice de calidad total de secado.

De todas estas proporciones se puede notar que en arquedura, encorvadura y torcedura la mayor parte (60,78%, 55,69% y 60,39% respectivamente) de la piezas clasificaron en el nivel B (alabeo leve), en cambio en acanaladura la gran mayoría 72,55% de la piezas no tenían este defecto.

Todos estos defectos resultan en un índice de calidad total de secado de 1,92 que significa una calidad de secado **“menos que regular”** y unas condiciones de secado **“poco adecuadas”** para el segundo ensayo.

Los alabeos que más influyeron en la calidad de secado fueron arquedura, encorvadura y torcedura ocupando un 32,72%, 30,17% y 29,56% respectivamente del valor obtenido para el índice de calidad total de secado para este ensayo, el defecto que menos aportó fue acanaladura con un 7,54% de participación en el índice de calidad total.

Comparando los resultados de ambos ensayos se tiene que tanto el ensayo 1 como el ensayo 2 tuvieron la misma calidad de secado **“menos que regular”**, lo que significa que el proceso de secado ésta realizándose de una manera que no es la más adecuada, las piezas están resultando con alabeos que en una buena parte no se podrán eliminar con el cepillado generando pérdidas considerables por defectos de secado los cuales repercuten de manera directamente proporcional en el rendimiento de la madera en el cepillado.

El proceso de secado está conformado por el programa de secado, la aplicación del mismo, y el apilamiento de las piezas, las cuales son un factor clave en el correcto secado, ya que muchas maderas (incluido el Shihuahuaco) tienen tendencias a desarrollar madera de reacción (que origina arqueadura y encorvadura), tensión de crecimiento del leño en anillos concéntricos en madera de corte tangencial (que origina acanaladura o abarquillado) y tipo de grano (que origina torcedura o revirado), los cuales se pueden eliminar parcialmente con un correcto apilado, que implica tener

madera aserrada de calidad dimensional, separadores de espesor uniforme y aplicación de cargas sobre la pila de madera.

Ante lo anteriormente mencionado cabe indicar que en los dos ensayos realizados se aplicaron cargas sobre las pilas, pero no estaban bien alineados verticalmente los palillos separadores, por tanto es necesario controlar más exhaustivamente el trabajo de armado de las pilas, es recomendable también que se cuente con madera de mejor calidad para secar, ya que en el estudio se pudo notar una regular cantidad de piezas con defectos de aserrío y naturales que imposibilitan su secado sin la presencia de alabeos; con todas estas pautas se lograría disminuir la tendencia natural de la madera a presentar defectos.

En cuanto a la aplicación del programa de secado es necesario que el tiempo de acondicionamiento final sea mucho mayor, lo cual ayudaría a disminuir las tensiones de secado, reduciendo entonces la intensidad de los alabeos. El programa de secado del ensayo 2 incluía un acondicionamiento intermedio, que por los resultados obtenidos de calidad de secado, donde el ensayo 1 obtuvo índice de secado ligeramente menor que el ensayo 2, podríamos conjeturar que éste acondicionamiento intermedio es innecesario porque no tiende a mejorar la calidad de secado, más por el contrario alarga el tiempo total del secado de la madera, generando más costos para la empresa, entonces sería recomendable emplear programas de secado sin acondicionamiento intermedio, sometiendo la madera a un tiempo de acondicionamiento final de 16 horas como mínimo, sin temor a la ganancia de humedad ya que la madera de ambos ensayos resultaron con un CH% promedio final alrededor del 7% (ver cuadro 1 y 2), muy por debajo del CH% ideal requerido para tablillas (10-12%) además de un bajo gradiente de humedad (0,87 y 0,50 %, ver cuadro 11 ), pudiendo elevarse el CH% final en 1 o 2% con un mayor tiempo de acondicionamiento, pero teniendo cuidado que el gradiente de humedad no se invierta.

#### 4.2.2. Gradiente de humedad

En el cuadro 11 se muestra el gradiente de humedad de las muestras de control de secado de los ensayos al final del secado.

Cuadro 11: Gradiente de humedad de las muestras de control en ambos ensayos.

ENSAYO 1		ENSAYO 2	
Nº de muestra	Gradiente de humedad (%)	Nº de muestra	Gradiente de humedad (%)
1	0,47	1	0,55
2	2,11	2	0,77
3	0,41	3	0,26
4	0,85	4	0,41
5	0,41	5	0,33
6	0,85	6	0,13
7	0,86	7	0,34
8	0,09	8	0,80
9	2,15	9	0,25
10	0,94	10	0,97
11	0,47	11	0,40
12	0,85	12	0,84
Media	0,87	Media	0,50
Desviación estándar	0,64	Desviación estándar	0,27
Rango	0,09 – 2,15	Rango	0,13 – 0,97

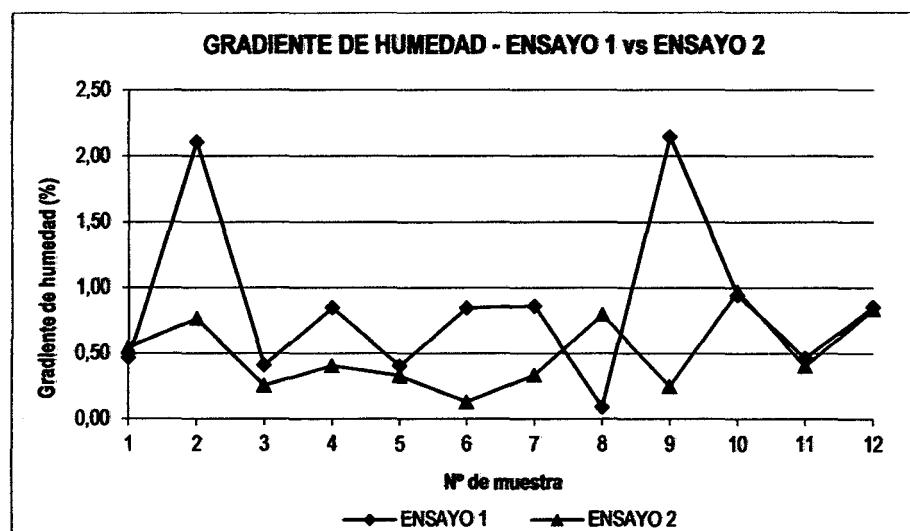
Fuente: Elaboración propia

La media aritmética del gradiente de humedad de las 12 muestras para el ensayo 1 es 0,87%, los valores de gradiente de humedad se encuentran en un rango de 0,09% a 2,15%, siendo la desviación estándar 0,64%.

La media aritmética del gradiente de humedad de las 12 muestras para el ensayo 2 es 0,50%, menor que el obtenido para el ensayo 1, los valores de gradiente de humedad se encuentran en un rango de 0,13% a 0,97%, siendo la desviación estándar 0,27% que en

comparación con el ensayo 1 los valores de gradiente de humedad del ensayo 2 están menos dispersos.

Gráfico 9: Comparación de los gradientes de humedad de ambos ensayos.



Fuente: Elaboración propia

El gráfico 9 presenta de manera más clara los gradientes de humedad en ambos ensayos, donde el gradiente de humedad es menor y más uniforme en el ensayo 2.

En general los resultados de estos ensayos muestran que no hay mucha diferencia de humedad entre la parte interior y el exterior de las muestras, lo que indica (según JUNAC, 1989) que el gradiente de humedad en ambos ensayos es bajo.

Una de las condiciones que favoreció a estos bajos gradientes es que la madera era de un espesor de 1 pulgada, en otro estudio realizado por Vallejos (2003) con *Pinus radiata* en tablas de espesor de 2 pulgadas se encontró que el gradiente de humedad era el doble con relación al gradiente para tablas de 1 pulgada de espesor, esto debido a que la mayor heterogeneidad y magnitud del gradiente de humedad, se asocia al mayor espesor, con lo cual se espera una mayor diferencia de contenido de humedad entre el interior y la superficie de la pieza, atribuible a una mayor distancia que debe recorrer el agua presente al centro de la pieza y la menor energía presente en esta, versus superficie ya seca, debido a la acción directa de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire.



### 4.2.3. Tensiones de secado

#### Ensayo 1

Se muestran las fotografías tomadas a las probetas tenedor al momento del corte y después de 24 horas.

Foto 1: Probetas tenedor del ensayo 1 al momento del corte



Fuente: Elaboración propia

De la observación de las fotografías de cada probeta tomadas al momento del corte resulta que todas las probetas presentaron las pinzas externas del tenedor levemente curvadas hacia adentro; entonces, tomando los parámetros de evaluación de JUNAC (1989) y BOLFOR (1998), lo descrito es una indicación de que la madera tiene esfuerzos de compresión en la superficie de la pieza y de tracción en el interior.

Foto 2: Probetas tenedor del ensayo 1 después de 24 horas del corte



Fuente: Elaboración propia

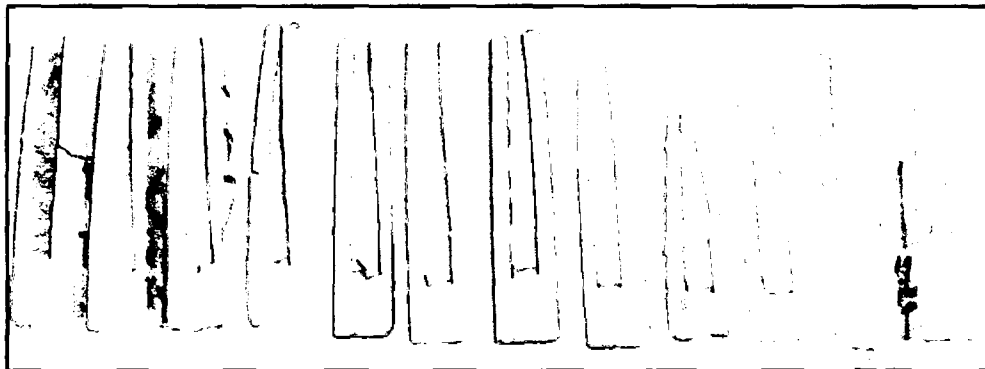
Después de 24 horas las pinzas exteriores de los tenedores se han torcido regularmente hacia adentro, un poco más que al momento del corte; lo que indica, según parámetros

de JUNAC (1989) y BOLFOR (1998), que en definitiva el material presenta tensiones por distribución irregular de la humedad y el tratamiento de acondicionado debe prolongarse por más tiempo.

### **Ensayo 2**

Se muestran las fotografías tomadas a las probetas tenedor al momento del corte y después de 24 horas.

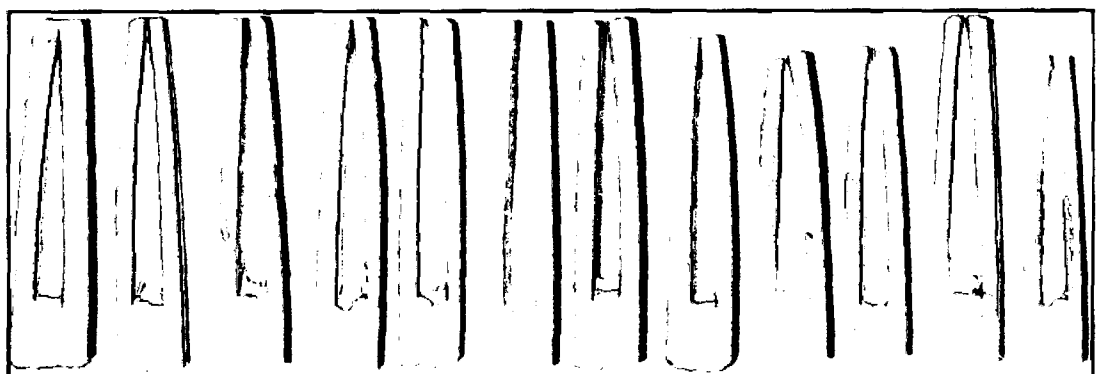
Foto 3: Probetas tenedor del ensayo 2 al momento de corte



Fuente: Elaboración propia

Similar al ensayo 1, las probetas tenedor del ensayo 2 al momento del corte presentaron una ligera curvatura de las pinzas hacia adentro; entonces, tomando los parámetros de evaluación de JUNAC (1989) y BOLFOR (1998), lo descrito es una indicación de que la madera tiene esfuerzos de compresión en la superficie de la pieza y de tracción en el interior.

Foto 4: Probetas tenedor del ensayo 2 después de 24 horas del corte



Fuente: Elaboración propia

Después de 24 horas las pinzas exteriores del tenedor se han torcido regularmente hacia adentro, un poco más que al momento del corte; lo que indica según parámetros de JUNAC (1989) y BOLFOR (1998), que en definitiva el material presenta tensiones por distribución irregular de la humedad y el tratamiento de acondicionado debe prolongarse por más tiempo.

#### 4.2.4. Variación dimensional (contracción)

En el siguiente cuadro se muestran los resultados de contracción obtenidos en los dos ensayos, así como la proporción de piezas con los tres tipos de corte.

Cuadro 12: Resumen de contracciones en ambos ensayos.

ENSAYO	Tipo de corte	% de piezas	Contracción en el ancho %	Contracción en el espesor %	Contracción volumétrica % ( $\beta_v$ )
ENSAYO 1	Radial	11,38	3,24 ( $\beta_r$ )	4,19 ( $\beta_t$ )	7,43
	Tangencial	18,25	4,64 ( $\beta_t$ )	2,43 ( $\beta_r$ )	7,07
	Oblicuo	70,37	4,02	2,90	6,92
<b>Promedio ponderado</b>			<b>4,05</b>	<b>2,96</b>	<b>7,01</b>
ENSAYO 2	Radial	4,31	3,68 ( $\beta_r$ )	5,68 ( $\beta_t$ )	9,36
	Tangencial	19,61	6,26 ( $\beta_t$ )	2,79 ( $\beta_r$ )	9,05
	Oblicuo	76,08	5,53	3,73	9,26
<b>Promedio ponderado</b>			<b>5,59</b>	<b>3,63</b>	<b>9,22</b>

Fuente: Elaboración propia

Para efectos de una mejor comprensión es necesario aclarar que, en las piezas radiales el ancho va en la dirección radial, y el espesor va en la dirección tangencial, así la contracción en el ancho corresponde a la contracción radial ( $\beta_r$ ), y la contracción en el espesor corresponde a la contracción tangencial ( $\beta_t$ ); en el caso de las piezas tangenciales la relación es inversa.

En el "ensayo 1" las piezas de corte radial tuvieron una contracción en el ancho de 3,24%, menor en 0,95% que la contracción en el espesor, esta condición se invierte en las piezas de corte tangencial siendo la contracción en el ancho de 4,64%, mayor en

2,21% que la contracción en el espesor; en las piezas de corte oblicuo la contracción en el ancho fue de 4,02%, mayor en 1,12% a la contracción en el espesor.

El promedio ponderado de los tres tipos de corte fue de 4,05% y 2,96% respectivamente para la contracción en el ancho y espesor, además de una contracción volumétrica de 7,01%.

En el caso del “ensayo 2” las piezas de corte radial tuvieron una contracción en el ancho de 3,68%, menor en 2% que la contracción en el espesor, esta condición se invierte en las piezas de corte tangencial siendo la contracción en el ancho de 6,26%, mayor en 3,47% que la contracción en el espesor; así mismo en las piezas de corte oblicuo la contracción en el ancho fue de 5,53%, mayor en 1,80% a la contracción en el espesor.

El promedio ponderado de los tres tipos de corte fue de 5,59% y 3,63% respectivamente para la contracción en el ancho y espesor, además de una contracción volumétrica de 9,22%.

Los resultados de contracción de Shihuahuaco del presente estudio se encuentran dentro de los límites de contracción determinados por la JUNAC (1989) para maderas sudamericanas, que fluctúa de 2,4% a 11% para la contracción radial ( $\beta_r$ ) y de 3,5% a 15% para la contracción tangencial ( $\beta_t$ ).

Cuadro 13: Valores de contracción radial y tangencial promedios en ambos ensayos.

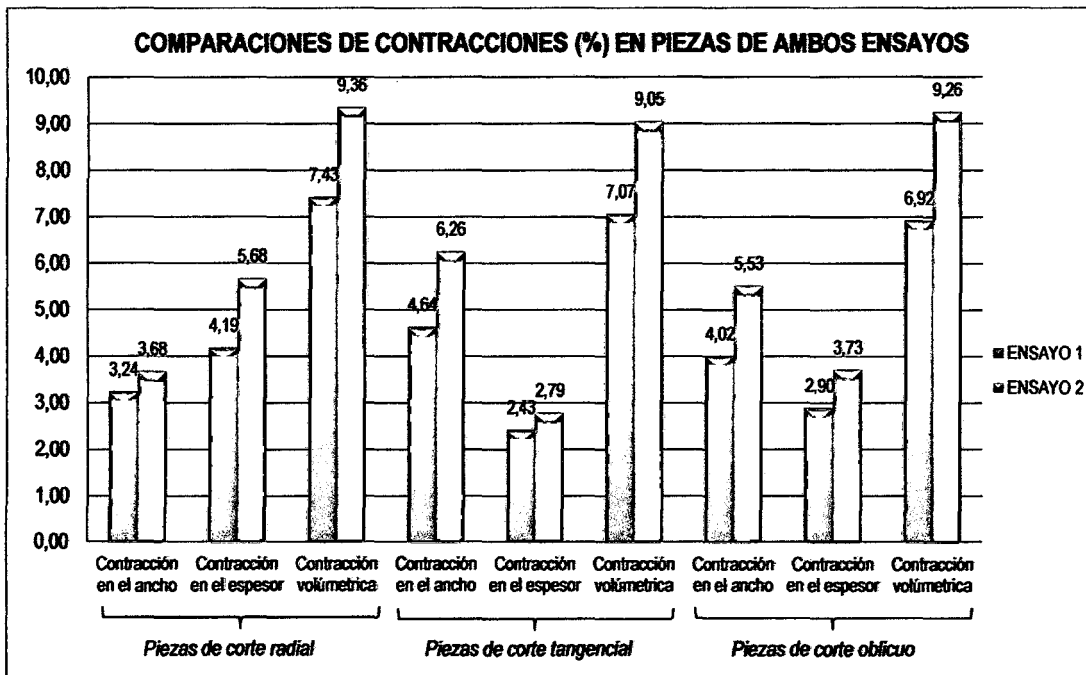
ENSAYOS	Rango CH% de secamiento	Contracción radial % ( $\beta_r$ )	Contracción tangencial % ( $\beta_t$ )
ENSAYO 1	16,51% a 7,03%	2,83	4,41
ENSAYO 2	30,52% a 6,96%	3,24	5,97

Fuente: Elaboración propia

PROMPEX-WWF-USAID-INIA-ITTO (2005), han determinado que para *Dipteryx micrantha* Harms la  $\beta_r$  y  $\beta_t$  es de 5,50% y 9,10% respectivamente, para secamientos desde la condición verde a seca al horno; el presente estudio ha determinado, en base a los valores de contracción de las piezas radiales y tangenciales, que para el ensayo 1 la  $\beta_r$  y  $\beta_t$  es de 2,83% y 4,41% respectivamente, con secamiento desde un CH% de

16,51% a 7,03%, y para el ensayo 2 la  $\beta_r$  y  $\beta_t$  es de 3,24% y 5,97% respectivamente, con secamiento desde un CH% de 30,52% a 6,96%. Por ende la diferencia entre los valores de contracción dados por PROMPEX-WWF-USAID-INIA-ITTO (2005), y los determinados por el presente estudio, se debe a las distintas condiciones de humedad de los secamientos.

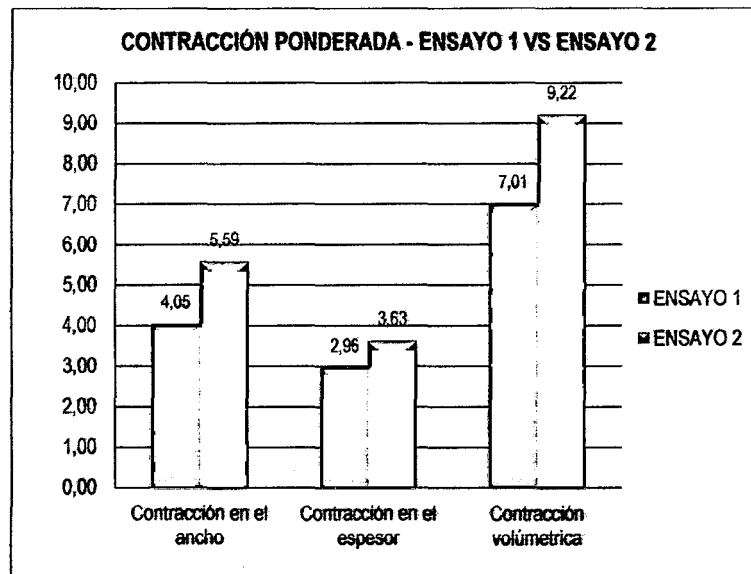
Gráfico 10: Comparación de contracciones en ambos ensayos.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 10 se observa que los resultados de la contracción en el “ensayo 2” fueron en todos los casos mayores a la contracción de las piezas del “ensayo 1”, esto es debido a que las piezas del “ensayo 2” terminaron con un menor CH% (6,96%) que la madera del “ensayo 1” (7,03%), además la carga de madera del “ensayo 2” entró a la cámara de secado con un CH% inicial mucho mayor (30,52%) que la del “ensayo 1” (16,51%).

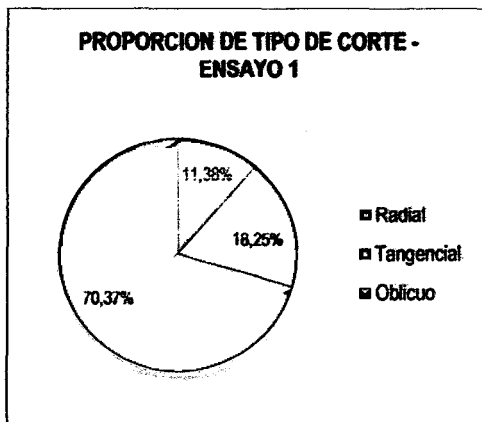
GRÁFICO 11: COMPARACIÓN DE LA CONTRACCIÓN PONDERADA en ambos ensayos.



Fuente: Elaboración propia

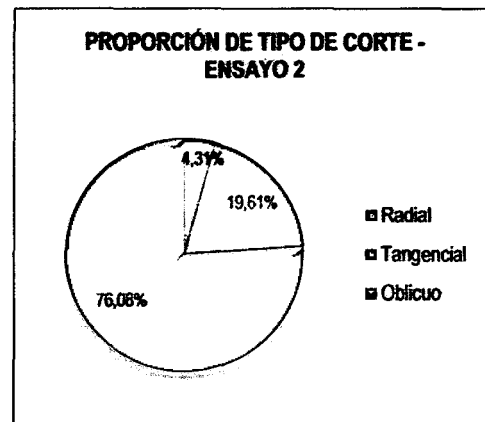
En el gráfico 11 se tiene la representación de los promedios ponderados de la contracción en piezas del ensayo 1 y 2. se aprecia que las contracciones ponderadas de las piezas del ensayo 2 son mayores a las del ensayo 1.

Gráfico 12: Proporción de cantidad de piezas por tipo de corte en el ensayo 1.



Fuente: Elaboración propia

Gráfico 13: Proporción de cantidad de piezas por tipo de corte en el ensayo 2.



Fuente: Elaboración propia

Los gráficos 12 y 13 muestran que la gran mayoría de las piezas en ambos ensayos fueron de corte oblicuo, con proporciones de 70,37% y 76,08% respectivamente para los ensayos 1 y 2, las piezas de corte tangencial representaron un 18,25% y 19,61%

respectivamente para los ensayos 1 y 2, por último se tienen a las piezas radiales con representatividad mínima de un 11,38% y 4,31% para estos ensayos respectivamente.

Con estas proporciones encontradas, los valores obtenidos de contracción de las piezas de corte oblicuo son los más influyentes y de mayor peso al momento de calcular las dimensiones con la que tiene que secarse la madera para que resulte y se aproxime a las dimensiones finales requeridas del producto.

#### 4.3. RENDIMIENTO.

##### 4.3.1. Rendimiento en el secado y cepillado:

En el ensayo 1 se obtuvo un rendimiento del 39,69% en tablillas de calidad A, y 16,34% en tablillas de calidad B, los cuales suman un rendimiento total de 56,03%.

En el ensayo 2 se obtuvo un rendimiento del 37,29% en tablillas de calidad A, y 12,32% en tablillas de calidad B, que hacen un rendimiento total de 49,61%.

De estos dos ensayos, el rendimiento promedio total de tablillas de calidades A y B es de 52,82%; es decir que de toda la madera aserrada del producto tablillas de Shihuahuaco, el 52,82 % aprox. resulta como tablillas secas y cepilladas de calidad A y B para la venta.

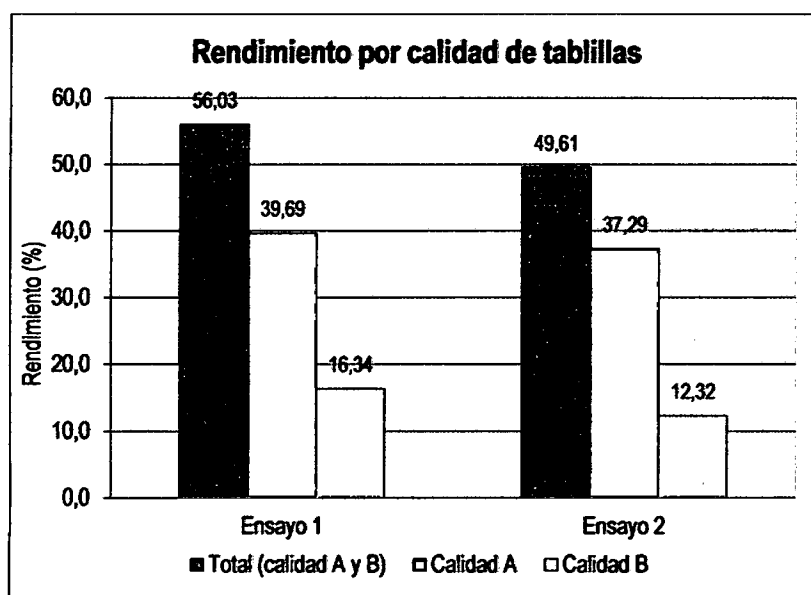
El cuadro 14 muestra el rendimiento detallado y los volúmenes correspondientes.

Cuadro 14: Rendimiento por calidades y total en ambos ensayos.

Ensayo	Volumen inicial (m <sup>3</sup> )	Volumen final		% del volumen final	Rendimiento (%)
		Calidad de tablillas	m <sup>3</sup>		
Ensayo 1	73,56	Calidad A	29,19	70,83	39,69
		Calidad B	12,02	29,17	16,34
		<b>Total</b>	<b>41,22</b>	<b>100,00</b>	<b>56,03</b>
Ensayo 2	79,51	Calidad A	29,65	75,17	37,29
		Calidad B	9,80	24,83	12,32
		<b>Total</b>	<b>39,45</b>	<b>100,00</b>	<b>49,61</b>
<b>Promedio total</b>					<b>52,82</b>

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 14: Comparación de rendimientos por calidad de tablillas en ambos ensayos.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 14 se tiene que el ensayo 1 tuvo un rendimiento total mayor al del ensayo 2, el cual se debe principalmente al mayor índice de calidad total de secado del ensayo 1; se observa también que en ambos ensayos las tablillas de calidad “A” tuvieron un mejor rendimiento (39,69% y 37,29%) que las tablillas de calidad “B” (16,34% y 12,32%).

Cuadro 15: Causas del desaprovechamiento de la madera en tablillas, en el secado y cepillado.

	Causas	% del volumen inicial	
		Ensayo 1	Ensayo 2
<b>Madera no aprovechada en tablillas</b>	Pérdida por contracción	7,01	9,22
	Pérdida por cepillado	23,59	22,52
	Pérdida por canteado y despuntado	6,68	8,23
	Piezas con defectos de secado no recuperables	4,70	6,72
	Piezas con defectos naturales no recuperables	1,98	3,70
<b>Total</b>		<b>43,97</b>	<b>50,39</b>

Fuente: Elaboración propia



Notamos en el cuadro 15 que la causa de mayor magnitud de la madera no aprovechada en tablillas es la pérdida por el cepillado la cual en ambos ensayos es cercano a la cuarta parte del volumen inicial, esto se explica porque la madera disminuye de un espesor inicial (espesor de corte) aproximado de 1 pulgada a 19 mm en el cepillado, pareciera que este espesor de corte es excesivo, pero los intensos alabeos productos del secado hacen que este espesor sea necesario para poder eliminar los alabeos en el cepillado rebajándolo a 19mm; por tanto una mejora en la calidad del secado favorecería a disminuir el espesor de corte a menos de 1 pulgada. Otra causa es la pérdida de volumen por contracción volumétrica de la madera, la cual no se puede evitar ya que la contracción es una propiedad intrínseca de la madera; pero la pérdida de madera por los defectos de secado es la causa más importante en el desaprovechamiento de la madera, ya que ésta es causa a la vez de la pérdida por canteado y despuntado (6,68% y 8,23% para el ensayo 1 y 2 respectivamente), porque las piezas con alabeos moderados tienen que recuperarse disminuyendo sus dimensiones en el ancho (canteado) y en el largo (despuntado), sumado a esto un significativo volumen (4,70% y 6,72%) se pierde en piezas con defectos de secado que debido a la magnitud del defecto no se pueden recuperar en las operaciones de canteado y despuntado.

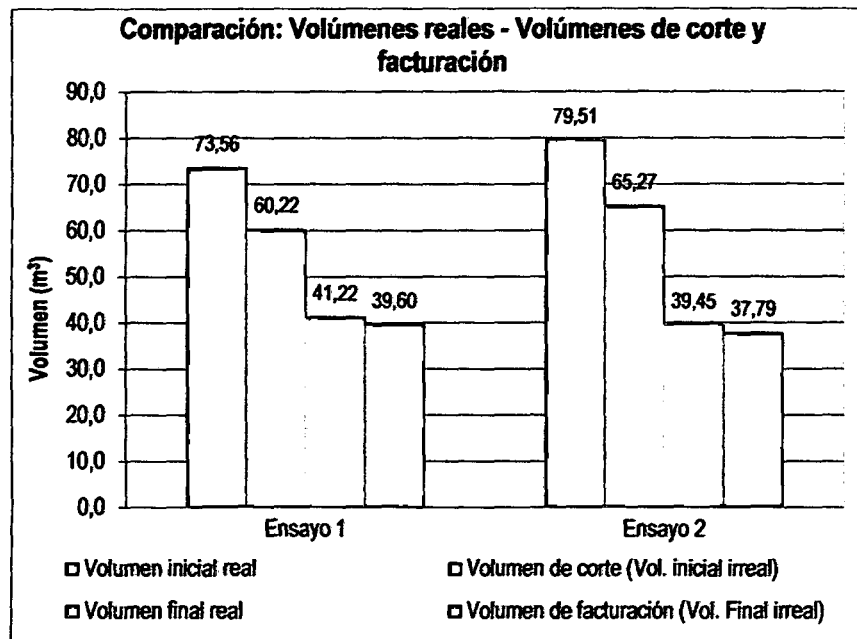
La calidad de secado es muy influyente en el rendimiento de la madera en el cepillado, esto se demuestra por lo siguiente: El ensayo 1 tuvo un mejor rendimiento que el ensayo 2 debido en gran medida a que tuvo un mejor índice de calidad de secado que el ensayo 2; éste mejor índice también influyo en la pérdida de volumen por defectos de secado no recuperables la cual fue mayor en el ensayo 2; por tanto la relación entre la calidad del secado y el rendimiento en el cepillado es directamente proporcional.

#### **Subestimación de volúmenes por parte de la empresa.**

Se pudo notar que los volúmenes calculados por la empresa son volúmenes subestimados en comparación al volumen real hallado por este estudio; el volumen de corte (volumen inicial irreal) es calculado con medidas técnicas de corte de las piezas que la empresa maneja para el aserrío, similarmente el volumen de facturación (volumen final irreal) es calculado con medidas técnicas de facturación de las piezas que la empresa maneja para el despacho de la madera, dichas medidas de corte y

facturación no son las medidas reales de las piezas, en ambos casos emplean Unidades de Medidas Anglosajonas, en cambio el volumen real inicial y final del estudio fueron calculados con medidas reales de las piezas en unidades del Sistema Internacional de Unidades.

Gráfico 15: Comparación de los volúmenes reales e irreales



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 15 se puede notar que la diferencia de volúmenes reales e irreales es muy grande en los volúmenes iniciales, así en el ensayo 1 la diferencia entre el volumen inicial real y el volumen de corte es de 13,33 m<sup>3</sup>, pero la diferencia es mucho menor entre el volumen final real y el volumen de facturación la cual es de 1,61 m<sup>3</sup>, en el ensayo 2 sucede lo mismo, entre el volumen inicial real y el volumen de corte la diferencia es de 14,25 m<sup>3</sup> y entre en el volumen final real y el volumen de facturación la diferencia es de tan solo 1,65 m<sup>3</sup>. Por tanto queda demostrado que los volúmenes de corte y facturación son volúmenes subestimados de los volúmenes reales, la estimación del rendimiento con estos volúmenes irreales generaría rendimientos falsos como de 65,76% para el ensayo 1 y de 57,90% para el ensayo 2, siendo estos valores mucho mayores a los determinados en este estudio.

#### 4.3.2. Rendimiento total neto en el proceso productivo completo.

El proceso de transformación de la madera en Forestal Río Piedras S.A.C. comprende los procesos de aserrío, secado y cepillado, en ese orden, donde uno de los productos finales para despacho son tablillas secas y cepilladas.

Estudios anteriores determinaron rendimientos en el aserrío, como el de Miche (2006), quién reportó que el rendimiento de trozas de Shihuahuaco (rollizo con corteza) en el aserrío de tablillas es de 45,45%; y con los resultados de rendimiento en el secado y cepillado del presente estudio, que fue de 52,82%, se estima que en Forestal Río Piedras S.A.C. el rendimiento total neto en todo el proceso productivo (aserrío, secado y cepillado) hasta el producto final, de tablillas, es de 24,01%, es decir que del volumen de una troza (rollizo con corteza) el **24,01% o más**, rinde a tablillas secas y cepilladas. Se menciona “24,01% o más” fundamentando en la ligera mejora del rendimiento en el aserrío, que se debe de haberse producido debido a algunas innovaciones en maquinarias y equipos de aserrío que realizó la empresa en los tres años de diferencia del presente estudio (2009) y el de Miche (2006).

Cuadro 16: Rendimiento total neto en tablillas de calidad A y B, estimado en todo el proceso productivo.

<b>RENDIMIENTO</b>		
<b>Aserrío % (Rollizo con corteza)</b>	<b>Secado y cepillado %</b>	<b>Total Neto %</b>
[1]	[2]	[1][2]/100
45,45*	52,82	<b>24,01</b>

Fuente: \*Miche, 2006; Chambi, 2010

## CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- En el ensayo 1 el tiempo total de secado fue de 262,5 horas, con un CH% inicial promedio de 16,51% y final de 7,03%; en el ensayo 2 el tiempo total de secado fue de 403 horas, con un CH% inicial promedio de 30,52% y final de 6,96%; así la humedad final en ambos ensayos es alrededor del 7% la cual es una humedad baja tomando en cuenta que la humedad óptima requerida para el producto tablillas es entre 10 y 12%, por lo tanto es innecesario e ineficiente que la madera sea secada a CH% finales tan bajos del requerido, pudiéndose entonces fijar un óptimo de 9% para asegurarnos que durante el tiempo que tarde la madera en el proceso de cepillado y almacenaje no supere el CH% máximo requerido (12%), con ésta humedad más alta se acorta el tiempo de secado logrando que este proceso sea más eficiente.
- El mejor ajuste en la curva de secado para el ensayo 1 es la regresión cuadrática “ $y = 0,0001x^2 - 0,0673x + 16,6430$ ” con un coeficiente  $R^2$  de 0,997, para el ensayo 2 la curva de mejor ajuste es la regresión exponencial “ $y = 26,5993 e^{0,0035x}$ ” con un coeficiente  $R^2$  de 0,995, en general estas dos ecuaciones matemáticas predicen muy bien el CH% (variable dependiente “y”) en un tiempo determinado (variable independiente “x”).
- La velocidad de secado en ambos ensayos corresponden a la tercera etapa de secado decreciente (Fase III), donde a medida que disminuye el CH% la velocidad de secado es menor, mostrando una tendencia decreciente casi lineal, esto significa que la madera a medida que su CH% es cada vez menor se resiste más a la pérdida de agua, debido a que esta última etapa el secado es gobernado por el movimiento difusional.
- El índice de calidad total de secado en el ensayo 1 fue de 1,77 correspondiente a una calidad de secado “**menos que regular**” y unas condiciones de secado “**poco adecuadas**”, en el ensayo 2 el índice total de secado fue de 1,92 que corresponde también a una calidad de secado “**menos que regular**” y a unas condiciones de secado “**poco adecuadas**”. El acondicionamiento intermedio en el ensayo 2 no ayudo a mejorar la calidad de secado, por tanto éste es innecesario, así parece ser que el factor determinante es el acondicionamiento final, el que debe realizarse por un

tiempo más largo que el aplicado, elevando ligeramente el CH% en un 1% más que el alcanzado en la fase anterior al acondicionamiento.

- El gradiente de humedad promedio de la madera en el ensayo 1 y 2 fue de 0,87% y 0,50% respectivamente, los cuales son bajos, significando que no hay mucha diferencia de humedad entre la parte interior y el exterior de las muestras después del secado, estos bajos gradientes se deben además a que la madera de los ensayos era de 1 pulgada de espesor. La mayor heterogeneidad y magnitud del gradiente de humedad, se relaciona al mayor espesor, con lo cual se espera una mayor diferencia de contenido de humedad entre el interior y la superficie de la pieza, atribuible a una mayor distancia que debe recorrer el agua presente al centro de la pieza y la menor energía presente en esta, versus superficie ya seca, debido a la acción directa de la temperatura, humedad relativa y velocidad del aire.
- En la evaluación de tensiones del secado, las probetas al momento del corte presentaron las pinzas externas del tenedor levemente curvadas hacia adentro, después de 24 horas las pinzas se tuercen un tanto más, entonces la madera resultante del secado tiene esfuerzos de compresión en la superficie de la pieza y de tracción en el interior, entonces para aliviar un poco estas tensiones la fase de acondicionamiento se debe prolongar por más tiempo.
- La contracción ponderada de los tres tipos de corte del ensayo 1 fue de 4,05% y 2,96% respectivamente para la contracción en el ancho y espesor, además de una contracción volumétrica de 7,01%. En el ensayo 2 se tuvo una contracción ponderada de 5,59% y 3,63% respectivamente para la contracción en el ancho y espesor, además de una contracción volumétrica de 9,22%. Unas de las causas que originó que las contracciones en el ensayo 2 sean mayores en todos los casos a la del ensayo 1 es que la madera del ensayo 2 tenía un CH% inicial de 30,52% casi el doble al CH% inicial de la madera del ensayo 1 (16,51%), y además el CH% final de la madera del ensayo 2 fue menor con un valor de 6,96% en comparación con el ensayo 1 que fue de 7,03%.
- El rendimiento en el secado y cepillado es de 56,03% y 49,61% para el ensayo 1 y 2 respectivamente (en tablillas de calidad A y B), haciendo ambos ensayos un rendimiento promedio de 52,82% en tablillas secas y cepilladas, estos resultados reflejan que no se tiene un aprovechamiento óptimo de la madera en estos procesos, teniendo como una de las causas principales de este bajo rendimiento la defectuosa

calidad de secado, que origina significantes pérdidas de madera en las operaciones de canteado y despuntado de piezas defectuosas (6,68 y 8,23% para los ensayos 1 y 2 respectivamente), y pérdidas en piezas alabeadas que debido a la magnitud del defecto no se pueden recuperar (4,70 y 6,72%); así el mayor rendimiento en el ensayo 1 y la menor pérdida de madera por defectos de secado que el ensayo 2 revela que a mejor índice de calidad de secado (menor valor) mayor es el rendimiento de la madera en el cepillado. Por otro lado cerca al 25% de volumen se pierde en forma de aserrín en el cepillado dos caras de las piezas, debido a la intensidad de los alabeos que hace necesario un espesor inicial de corte excesivo de 1 pulgada para poder atenuar o eliminar estos alabeos en el cepillado y poder obtenerse tablillas cepilladas de 19 mm de espesor.

- La complementación de éste estudio con el realizado por Miche en el 2006, genera un rendimiento total neto de trozas de Shihuahuaco a tablillas secas y cepilladas, de 24,01% a más. Es decir, en Forestal río Piedras S.A.C, del volumen de una troza rolliza con corteza se obtiene un aproximado de 24,01% del volumen como tablillas secas y cepilladas.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

- Para mejorar la calidad de secado se debe prolongar por más tiempo el acondicionamiento final (16 horas como mínimo) sin temor a una mayor ganancia de humedad, porque la humedad final de los secados es aproximadamente un 7% mucho menor al CH% óptimo requerido (10-12%); por ende es necesario los secados se realicen a CH% final no muy bajos, lo suficiente para asegurar que la madera no exceda el 12% en el tiempo de proceso de cepillado y despacho. La humedad final a la que actualmente se seca es excesiva, innecesaria e ineficiente ya que genera un mayor tiempo de secado con costos mayores para la empresa. Por tanto se recomienda no utilizar programas de secado con acondicionamiento intermedio ya que se ha demostrado que éste no ayuda a mejorar la calidad del secado, más por el contrario alarga innecesariamente el tiempo de secado.

- Controlar más exhaustivamente el trabajo de armado de las pilas, el correcto apilado de la madera contribuye en gran medida a la disminuir la tendencia natural de la madera a presentar defectos.
- Es importante que se cuente con madera de mejor calidad para secar, existen muchas piezas seleccionadas para el secado que tienen defectos de aserrío y naturales que imposibilitan su secado sin la presencia de alabeos.
- Se recomienda que la empresa realice una mejor graduación al “Higrómetro de pines” ya que los valores que arroja en la medición es mucho mayor al verdadero CH% obtenido por el método gravimétrico, de esa manera el seguimiento y control del secado se realizaría de mejor manera y sería más real.
- Realizar investigaciones de cinética del secado a nivel de laboratorio donde algunas condiciones del ambiente no afectarían en lo más mínimo las mediciones respectivas, con el empleo de secaderos convectivos pequeños donde la carga de madera es poca permitiendo un mejor manejo y control del proceso, realizando mediciones de la evolución del CH% de la madera a tiempos más cortos, y con sistemas de adquisición de datos que permitan la obtención de las condiciones ambientales dentro del secador a intervalos de tiempo muy cortos.
- Realizar estudios de secado en otras especies difíciles de secar como el Azúcar huayo (*Hymenaea oblongifolia*), estoraque (*Myroxilon balsamun*), Tahuarí (*Tabebuia sp*), Quinilla (*Manilkara bidentata*), y otras de importancia comercial.
- Realizar estudios de rendimiento en todos los procesos de transformación (aserrío, secado y cepillado) de más especies importantes, asimismo se recomienda realizarlos otras empresas representativas de la región, con la finalidad de realizar comparaciones y tener una información más generalizada de la industria maderera regional.
- Realizar estudios de costo de producción en los procesos de transformación de la madera.

2

## BIBLIOGRAFIA

- ANGULO RUIZ, Walter. Shihuahuaco, [en línea], INIEA – INIA. 2006. [Fecha de consulta: 20 de julio de 2008]. Disponible en: <<http://www.inia.gob.pe/boletin/boletin0020/shihuahuaco.htm>>.
- ANANÍAS, Rubén, SALVO, Linette, ESTRADA, Ricardo, BRIONES, Rodrigo. Estudio experimental del secado a temperaturas convencionales de Acacias. Concepción, Chile. 2008.
- ANANÍAS, Rubén, Física de la madera, Universidad del Biobío-Chile, [Fecha de consulta: 10 de noviembre del 2009]. Disponible en: <[http://zeus.dci.ubiobio.cl/~anancias/apuntes\\_fisica\\_madera.pdf](http://zeus.dci.ubiobio.cl/~anancias/apuntes_fisica_madera.pdf)>.
- ALARCÓN, Gabriel, CARDOZO, Jorge, VILAVILA, Walter. Evaluación del rendimiento en trozas de *Hymenaea oblongifolia* (Azúcar huayo). Puerto Maldonado, Perú. 2005.
- Álvarez, H.; Fernández-Golfin, J. Fundamentos teóricos del secado de la madera. Madrid. 1992. 193 p. (Colección Monografías INIA, Núm. 82).
- ATENCIA, María Elena, Secado de la madera: Criterios para obtener productos de calidad. Argentina, 2008. [Fecha de consulta: 15 de enero de 2010]. Disponible en: <<http://www.revista-MM.com>>.
- BRAVO, A. Comportamiento de Pino Insigne (*Pinus Radiata* D DON), Bajo dos Condiciones de Secado por Vapor Recalentado. Tesis Profesional. Universidad Austral de Chile, Chile. 1977.
- BOLFOR. Guía para el secado de la madera en hornos: Documento Técnico N° 69. Santa Cruz – Bolivia, Agosto de 1998, [Fecha de consulta: Octubre de 2008]. Disponible en: <<http://bolfor.chemonics.net/DOCUMENT/dt69.pdf>>.
- CIMPEVISAC. *Productos en detalle: Shihuahuaco*. [en línea]. 1998 [Fecha de consulta: 15 de Julio del 2008]. Disponible en: <<http://members.fortunecity.com/cliente1/producto3.htm>>.
- COFRE BARRIENTOS, Derico Alejandro. Efecto del vaporizado final en las tensiones de la madera aserrada, en *Pinus radiata*. Tesis (Ingeniero en maderas). Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales, 2003. 44 p.



- DÁVILA NAVA, J. R. Estudio experimental del efecto de la porosidad de partículas sobre el proceso de secado en un lecho fluidizado a vacío empleando aire. Tesis (Licenciatura. Ingeniería Mecánica). Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. Mayo 2004 [PDF]. [Fecha de consulta 20 de diciembre de 2009]. Disponible en: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lim/davila\\_n\\_jr/capitulo4.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/davila_n_jr/capitulo4.pdf)
- FIGUEROA, R. Secado artificial de madera de coigüe (*Nothofagus dombeyi* (Mirb.) Oerst), previa aplicación de un pretratamiento de inmersión en agua caliente. Tesis Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile). 1991. 68 p.
- FORESTAL RÍO PIEDRAS S.A.C. Parámetros de clasificado en tablillas de Cumaru KD S2S. Puerto Maldonado, Perú. 2009.
- GONZALES FLORES, Víctor Raúl. Secado de la madera. Lima, Concytec, 1996. 164 p.
- GUERRERO, G; INZUNZA L. Comportamiento de *Eucalyptus globulus* (LABILL) Crecido en Colcura, sometidas a un programa de secado australiano. Facultad de Ciencias Forestal. Universidad Austral de Chile. Serie Técnica. Informe de Convenio n° 25. Chile. 1980.
- HART.C.A. The Drying of Wood .The Nort Carolina Agricultural Extencion Service 1975.36p Revision.
- INDECOPI, NTP 251.010. Madera. Determinación del contenido de humedad, Lima, Perú, 1980.
- INDECOPI, NTP 251.134. Madera. Apilado horizontal de la madera aserrada, Lima, Perú, 2005, 9 pág.
- INSTITUTO NACIONAL DE NORMALIZACION. 1972. NCh 993 E Of. 72. Madera. Procedimiento y criterios de evaluación para Clasificación. Santiago (Chile).
- INZUNZA, L. Curso de secado de la madera, Universidad Austral de Chile. 2004.
- JUACIDA P, Roberto, MATTHEI S, Pedro, NIEMZ, Peter. Secado artificial de Sequoia crecida en Chile (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.). Instituto de Tecnología de Productos Forestales, Universidad Austral de Chile, Casilla 567, Valdivia, Chile. 1995. 13 p.
- JUNAC. Manual del Grupo Andino para el secado de maderas, Junta del Acuerdo De Cartagena. Lima. 1989. 650 p.

- KLITZKE, R. Curso de secagem da madeira, Universidade Federal Do Paraná, Brasil. 2005.
- MATTHEI, P. Programa de Secado Artificial para Madera de Sequoia Sempervirens D. DON. Tesis Profesional. Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales. Chile. 1994.
- MICHE MERINO, Williams Wilfredo. Evaluación del Rendimiento en Trozas de Shihuahuaco (Dipteryxodorata) ( Aublet ) Willd en el Proceso de Transformación Primaria.( Tambopata – Madre De Dios ). Tesis (Ingeniero Forestal). Puerto Maldonado, Perú, Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco, Facultad de Ciencias Forestales y Medio Ambiente. 2006. 60 p.
- MUÑOZ, R. Ensayo con tres programas de secado artificial en cinco especies nativas latifoliadas. Tesis de Ingeniería Forestal, Universidad Austral de Chile, Valdivia (Chile). 1972. 112 p.
- SUNAT-Superintendencia Nacional de Administración Tributaria, Exportación de productos forestales Maderables por productos 2002-2008, Informe técnico solicitado a la DGFFS, 15 de febrero de 2010.
- PEDRAS SAAVEDRA, Francisco. Secado de la Madera: Recomendaciones Prácticas. *CIS-Madera* [en línea]. 06 de setiembre de 2005. [Fecha de consulta: 15 de junio de 2008]. Disponible en: <<http://www.cismadera.com/galego/downloads/secadon11.pdf>>.
- PÉREZ, Patricio, ANANIAS, Rubén, HERNANDEZ, Gonzalo. Estudio de la velocidad del secado de renovales de canelo *Drimys winteri*. Santiago, Chile. 2007.
- PEREDO, Miguel, FIGUEROA, Ramón. Secado artificial de madera de Coigiie (*Nothofagus dombeyi*). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. 1992.
- Peredo, M.; Juacida, R.; Inzunza, L. Curso de capacitación en secado de maderas. Valdivia, Universidad Austral de Chile. 1985. 56 p. (Informe de convenio 88. Serie Técnica)
- PROMPEX-WWF-USAID-INIA-ITTO. Proyecto “Promoción de Nuevas Especies Forestales del Perú en el Comercio Exterior”. 2005.
- RASMUSSEN, E. Dry Kiln Operator's Manual. Agric. Handb. 188. USDA. Washington (EE.UU.), 1980. 197 p.

- REYNEL C., PENNINGTON T. R., PENNINGTON D. T., C. FLORES, DAZA A. Árboles útiles de la Amazonía Peruana: Un manual con apuntes de identificación, ecología y propagación de las especies, Lima. 2003.
- ROZAS, Carlos, SANCHEZ, Reinaldo, PINEDO, Paula. Secado de Eucalyptus nitens y globulus y su aprovechamiento en blocks, pisos y muebles. Concepción, Chile. 2007.
- SEPÚLVEDA Sepúlveda, Claudio Fabián. Aplicación de un programa de secado convencional en base a pérdida de humedad para madera de Aromo australiano (Acacia melanoxylon R. Brown). Tesis (Ingeniero en maderas). Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile, Facultad de Ciencias Forestales., 2007. 40 p.
- SENA, Seminario sobre: Secado de la madera [en línea]. Medellín, mayo de 1987, actualizado en la Biblioteca Virtual Luis Ángel Arango-Bogotá mayo de 2007 [Fecha de consulta: 25 de agosto de 2008]. Disponible en: <<http://www.lablaa.org/blaavirtual/ciencias/sena/carpinteria/madera/madera3a.htm>>.
- TUSET, R., DURÁN F. Manual de Maderas Comerciales, Equipos y Procesos de utilización. Ed. Hemisferio Sur. 1979. 668p.
- VALLEJOS DIAZ, Sergio Javier. Comportamiento del Pino radiata frente al secado convencional y bajo vacío: Estudio de la cinética y la calidad del secado. Tesis (Ingeniero de ejecución en maderas). Concepción, Chile, Universidad del Bio-Bio, Facultad de Ingeniería, 2003. [PDF]. [Fecha de consulta: 21 de Febrero de 2009]. Disponible en: <[http://cybertesis.ubiobio.cl:8180/sdx/ubiobio/notice.xsp?id=ubiobio.2004.vallejos\\_s%7CTH.7&qid=pcd.q&base=documents&id\\_doc=ubiobio.2004.vallejos\\_s&num=&querq=&isid=ubiobio.2004.vallejos\\_s%7CTH.7&dn=1](http://cybertesis.ubiobio.cl:8180/sdx/ubiobio/notice.xsp?id=ubiobio.2004.vallejos_s%7CTH.7&qid=pcd.q&base=documents&id_doc=ubiobio.2004.vallejos_s&num=&querq=&isid=ubiobio.2004.vallejos_s%7CTH.7&dn=1)>.

## **ANEXOS**

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE CONTROL POR METODO GRAVIMÉTRICO - ENSAYO 1**

Especie:	Shihuahuaco	Carga N°:	7	Volumen:	73,58 m <sup>3</sup>
Cámara N°:	3	Código de secado:	H3-7	Espesor:	1 pulgada
Fecha de inicio:	27/04/2009				

**PESO ANHIDRO CALCULADO DE LAS MUESTRAS DE CONTROL**

Fecha	Hora	Horas acum	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		12		663,0	CH%
			Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%		
27-4	9:00	0,0	1712,4	16,5	2057,5	16,3	1106,8	18,1	1030,1	16,1	1281,0	17,0	1257,9	15,6	1521,6	15,7	1541,6	15,5	1612,8	17,4	1190,0	17,1	1225,1	15,7	776,8	17,2	16,5	
28-4	9:00	24,0	1697,4	15,5	2033,2	14,9	1090,6	16,4	1018,5	14,8	1266,3	15,7	1247,9	14,7	1504,4	14,4	1530,0	14,6	1592,6	15,9	1176,1	15,7	1213,0	14,5	765,6	15,6	15,2	
29-4	7:30	46,5	1678,7	14,2	2007,9	13,5	1073,7	14,6	1007,2	13,6	1245,9	13,8	1235,6	13,6	1484,2	12,8	1517,2	13,6	1572,5	14,4	1158,5	14,0	1199,3	13,3	754,5	13,8	13,8	
30-4	7:30	70,5	1653,2	12,5	1978,1	11,8	1054,7	12,6	994,4	12,1	1223,6	11,8	1222,2	12,3	1463,9	11,3	1501,7	12,5	1546,8	12,6	1139,2	12,1	1184,5	11,9	743,3	12,1	12,1	
1-5	7:30	94,5	1637,6	11,4	1957,6	10,6	1042,4	11,3	986,9	11,3	1212,0	10,7	1213,7	11,5	1452,9	10,5	1491,6	11,7	1530,7	11,4	1127,8	10,9	1176,1	11,1	736,6	11,1	11,1	
2-5	8:00	119,0	1625,0	10,6	1950,0	10,2	1035,0	10,5	980,0	10,5	1205,0	10,1	1210,0	11,2	1445,0	9,9	1485,0	11,2	1520,0	10,6	1120,0	10,2	1170,0	10,5	730,0	10,1	10,5	
3-5	8:30	143,5	1607,3	9,4	1925,1	8,8	1020,9	9,0	970,9	9,5	1189,1	8,6	1195,5	9,9	1427,8	8,5	1470,0	10,1	1500,8	9,2	1105,2	8,7	1157,8	9,3	722,0	8,9	9,2	
4-5	7:30	166,5	1597,7	8,7	1913,8	8,2	1014,1	8,2	965,3	8,8	1180,4	7,9	1188,2	9,2	1419,4	7,9	1461,6	9,5	1491,2	8,5	1098,5	8,1	1150,8	8,7	715,9	8,0	8,5	
5-5	7:30	190,5	1585,3	7,9	1900,2	7,4	1006,1	7,4	958,8	8,1	1173,1	7,2	1180,6	8,5	1410,0	7,2	1452,3	8,8	1480,0	7,7	1090,4	7,3	1143,5	8,0	710,0	7,1	7,7	
6-5	7:30	214,5	1577,1	7,3	1889,3	6,8	1000,1	6,7	953,3	7,5	1166,9	6,6	1174,5	7,9	1401,5	6,6	1444,4	8,2	1471,1	7,0	1084,3	6,7	1137,6	7,4	705,0	6,3	7,1	
7-5	7:30	238,5	1571,2	6,9	1883,3	6,4	996,3	6,3	949,7	7,1	1163,0	6,3	1169,2	7,5	1396,4	6,2	1439,0	7,8	1465,5	6,6	1080,7	6,3	1133,2	7,0	701,5	5,8	6,7	
8-5	7:30	262,5	1580,3	7,5	1892,5	7,0	1001,6	6,9	951,6	7,3	1167,2	6,6	1171,2	7,6	1400,6	6,5	1439,6	7,8	1471,0	7,0	1086,5	6,9	1135,6	7,2	702,5	6,0	7,0	

**CONTENIDO DE HUMEDAD DE LAS MUESTRAS DE CONTROL POR METODO GRAVIMÉTRICO - ENSAYO 2**

Especie:	Shihuahuaco	Carga N°:	11	Volumen:	79,51 m <sup>3</sup>
Cámara N°:	3	Código de secado:	H3-11	Espesor:	1 pulgada
Fecha de Inicio:	05/07/2009				

**PESO ANHIDRO CALCULADO DE LAS MUESTRAS DE CONTROL**

Fecha	Hora	Horas acum	1 944,2		2 951,3		3 853,4		4 855,9		5 754,7		6 788,0		7 828,8		8 908,1		9 930,7		10 790,5		11 829,9		12 736,7		CH% Prom
			Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	Peso	CH%	
5-7	12:00	0,0	1184,1	25,4	1214,3	27,8	1093,4	28,1	1118,4	30,7	1080,2	43,1	1014,7	28,8	1082,1	30,9	1267,6	39,8	1181,0	26,9	987,3	24,9	1063,1	28,1	973,3	32,1	30,52
6-7	16:00	28,0	1155,5	22,4	1171,8	23,2	1062,5	24,5	1073,8	25,5	1001,1	32,7	976,5	23,9	1047,8	26,7	1179,9	29,9	1146,4	23,1	962,6	21,8	1025,3	23,6	942,0	27,9	25,42
7-7	7:00	43,0	1141,9	20,9	1155,1	21,4	1048,1	22,8	1056,6	23,5	972,7	28,9	960,8	21,9	1032,2	24,8	1148,8	26,5	1130,6	21,5	952,0	20,4	1007,8	21,4	928,2	26,0	23,34
8-7	7:00	67,0	1126,4	19,3	1136,1	19,4	1031,8	20,9	1036,4	21,1	939,2	24,5	942,2	19,6	1013,6	22,6	1116,3	22,9	1112,8	19,6	939,1	18,8	988,9	19,2	912,8	23,9	20,97
9-7	7:00	91,0	1114,4	18,0	1119,3	17,7	1017,1	19,2	1020,0	19,2	910,3	20,6	929,0	17,9	995,1	20,3	1091,7	20,2	1098,7	18,1	927,8	17,4	973,2	17,3	899,2	22,1	18,99
10-7	7:00	115,0	1104,7	17,0	1107,9	16,5	1006,0	17,9	1007,5	17,7	888,2	17,7	919,0	16,6	978,5	18,3	1072,5	18,1	1086,9	16,8	917,7	16,1	960,6	15,8	887,1	20,4	17,41
11-7	7:00	139,0	1096,3	16,1	1092,9	14,9	995,6	16,7	996,7	16,5	869,6	15,2	911,3	15,6	963,3	16,5	1056,5	16,3	1074,7	15,5	908,5	14,9	950,3	14,5	875,5	18,8	15,97
12-7	7:00	163,0	1087,4	15,2	1083,5	13,9	985,3	15,4	985,8	15,2	857,5	13,6	904,8	14,8	949,1	14,8	1042,4	14,8	1062,2	14,1	900,0	13,9	942,1	13,5	864,4	17,3	14,71
13-7	7:00	187,0	1079,4	14,3	1074,1	12,9	976,1	14,4	977,1	14,2	846,9	12,2	898,1	14,0	935,5	13,1	1027,7	13,2	1049,4	12,8	892,3	12,9	932,5	12,4	853,0	15,8	13,50
14-7	7:00	211,0	1073,9	13,7	1069,7	12,4	970,3	13,7	972,8	13,7	843,7	11,8	895,9	13,7	926,0	12,0	1021,0	12,4	1043,6	12,1	888,5	12,4	928,7	11,9	845,4	14,8	12,89
15-7	7:00	235,0	1065,9	12,9	1063,5	11,8	962,4	12,8	964,7	12,7	837,5	11,0	890,8	13,0	915,7	10,7	1010,7	11,3	1032,7	11,0	882,4	11,6	922,3	11,1	836,2	13,5	11,96
16-7	7:00	259,0	1060,1	12,3	1052,4	10,6	954,5	11,8	958,9	12,0	833,5	10,4	887,3	12,6	908,7	9,9	1003,9	10,6	1026,4	10,3	873,3	10,5	918,6	10,7	829,0	12,5	11,19
17-7	7:00	283,0	1051,8	11,4	1051,5	10,5	948,9	11,2	949,9	11,0	827,5	9,7	881,9	11,9	901,5	9,0	995,7	9,6	1018,9	9,5	871,6	10,3	912,8	10,0	821,3	11,5	10,46
18-7	7:00	307,0	1041,8	10,3	1042,7	9,6	938,5	10,0	940,7	9,9	820,8	8,8	874,4	11,0	891,6	7,8	984,5	8,4	1007,4	8,2	863,4	9,2	903,9	8,9	810,6	10,0	9,35
19-7	7:00	331,0	1033,9	9,5	1034,8	8,8	931,1	9,1	932,9	9,0	811,1	7,5	868,6	10,2	885,0	7,0	975,6	7,4	1000,7	7,5	858,1	8,8	897,9	8,2	805,8	9,4	8,52
20-7	7:00	355,0	1021,5	8,2	1027,8	8,0	922,1	8,0	922,4	7,8	808,5	7,1	862,0	9,4	878,4	6,2	968,3	6,6	992,1	6,6	851,8	7,8	893,0	7,6	797,9	8,3	7,64
21-7	7:00	379,0	1017,8	7,8	1023,9	7,6	918,7	7,6	918,7	7,3	805,8	6,8	859,6	9,1	875,3	5,9	964,6	6,2	988,1	6,2	848,4	7,3	890,4	7,3	793,7	7,7	7,24
22-7	7:00	403,0	1014,7	7,5	1020,7	7,3	915,9	7,3	917,0	7,1	804,7	6,6	858,1	8,9	872,2	5,5	962,0	5,9	986,0	5,9	846,2	7,0	887,9	7,0	791,0	7,4	6,96

**CONTENIDO DE HUMEDAD (CH%) DE LAS MUESTRAS DE CONTROL POR HIGRÓMETRO DE PINES - ENSAYO 1**

Fecha	Hora	Horas acum.	CH%												CH% promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
27-4	9:00	0	15,97	18,20	19,00	16,17	21,40	17,70	21,47	17,33	22,10	22,70	25,20	34,40	20,97
28-4	8:00	23,0	16,27	15,80	16,70	15,13	20,70	17,33	19,17	14,77	20,27	19,93	18,23	23,90	18,18
29-4	8:00	47,0	15,40	14,23	15,70	14,17	16,07	16,83	17,07	14,90	16,63	17,43	16,87	20,73	16,34
30-4	8:00	71,0	13,20	12,80	14,10	13,20	14,20	15,13	14,83	13,30	15,70	14,50	14,67	20,90	14,71
1-5	8:00	95,0	12,40	11,17	12,20	11,03	12,23	12,73	12,20	12,37	11,77	11,97	13,97	14,90	12,41
2-5	8:00	119,0	11,03	10,40	10,67	10,27	11,13	13,60	11,53	11,47	11,50	11,13	12,93	12,43	11,51
3-5	8:00	143,0	10,20	9,20	9,83	9,77	11,10	13,33	11,17	11,63	11,13	10,57	12,33	11,50	10,98
4-5	8:00	167,0	9,23	8,03	9,00	9,00	10,23	10,13	9,67	9,10	9,67	9,23	9,63	8,40	9,28
5-5	8:00	191,0	7,93	6,90	8,10	8,07	8,43	8,70	8,80	8,37	8,93	8,47	8,57	7,40	8,22
6-5	8:00	215,0	7,47	6,60	7,10	7,13	8,10	9,90	8,47	10,53	8,23	8,07	9,97	9,47	8,42
7-5	8:00	239,0	7,33	6,37	7,10	7,80	7,70	8,77	7,33	11,10	8,13	7,53	9,20	6,70	7,92
8-5	7:30	262,5	7,43	6,63	6,43	6,73	7,30	7,33	7,57	6,40	7,53	7,77	7,53	7,50	7,18

**CONTENIDO DE HUMEDAD (CH%) DE LAS MUESTRAS DE CONTROL POR HIGRÓMETRO DE PINES - ENSAYO 2**

Fecha	Hora	Horas acum.	CH%												CH% promedio
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
5-7	12:00	0	56,93	49,57	91,97	102,70	105,13	73,43	94,70	106,37	62,70	58,60	77,10	91,70	80,91
6-7	17:00	29,0	34,70	34,00	73,23	78,23	99,47	44,27	86,83	94,97	55,33	67,17	52,83	78,87	66,66
7-7	8:00	44,0	31,30	28,50	65,43	67,23	81,47	28,93	66,10	72,77	37,60	39,60	31,93	52,57	50,29
8-7	8:00	68,0	23,80	22,53	50,67	36,37	58,77	22,57	56,23	50,07	29,30	34,67	27,80	54,77	38,96
9-7	8:00	92,0	18,90	16,17	32,30	32,13	38,13	17,63	51,00	30,70	22,97	27,23	19,13	41,80	29,01
10-7	8:00	116,0	18,67	16,00	22,70	29,03	26,47	16,23	21,33	28,07	19,07	22,87	16,40	55,60	24,37
11-7	8:00	140,0	17,70	15,97	20,97	25,03	18,83	14,97	29,07	23,93	19,33	20,93	13,33	40,97	21,75
12-7	8:00	164,0	14,67	14,53	19,17	17,37	14,87	11,93	21,90	18,10	15,67	16,77	13,37	33,70	17,67
13-7	8:00	188,0	14,67	13,37	17,37	17,27	13,27	11,80	16,27	13,93	14,30	16,70	12,40	27,63	15,75
14-7	8:00	212,0	13,73	11,47	15,57	17,03	13,33	12,43	16,23	13,97	14,03	16,67	12,13	23,70	15,03
15-7	8:00	236,0	13,17	12,80	14,37	15,03	13,00	12,10	13,83	13,50	13,00	14,93	11,00	13,43	13,35
16-7	8:00	260,0	13,30	12,63	15,63	15,53	12,93	11,87	13,83	12,93	12,63	14,97	10,97	14,37	13,47
17-7	8:00	284,0	12,70	12,27	13,43	14,07	12,30	11,57	12,43	11,23	11,70	13,83	9,67	12,63	12,32
18-7	8:00	308,0	10,97	10,63	12,40	13,60	11,23	10,33	10,77	11,43	10,83	13,57	9,33	12,53	11,47
19-7	8:00	332,0	9,35	8,83	11,00	12,12	9,44	8,55	8,98	10,33	9,20	11,00	8,74	11,10	9,89
20-7	8:00	356,0	8,80	8,27	9,77	10,40	7,57	7,90	7,63	8,13	8,10	10,07	7,30	9,23	8,60
21-7	8:00	380,0	8,10	8,10	9,50	10,23	8,37	8,27	7,23	8,13	7,67	9,63	7,33	7,67	8,35
22-7	7:00	403,0	7,19	7,59	9,06	8,23	8,00	7,50	7,35	7,46	7,71	9,18	7,52	7,05	7,82



### MEDIDAS DE CORTE Y MEDIDAS REALES ANTES DEL SECADO

<b>Dimensión</b>	<b>Medidas técnicas de corte</b>	<b>Medidas reales promedios (mm)</b>
Espesor	1 in	26,2
	3 in	81
Ancho	3,25 in	91
	4 in	122
	5 in	141
	1,5 ft	513
Largo	2 ft	649
	2,5 ft	808
	3 ft	952
	5 ft	1572
	6 ft	1874
	7 ft	2179

### MEDIDAS DE FACTURACIÓN Y MEDIDAS REALES DESPUES DEL CEPILLADO

<b>Dimensión</b>	<b>Medidas de facturación</b>	<b>Medidas reales (mm)</b>
Espesor	0,75 in	19
Ancho	3 in	73
	3,25 in	83
	4 in	103
	5 in	133
Largo	1,5 ft	470
	2 ft	620
	2,5 ft	770
	3 ft	920

### VOLUMEN INICIAL - ENSAYO 1

Medidas técnicas (in, in, ft)	Medidas reales promedios en mm			Número de Piezas	Volumen técnico o de corte (pt)	Volumen real	
	Espesor	Ancho	Largo			Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen (pt)
1 x 3 x 1,5	26,2	81	513	58	21,75	0,06	26,76
1 x 3 x 2	26,2	81	649	208	104,00	0,29	121,40
1 x 3 x 2,5	26,2	81	808	418	261,25	0,72	303,75
1 x 3 x 3	26,2	81	952	208	156,00	0,42	178,08
1 x 3,25 x 1,5	26,2	91	513	520	211,25	0,64	269,53
1 x 3,25 x 3	26,2	91	952	684	555,75	1,55	657,92
1 x 3,25 x 5	26,2	91	1572	249	337,19	0,93	395,49
1 x 3,25 x 6	26,2	91	1874	843	1369,88	3,77	1596,17
1 x 3,25 x 7	26,2	91	2179	220	417,08	1,14	484,35
1 x 4 x 1,5	26,2	122	513	2413	1206,50	3,96	1676,78
1 x 4 x 2	26,2	122	649	1548	1032,00	3,21	1360,87
1 x 4 x 2,5	26,2	122	808	1647	1372,50	4,25	1802,63
1 x 4 x 3	26,2	122	952	1404	1404,00	4,27	1810,53
1 x 4 x 5	26,2	122	1572	27	45,00	0,14	57,49
1 x 4 x 6	26,2	122	1874	48	96,00	0,29	121,85
1 x 5 x 1,5	26,2	141	513	2394	1496,25	4,54	1922,66
1 x 5 x 2	26,2	141	649	2812	2343,33	6,74	2857,07
1 x 5 x 2,5	26,2	141	808	266	277,08	0,79	336,48
1 x 5 x 3	26,2	141	952	5912	7390,00	20,79	8811,14
1 x 5 x 5	26,2	141	1572	924	1925,00	5,37	2273,97
1 x 5 x 6	26,2	141	1874	1400	3500,00	9,69	4107,32
<b>TOTAL</b>				<b>24203</b>	<b>25521,81</b>	<b>73,56</b>	<b>31172,26</b>

### VOLUMEN FINAL - ENSAYO 1

Medidas técnicas de facturación (in, in, ft)	Medidas reales en mm			Tablillas de Calidad A			Tablillas de Calidad B			Volumen total (A + B)	
	Espesor	Ancho	Largo	N° de piezas	Volumen real		N° de piezas	Volumen real		m <sup>3</sup>	pt
					m <sup>3</sup>	pt		m <sup>3</sup>	pt		
0,75 x 5 x 3	19	133	920	3612	8,40	3558,62	1874	4,36	1846,30	12,75	5404,92
0,75 x 5 x 2,5	19	133	770	1265	2,46	1043,10	542	1,05	446,93	3,52	1490,03
0,75 x 5 x 2	19	133	620	2025	3,17	1344,50	765	1,20	507,92	4,37	1852,43
0,75 x 5 x 1,5	19	133	470	1531	1,82	770,58	516	0,61	259,71	2,43	1030,29
0,75 x 4 x 3	19	103	920	3085	5,55	2353,83	1373	2,47	1047,59	8,03	3401,41
0,75 x 4 x 2,5	19	103	770	843	1,27	538,33	415	0,63	265,01	1,90	803,35
0,75 x 4 x 2	19	103	620	1377	1,67	708,04	661	0,80	339,88	2,47	1047,92
0,75 x 4 x 1,5	19	103	470	2223	2,04	866,50	789	0,73	307,54	2,77	1174,04
0,75 x 3,25 x 3	19	83	920	680	0,99	418,09	31	0,04	19,06	1,03	437,15
0,75 x 3,25 x 2,5	19	83	770	433	0,53	222,82	59	0,07	30,36	0,60	253,18
0,75 x 3,25 x 2	19	83	620	443	0,43	183,56	45	0,04	18,65	0,48	202,20
0,75 x 3,25 x 1,5	19	83	470	869	0,64	272,95	2	0,00	0,63	0,65	273,58
0,75 x 3 x 3	19	73	920	81	0,10	43,80	5	0,01	2,70	0,11	46,51
0,75 x 3 x 2,5	19	73	770	35	0,04	15,84	5	0,01	2,26	0,04	18,10
0,75 x 3 x 2	19	73	620	34	0,03	12,39	1	0,00	0,36	0,03	12,75
0,75 x 3 x 1,5	19	73	470	67	0,04	18,51	0	0,00	0,00	0,04	18,51
<b>TOTAL</b>				<b>18603</b>	<b>29,19</b>	<b>12371,46</b>	<b>7083</b>	<b>12,02</b>	<b>5094,92</b>	<b>41,22</b>	<b>17466,38</b>

## VOLUMEN INICIAL - ENSAYO 2

Medidas técnicas (in, ft)	Medidas reales promedios en mm			Número de Piezas	Volumen técnico o de corte (pt)	Volumen real	
	Espesor	Ancho	Largo			Volumen (m <sup>3</sup> )	Volumen (pt)
1 x 3 x 1,5	26,2	81	513	715	268,13	0,78	329,88
1 x 3 x 2	26,2	81	649	704	352,00	0,97	410,91
1 x 3 x 2,5	26,2	81	808	583	364,38	1,00	423,65
1 x 3 x 3	26,2	81	952	1199,0	899,25	2,42	1026,56
1 x 4 x 1,5	26,2	122	513	1786	893,00	2,93	1241,08
1 x 4 x 2	26,2	122	649	1133	755,33	2,35	996,04
1 x 4 x 2,5	26,2	122	808	653	544,17	1,69	714,70
1 x 4 x 3	26,2	122	952	1646	1646,00	5,01	2122,60
1 x 4 x 6	26,2	122	1874	168	336,00	1,01	426,46
1 x 5 x 1,5	26,2	141	513	3659	2286,88	6,93	2938,60
1 x 5 x 2	26,2	141	649	2724	2270,00	6,53	2767,66
1 x 5 x 2,5	26,2	141	808	2548	2654,17	7,61	3223,08
1 x 5 x 3	26,2	141	952	7438	9297,50	26,16	11085,47
1 x 5 x 5	26,2	141	1572	828	1725,00	4,81	2037,72
1 x 5 x 6	26,2	141	1874	1347	3367,50	9,33	3951,83
<b>TOTAL</b>				<b>27131</b>	<b>27659,29</b>	<b>79,51</b>	<b>33696,23</b>

## VOLUMEN FINAL - ENSAYO 2

Medidas técnicas de facturación (in, ft)	Medidas reales en mm			Tablillas de calidad A		Tablillas de calidad B			Volumen total (A + B)		
	Espesor	Ancho	Largo	Nº de piezas	Volumen real		Nº de piezas	Volumen real		m <sup>3</sup>	pt
					m <sup>3</sup>	pt		m <sup>3</sup>	pt		
0,75 x 5 x 3	19	133	920	4423	10,28	4357,63	1549	3,60	1526,11	13,88	5883,74
0,75 x 5 x 2,5	19	133	770	2299	4,47	1895,73	940	1,83	775,11	6,30	2670,84
0,75 x 5 x 2	19	133	620	1375	2,15	912,94	563	0,88	373,81	3,04	1286,74
0,75 x 5 x 1,5	19	133	470	1985	2,36	999,09	697	0,83	350,81	3,19	1349,90
0,75 x 4 x 3	19	103	920	1739	3,13	1326,84	576	1,04	439,48	4,17	1766,32
0,75 x 4 x 2,5	19	103	770	850	1,28	542,80	249	0,38	159,01	1,66	701,81
0,75 x 4 x 2	19	103	620	1117	1,36	574,35	384	0,47	197,45	1,82	771,80
0,75 x 4 x 1,5	19	103	470	1475	1,36	574,94	336	0,31	130,97	1,67	705,91
0,75 x 3,25 x 3	19	83	920	576	0,84	354,15	167	0,24	102,68	1,08	456,82
0,75 x 3,25 x 2,5	19	83	770	460	0,56	236,71	76	0,09	39,11	0,65	275,82
0,75 x 3,25 x 2	19	83	620	656	0,64	271,81	113	0,11	46,82	0,75	318,63
0,75 x 3,25 x 1,5	19	83	470	886	0,66	278,29	0	0,00	0,00	0,66	278,29
0,75 x 3 x 3	19	73	920	132	0,17	71,38	8	0,01	4,33	0,18	75,71
0,75 x 3 x 2,5	19	73	770	105	0,11	47,52	9	0,01	4,07	0,12	51,60
0,75 x 3 x 2	19	73	620	117	0,10	42,64	2	0,00	0,73	0,10	43,37
0,75 x 3 x 1,5	19	73	470	287	0,19	79,29	2	0,00	0,55	0,19	79,84
<b>TOTAL</b>				<b>18482</b>	<b>29,65</b>	<b>12566,10</b>	<b>5671</b>	<b>9,80</b>	<b>4151,04</b>	<b>39,45</b>	<b>16717,14</b>

## PANEL FOTOGRÁFICO



Foto 1: Paquetes de madera en el patio de presecado.

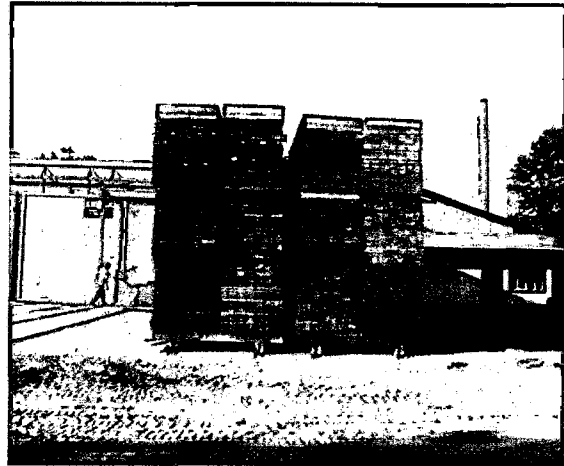


Foto 2: Vista posterior de la carga de madera del ensayo 1.



Foto 3: Vista lateral de la carga de madera antes del secado del ensayo 1.



Foto 4: Interior de la cámara de secado.



Foto 5: Una ventila de la cámara de secado.



Foto 6: Termómetro y detector de humedad dentro de la cámara.



Foto 7: Un pulverizador del sistema de humificación de la cámara de secado.

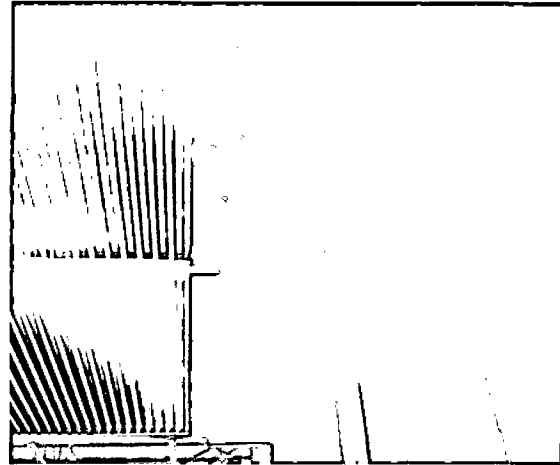


Foto 8: Unos radiadores de la cámara de secado.

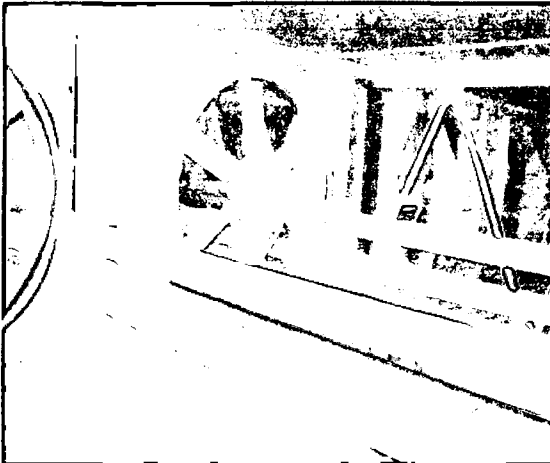


Foto 9: Sistema de ventilación de la cámara de secado.

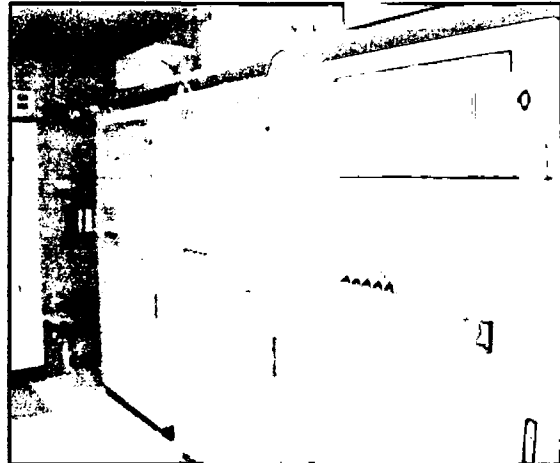


Foto 10: Tableros de mandos de control de las tres cámaras de secado.



Foto 11: Pesando una probeta para el contenido de humedad en el ensayo 1- método gravimétrico



Foto 12: Midiendo el contenido de humedad con el higrómetro- método eléctrico.

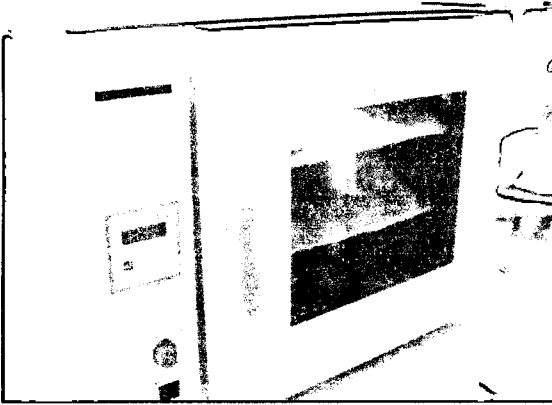


Foto 13: Probetas dentro de la mufla.



Foto 14: Probetas de CH% dentro de la campana de enfriamiento.



Foto 15: Trabajadora clasificando la madera.

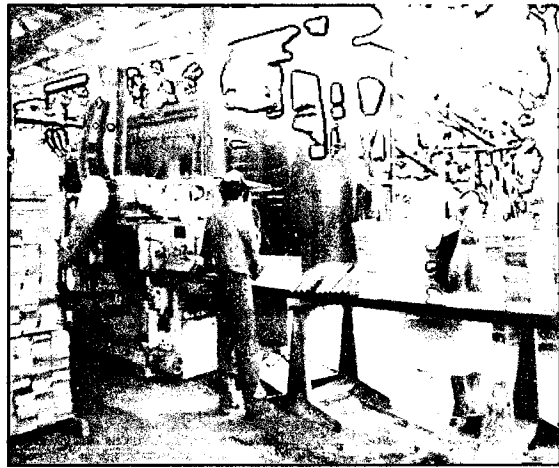


Foto 16: Trabajadores cepillando la madera.



Foto 17: Trabajador despuntado la madera.

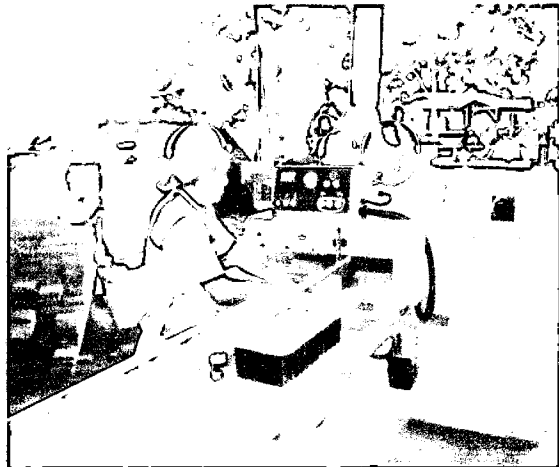


Foto 18: Trabajador canteando la madera.

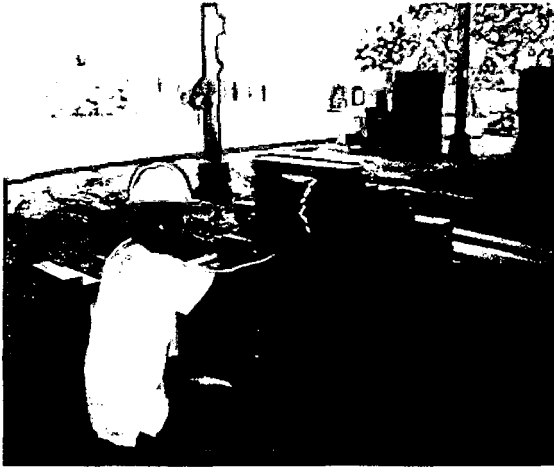


Foto 19: Codificando la madera.

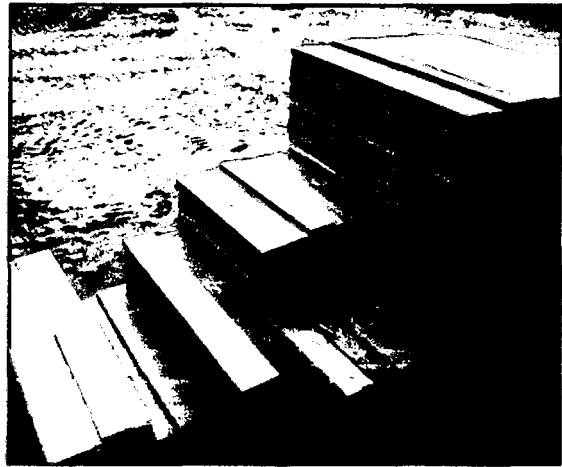


Foto 20: Tablillas secas y cepilladas de calidad "A".