



**UNAP**

**Facultad de Ciencias  
Forestales**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TESIS**

**“EVALUACIÓN DE DOS (02) PROGRAMAS DE SECADO ARTIFICIAL DE LA  
ANDIROBA (*Carapa guianensis* Aubl.) DE 4/4 PULGADA DE ESPESOR EN EL CIEFOR -  
PUERTO ALMENDRAS, IQUITOS-PERÚ.”**

Tesis para optar el título de

**INGENIERO FORESTAL**

Autor

Max Igor Ampuero Dávila

Iquitos - Perú

2016

**ACTA DE SUSTENTACIÓN****DE TESIS Nº 709**

Los miembros del Jurado que suscriben, reunidos para evaluar la sustentación de tesis presentado por el Bachiller **MAX IGOR AMPUERO DAVILA**, titulada: **"EVALUACIÓN DE DOS (02) PROGRAMAS DE SECADO ARTIFICIAL DE LA ANDIROBA (Carapa guianensis Aubl.) DE 4/4 PULGADA DE ESPESOR EN EL CIEFOR - PUERTO ALMENDRAS, IQUITOS - PERÚ."** formuladas las observaciones y analizadas las respuestas, lo declaramos

Con el calificativo de:

En consecuencia queda en condición de ser calificado:

Y, recibir el Título de Ingeniero Forestal.

*Aprobado*  
*Primo*  
*Apto*

Iquitos, 07 de mayo 2016




Ing. JOSE ANTONIO ESCOBAR DIAZ, Mgr.  
Presidente



Ing. OLGUITA GRONERTH ESCUDERO, Mgr.  
Miembro



Ing. WILFREDO MORJ INSAPILLO.  
Miembro



Ing. RONALD MANUEL PANDURO TEJADA, Dr.  
Asesor

TESIS SUSTENTADA Y APROBADA EL 07 DE MAYO CON ACTA DE  
SUSTENTACION N° 709, EN EL AUDITORIO DE LA FACULTAD DE CIENCIAS  
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE AL AMAZONIA PERUANA.

JURADOS



---

ING. JOSE ANTONIO ESCOBAR DIAZ, Mgr.  
Presidente



---

ING. OLGUITA GRONERTH ESCUDERO, Mgr.  
Miembro



---

ING. WILFREDO MORI INSAPILLO  
Miembro



---

ING. RONALD MANUEL PANDURO TEJADA, Dr.  
Asesor

## DEDICATORIA

A DIOS por darme la vida,  
fortaleza y haber permitido  
lograr mis metas.

A mí Adorada madre CARMEN y a mi  
querido padre JOSÉ por su  
desprendimiento e incondicional apoyo  
económico, moral y de valores durante  
mi formación profesional ya que sin sus  
esfuerzos y sacrificio no hubiera sido  
posible culminar mis estudios.

A mi querido hermano  
PAUL y a mi amada esposa  
ROCÍO DEL PILAR, por ser  
motores que me impulsaron  
a lograr esta aspiración.

Y a mis abuelitas, Francisca Torres  
y Filomena Zevallos por ser  
grandes personas muy importantes  
y especiales en mi vida. A mi  
asesor y jefe de práctica, por haber  
apoyado en todo momento y a mis  
amigos por sus apoyos  
incondicionales, en la ejecución de  
este trabajo.

## **AGRADECIMIENTO**

Expreso mi sincero agradecimiento:

- A la Facultad de Ciencias Forestales, que me permitieron el ingreso a su horno industrial de secado, para desarrollar la ejecución del presente trabajo de investigación.
- A todas las personas que de una forma u otra contribuyeron a la ejecución del presente trabajo.
- A la Facultad de Ciencias Forestales y su plana docente por el apoyo y asesoramiento brindado en mi formación profesional y culminación de mi carrera.

**ÍNDICE**

	Pág.
DEDICATORIA	
ARADECIMIENTO	
LISTA DE CUADROS	iii
LISTA DE FIGURAS	iv
RESUMEN	v
I. INTRODUCCIÓN	1
II. EL PROBLEMA	3
2.1. Descripción del problema	3
2.2. Definición del problema	4
III. HIPÓTESIS	5
3.1. Hipótesis general	5
3.2. Hipótesis alterna	5
3.2. Hipótesis nula	5
IV. OBJETIVOS	6
4.1. Objetivo general	6
4.2. Objetivos específicos	6
V. VARIABLES	7
5.1. Identificación de variables, indicadores e índices	7
5.2. Operacionalización de las variables	7
VI. REVISIÓN DE LITERATURA	8
VII. MARCO CONCEPTUAL	16

VIII	MATERIALES Y MÉTODOS	17
	8.1. Lugar de ejecución	17
	8.2. Materiales y método	17
	8.3. Método	18
	8.3.1. Tipo y nivel de investigación	18
	8.3.2. Procedimiento	18
	8.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos	24
	8.3.4. Técnicas de presentación de resultados	24
IX	RESULTADOS	25
X	DISCUSIÓN	32
XI	CONCLUSIONES	37
XII	RECOMENDACIONES	38
	BIBLIOGRAFÍA	39
	ANEXO	43

**LISTA DE CUADROS**

<b>Nº</b>	<b>TITULO</b>	<b>Pág.</b>
01	Programa de secado A (Programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena, 1989)	21
02	Programa de secado B (Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC, 1989).	22
03	Clasificación de secado al horno de aire caliente.	23
04	Control de contenido de humedad de la madera de la andiroba durante el proceso de secado del Programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena.	26
05	Control de contenido de humedad de la madera andiroba durante el proceso de secado del Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC.	28
06	Rendimiento de madera con Programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989).	29
07	Rendimiento de madera con el programa Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989).	30
08	Clasificación de secado de los 02 programas evaluados.	31



**LISTA DE FIGURAS**

<b>Nº</b>	<b>TITULO</b>	<b>Pág.</b>
01	Contenido de humedad de la madera de la andiroba en el proceso de secado del programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena	26
02	Contenido de humedad de la madera de la andiroba durante el proceso de secado del Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC.	28
03	Rendimiento de madera con Programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989).	29
04	Rendimiento de madera cumala con el programa del Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989).	30
05	Cámara de secado.	44
06	Tablas de 4/4" de espesor de la especie andiroba	44
07	Encendido y manipulación del control de la cámara de secado	45
08	Colocación de los 8 sensores de control de contenido de humedad.	45
09	Cuadro del programa de secado de toma de datos.	46
10	Descargue de las tablas de andiroba	46

## RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó en la cámara de secado artificial del CIEFOR Puerto. Almendras, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, ubicado en la ciudad de Iquitos, distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, departamento de Loreto; con la finalidad de evaluar el comportamiento del secado de la madera en base a dos programas de secado para la especie andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), para 4/4 de pulgada de espesor en cámaras con agua caliente.

Los resultados muestran que el programa propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989), alcanzó una humedad final del 06% en 245 horas (10,21 días) y el propuesto por Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989), alcanzó una humedad final del 06% en 241 horas (10,04 días).

El rendimiento del proceso de secado artificial del programa propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989), es 98,47% de madera de primera recuperación 1,87%, rechazo 1,35% y desperdicio 0,18%. y el rendimiento de secado artificial propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989), es 98,41% de madera de primera, recuperación 1,90%, rechazo 1,40%, desperdicio 0,18%.

La clasificación por comportamiento del secado del proceso de secado de ambos programas es **MUY BUENO**.

**Palabras claves:** Comportamiento, secado artificial, madera, programas de secado, cámaras de agua caliente

## I. INTRODUCCIÓN

La madera aserrada seca al aire aún se comercializa en el mercado, especialmente en el nacional y una pequeña proporción del mercado de exportación. La demanda internacional se orienta crecientemente hacia madera secada artificialmente, con un contenido de humedad entre 8 a 12%. Las nuevas normas que prohíben la entrada de madera húmeda, incluso las parihuelas deben cumplir estrictas normas de dimensiones, resistencia mecánica y contenidos de humedad, a fin de lograr productos reciclados a varios países, por criterios ambientales y económicos. La producción de manufacturas de mayor valor agregado como muebles, molduras, paneles sobre la base de listones, puertas, etc., requiere ineludiblemente trabajar con madera secada artificialmente a un contenido de humedad final del 8%. En este caso, las normas son estrictas en los mercados internacionales y no existe ninguna posibilidad de desarrollar este tipo de productos sin contar con secadores apropiados y programas de secado apropiados para cada tipo de madera y espesor de las piezas (Toullier, 2006).

Como premisa fundamental para evitar pérdidas y problemas de calidad, la madera debe secarse en forma controlada, de manera que la humedad final esté definida por las condiciones ambientales o de clima del lugar donde se desarrollará el proceso de secado, propiciando el control del clima en los procesos de eliminación del agua de la madera. Como la mayoría de la madera que se utiliza en la segunda transformación se seca en cámaras, la demanda de madera aserrada seca aumenta permanentemente en gran medida, debido a las exigencias de los procesos de elaboración, a la

necesidad de contar con productos elaborados de alta calidad y a los volúmenes requeridos, que resultaría imposible, económicamente, mantenerlos en inventario.

De otro lado en nuestra región, existe una especie arbórea denominada Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), cuya madera aserrada es exportada, debido principalmente a sus propiedades tecnológicas apropiadas para diversos usos; comportándose en forma regular al secado artificial por presentar diversos defectos que se presentan después del proceso de secado.

En este contexto, se considera necesario evaluar comportamientos de secado a fin de plantear soluciones de mejoramiento de la calidad del secado en las empresas de la especie Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor, con el que se pueda identificar las diferentes etapas del proceso de secado y poder determinar la calidad del producto final que deseamos obtener, para una mayor rentabilidad de la empresa y una mejor satisfacción del cliente.

En tal sentido, este trabajo se considera conveniente mejorar el comportamiento del secado de la madera en base a los dos programas de secado para la especie de Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 de espesor en la cámara de secado en las instalaciones del CIEFOR Puerto Almendras y luego proponer un programa de secado que permita el mejoramiento de la calidad del secado en la especie Andiroba, garantizando la inversión en la producción de madera seca de esta especie en la industria dedicadas a esta actividad económica.

## II. EL PROBLEMA

### 2.1. Descripción del problema

El mercado nacional e internacional requiere de productos elaborados con maderas con un bajo contenido de humedad, razón suficiente para optimizar los programas de secado que son actualmente utilizados y al mismo tiempo, crear nuevas especies que no disponen de estos. El valor agregado que se le otorga a la madera mediante procesos, tales como el secado, es, sin lugar a dudas importante para la valorización del producto. En este sentido el comportamiento de la madera en servicio está casi enteramente determinado por las relaciones de humedad de acuerdo al uso que se le va a proporcionar, por lo que se considera necesario y de vital importancia reducir su contenido de humedad antes de su transformación en productos, a un contenido de humedad apropiado, a fin de obtener un producto estable que se desempeñe satisfactoriamente en servicio.

Hoy en día, en la región Loreto, un número muy limitado de empresas aplica con cierto éxito las técnicas de secado para la especie con densidades medias y altas, llevando un control estricto del contenido de humedad final y de las tensiones internas generadas durante el secado. En el caso de la Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), la situación es poco conocida pero existe evidencia de que se desconoce la tecnología apropiada para esta especie, es decir el tipo de programa y criterios a aplicar, y la respuesta de la madera (pérdidas, desclasificación) frente a las exigencias.

En este sentido, se pretende disminuir los problemas de defectos de secado y mejorar la calidad del producto final aplicando un correcto procedimiento de secado en hornos de compartimento, incrementando por lo tanto el rendimiento de la madera aserrada de buena calidad.

Por todo lo manifestado se propone realizar estudios de comportamiento al secado de madera aserrada de secado artificial que incide sobre la especie Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor, para cuantificar el porcentaje de rendimiento de madera aserrada que fuera sometido a un determinado programa de secado.

Teniendo en consideración lo arriba mencionado el problema de estudio queda definido mediante la siguiente interrogante: ¿En qué medida la evaluación del secado artificial de la madera aserrada de Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor nos permitirá determinar su comportamiento adecuado en el secador artificial del CIEFOR Puerto Almendras en base a dos (02) programas de secado y poder formular una solución de programa que permita el mejoramiento de la calidad del secado de la especie de Andiroba?

## **2.2. Definición del problema**

¿Cuál es el comportamiento de dos (02) programas de secado artificial de la Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor en el CIEFOR Puerto Almendras, Iquitos-Perú?

### **III. HIPÓTESIS**

#### **3.1. Hipótesis general**

Existe, diferencia en el comportamiento al secado artificial de Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor, entre los dos (02) programas de secado en el CIEFOR Puerto Almendras.

#### **3.2. Hipótesis alterna**

No existe, diferencia en el comportamiento al secado artificial de Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor, entre los dos (02) programas de secado en el CIEFOR Puerto Almendras.

#### **3.3. Hipótesis nula**

No existe, influencia del agua caliente en el comportamiento al secado artificial de Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor, en los dos (02) programas de secado en el CIEFOR Puerto Almendras.

## **IV. OBJETIVOS**

### **4.1. Objetivo general**

Evaluar el comportamiento de dos (02) programas de secado artificial de la Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor en el CIEFOR Puerto Almendras, Iquitos-Perú.

### **4.2. Objetivos específicos**

Determinar el contenido de humedad final al secado artificial de la Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor en base a dos (02) programas de secado en el CIEFOR Puerto Almendras. Iquitos-Perú.

Evaluar el porcentaje de defectos al secado artificial de la Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor en base a dos (02) programas de secado en el CIEFOR Puerto Almendras. Iquitos-Perú.





## VI. REVISIÓN DE LITERATURA

### 6.1. Antecedentes del estudio

Fuentes *et al.*, (1996), indican que la madera de latifoliadas presenta una amplia gama de propiedades y factores que caracterizan y definen su comportamiento durante su secado, que en general presentan mayor grado de dificultad que las coníferas para ser secadas, sobre todo las especies clasificadas como duras y semiduras.

Mori (2000), señala que la especie Cumala de 1 1/2" pulgada de espesor tiene una contracción del volumen de 8,42% secado en hornos a base de vapor de agua, el contenido de humedad final fue de 8.5% en 277,5 horas, obteniéndose un aprovechamiento de 98.02% de madera de buena calidad para exportación.

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

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

Ramírez (2004), en práctica pre profesional en industrias reunidas en hornos de compartimiento marca NARDI, en tablas de 0,75 pulg., 1 pulg., 1,5 pulg., y 2 pulg., manifiesta que la Cumala tuvo un tiempo de secado de 10 días y 6,31 horas y para el Cedro, 10 días y 10 horas, para un contenido de humedad final del 8%.

Solignac (2006), en trabajo de investigación en cámaras automáticas a vapor con ventilación lateral, experimentó dos programas de secado donde el programa "B" resultó mejor con relación al tiempo al alcanzar la humedad final del 8% en 166 horas con un aprovechamiento de madera exportable de 99,81% y 0,19% de madera rechazada, a diferencia del programa "A" que alcanzó la misma humedad en 176 horas con un aprovechamiento de 99,91%. Determinó que el costo de secado de madera en horno marca "Benecke" modelo H – 35 – S para la especie *Virola sp.*, es de US\$21.40/m<sup>3</sup> o US\$0.0505/pt.

Panduro (2006), en estudio de tesis de adaptar un modelo constructivo de un secador artificial con sistema de aire caliente, y poder evaluar su comportamiento al secado artificial de la Cumala (*Virola sp.*), de una pulgada de espesor, señala que el tiempo empleado en el proceso de secado es de 171 horas, con un contenido de humedad final promedio del 9,33%, clasificándose dicho comportamiento como un de secado BUENO.

Vela (2008), en estudio de tesis en secado artificial de la madera aserrada de Cumala (*Virola sp.*) de una pulgada de espesor en cámara con ventilación frontal alcanzó una humedad final de 6% en 261 horas (10 días 19 horas); con un rendimiento de primera calidad de un promedio de 94,46% y el 1,50% de desperdicio.

Ramiro (2011), en estudio de tesis en secado artificial de la madera aserrada Capirona (*Calicophyllum spruceanun*) de 3/4 pulgada de espesor en secado

artificial en las instalaciones de la Empresa Maderera Industrias Madex EIRL, determinó que el tiempo de secado establecidos para los dos programas de secado (propuesto por la empresa de 240 horas y por el estudio 216 horas). El contenido de humedad final para los dos programas propuestos se ajustaron a 6% requerido para su posterior empaquetado y exportación.

## **6.2. Marco teórico**

Atencia (2006), manifiesta que cuando hablamos de secado de madera nos estamos refiriendo a la relación entre la madera y la humedad, que es sin duda uno de los aspectos más importantes de la tecnología de la madera.

Zavala (1991), señala que el secado es una forma de mejorar las propiedades tecnológicas de la madera, lo cual se refleja en una mayor resistencia a esfuerzos mecánicos y a la conductividad eléctrica y térmica, que adicionalmente se mejoran las características adherentes con pegamentos y el ensamblado con clavos y tornillos. A su vez, se reducen las probabilidades de ataque de hongos e insectos y se mejoran las características de acabado haciéndola más estable dimensionalmente y con una superficie más adecuada a los barnices y/o pinturas.

El Secado de madera es el proceso más importante para que la madera sea de calidad y esté en buen estado aunque si fallan los anteriores también fallara este.

*(<http://es.wikipedia.org/wiki/Madera>)*

La Junta del Acuerdo de Cartagena (1989), indican que el secado artificial se desarrolla en recintos cerrados dentro de los cuales se establecen climas artificiales progresivamente más cálidos y secos. Cada clima o etapa del sedado se mantiene durante un determinado tiempo, de acuerdo con un programa pre determinado experimentalmente según el tipo de dimensiones de la madera.

El secado convencional es el sistema más generalizado en el mundo y se distinguen varias formas, según la intensidad de la temperatura aplicada y las características de las instalaciones, dentro de este hay varios métodos distintos.

Fuentes y Silva (1992), indican que es necesario considerar otros factores para secar madera, como los tipos de secadores, el apilado y los separadores, la velocidad del movimiento del aire, la humedad de equilibrio de la madera, el gradiente de secado y las etapas que integran el proceso.

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

El Instituto Nacional Forestal y de Fauna (1988), señalan que el secado de la madera es importante porque aporta las siguientes ventajas:

Aumento de la estabilización dimensional de madera seca: El secado previo permite la estabilización en forma y dimensiones de la madera en uso, minimizando los cambios que puedan presentarse como respuesta a variaciones en su contenido de humedad.

Aumento notable de la resistencia biológica de la madera seca contra la pudrición y manchas causadas por hongos xilófagos, cromógenos y moho. Se admite como

regla general, que la degradación de la madera se da por actividad biológica.

El secado, una condición indispensable para la preservación de la madera. La madera verde con un contenido de humedad mayor del punto de saturación de las fibras ( $CH > 30\%$ ) no puede ser tratada ni por el proceso de vacío y presión ni por inmersión o aspersion, pues no se puede inyectar un preservante líquido a una madera con los poros llenos de agua.

El secado, una condición indispensable para los acabados de superficies de madera: La apariencia final de muchos productos de madera determina su rendimiento económico. Todos los procesos de acabado como el laqueado, el barnizado, y el pintado o el teñido requieren para su aplicación una superficie seca y limpia.

Aumento de los esfuerzos admisibles de la madera por secado: Las propiedades físicas y mecánicas de todas las maderas dependen del contenido de humedad. Al secar la madera por debajo del punto de saturación de las fibras (PSF), aumenta su resistencia mecánica. El contenido de esta relación existente entre el contenido de humedad y la resistencia mecánica permite al ingeniero proponer y determinar en forma exacta el uso de la madera como el elemento estructural.

Mendes (1996), indica que la madera contiene agua en su complicada estructura que está formada por células. Esta agua, nada más es aquel líquido que compone la savia del árbol. Cuando toda el agua es retirada de la madera, nosotros decimos que ella está absolutamente seca, y si la pesamos en una balanza, estaremos obteniendo su peso seco.

La Junta del Acuerdo de Cartagena (1989), señalan que el contenido de humedad en la madera, puede ser determinado a través del: Método de Secado en Estufa:

que es el método más exacto y el único científicamente satisfactorio para determinar el agua contenida en la madera. Es realizado mediante probetas extraídas de muestras de madera y calculados por diferencias de pesos (húmedo y seco).

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

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

Mendes (1996), manifiesta que en un programa de secado se dan los valores de temperatura y humedad relativa del aire que es recomendable tener en la cámara para los sucesivos estados de humedad en la madera. Hay dos formas principales de presentar los programas de secado: según el contenido de humedad controlado en muestras de la madera y según el tiempo transcurrido desde el

comienzo del secado. La primera es la forma más utilizada, siendo su aplicación más general y sobre todo independiente del tipo de instalación; en cambio, para establecer un programa sobre la base de horas de secado, se requiere experimentación previa con un determinado tipo de madera (por especie, por espesor, por tipo de corte) y en un horno determinado.

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 el secado (Klitzke, 2005).

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

El mismo autor (1984), manifiesta que cuanto más alta la temperatura y menor la humedad relativa, tanto más rápido se seca la madera. No obstante no puede llevarse esta regla al extremo sin producir defectos. Si no se dispone de un



programa de secado comprobado para una cierta especie y espesor.

Alvares, H. & Fernández, J., (1992), manifiestan que los defectos de secado son todas aquellas imperfecciones que se presentan en una pieza de madera durante el proceso de secado, afectando tanto las propiedades físicas, mecánicas y/o químicas, disminuyendo su calidad, determinando generalmente una limitación en su uso o aplicaciones, la contracción es la causa de defectos como endurecimiento, colapso celular, grietas (internas y externas), rajaduras y alabeo (abarquillado, arqueadura, encorvadura y torcedura).

PROMPEX-WWWF-USAID-INIA-ITTO (2006), mencionan que la especie Andiroba se encuentra en la formación de Bosque Muy Húmedo Tropical en transición a Bosque Húmedo Tropical. Crece sobre suelos aluviales y dispersa a lo largo de los cursos de los ríos donde alcanza su mayor desarrollo con alturas de hasta 50 m. y 1.80 m. promedio de diámetro.

## VII. MARCO CONCEPTUAL

**El contenido de humedad**, se define como el peso de la cantidad de agua presente en una pieza de madera, expresado en función del peso de esa pieza en condición seca al horno o anhidra (Fernández, 1998).

Se entiende por **defecto de secado**, cualquier característica en un producto de madera que ocurre durante el proceso de secado y reduce el valor agregado del producto. El objetivo principal es secar la madera económicamente con tan poco desarrollo de defectos como sea posible (Schrewe, 1984).

Un **programa u horario de secado**, consiste en una secuencia de condiciones climáticas, temperatura y humedad relativa del aire, aplicables durante etapas de secado previamente establecidas para una determinada especie, (Junta del Acuerdo de Cartagena, 1989).

El **tiempo de secado**, es el parámetro que, tal vez, más interesa a quien debe secar madera, y tantos otros factores; por tales motivos se lo puede calcular solo en forma aproximada. Pero lamentablemente es de difícil previsión. El tiempo de secado está, efectivamente, sujeto a muchos factores y por lo tanto muy variable: según la especie, el espesor.

**Conducción de secado.** El proceso de secado se basa en aprovechar la capacidad de la madera para intercambiar humedad con el ambiente en que se ubique. En el secado en cámara, la madera se somete artificialmente a condiciones más severas, forzando ese intercambio de humedad (Klitzke, 2005).

## VIII. MATERIALES Y MÉTODO

### 8.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se realizó en la cámara de secado artificial del CIEFOR Puerto Almendras, de la Facultad de Ciencias Forestales de la Universidad Nacional de la Amazonía Peruana, ubicado al margen derecho del río Nanay a 22 Km de distancia en dirección Sur-Oeste desde la ciudad de Iquitos; geográficamente se encuentra ubicado en las coordenadas 3° 49' 40". Latitud Sur y 73° 22' 30". Longitud Oeste, a una altitud aproximada de 122 msnm. En la jurisdicción del distrito de San Juan Bautista, provincia de Maynas, región Loreto.

### 8.2. Materiales y equipo

- Un horno industrial con agua caliente marca "BENECKE" modelo KM 03 - A con capacidad para 1 000pt. de 1" de espesor.
- Separadores de madera Andiroba de una pulgada cuadrada de sección por 3 pies de largo.
- Tablas de la especie Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de una pulgada de espesor, de longitud y ancho variable.
- 8 pares de sensores para medir el contenido de humedad.
- Útiles de escritorio y papelería en general.
- Wincha métrica.
- Computadora personal.

### **8.3. Método**

#### **8.3.1. Tipo y nivel de investigación**

El presente trabajo de investigación es del tipo experimental. El nivel de la investigación es descriptivo – cualitativo.

#### **8.3.2. Procedimiento.**

El procedimiento a seguir en la investigación, estará circunscrito a las siguientes actividades:

##### **8.3.2.1. Criterio de Selección de Especies**

La especie seleccionada es Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.), de 4/4 pulgada de espesor, de la familia Meliáceae, con densidad de 550 kg/m<sup>3</sup>, por ser esta una madera referida al mayor uso local y de exportación. El árbol alcanza 24 hasta 50 m. de altura total y 0,60 a 0,90 m de diámetro a la altura del pecho. Presenta tronco de fuste recto cilíndrico. La corteza externa es de color gris blanquecino a café. Apariencia de surcos verticales con lenticelas en las depresiones. Exuda resina amarga. La madera es de color claro rojizo, con el tiempo tiene a tomar un color marrón claro rojizo. Olor y sabor ausentes o no distintivos. Brillo mediano a brillante. Grano de entrecruzado a ondulado y textura mediana. Es una madera fácil a moderadamente difícil de trabajar; es más difícil de trabajar y cortar que la madera de Caoba. Ofrece un buen acabado. Como características tecnológicas, es una madera moderadamente pesada con una densidad básica de 0,55 g/cm<sup>3</sup>, contracción tangencial de 8,20%, radial 4,71% y volumétrica de 12,60%.

La madera se puede utilizar en construcción interior y exterior en tabiques, machihembrado, entarimado, carpintería general, algunas otras ebanisterías, chapas y contrachapas de uso general, obras de torneado, toneles, muebles, carrocerías y

construcción interior de botes, canoas. Es muy apreciado para los fabricantes de calzados para hacer tacones.

Fuente ([www.peruwoodproducts.com/andiroba](http://www.peruwoodproducts.com/andiroba). (2006).

#### **8.3.2.2. Población**

La población está referida a 1000 pt., de madera aserrada, que es el volumen de la capacidad del horno del secado del CIEFOR Puerto Almendras.

#### **8.3.2.3. Muestras**

La muestra está referida a 1 000 pt., de madera aserrada, que es el volumen de la capacidad del horno del secado del Ciefor Puerto Almendras; para el presente trabajo de investigación, se realizó 03 repeticiones por cada programa de secado.

#### **8.3.2.4. Selección y Preparación de las Muestras**

Las muestras de madera para el ensayo de secado, fueron de una pulgada de espesor, longitudes de 03 a 14 pies y anchos de 04 a 16 pulgadas; seleccionadas las maderas que presentan condiciones de cara limpia, sin rajaduras, grietas, ni ataques de agentes biológicos.

#### **8.3.2.5. Armado de las pilas**

El armado de las pilas se realizó en forma manual directamente en el patio de apilado, la misma que consistió en colocar las tablas en forma horizontal, sobre bases de madera, separándolos con ripas de una pulgada cuadrada de sección cada 40 – 50 cm. Este proceso terminó cuando la pila alcanzó un número de 31 filas.

#### **8.3.2.6. Control del Contenido de Humedad**

El control del contenido de humedad durante el proceso de secado, se realizó, mediante el controlador automático MR500 el mismo que cuenta con 08 sensores

de control de contenido de humedad el cual marca la humedad directamente en un tablero electrónico.

#### **8.3.2.7. Programas de secado**

Se realizó en base a dos programas, teniendo en cuenta 03 repeticiones por programa.

##### **8.3.2.7.1. Programa de secado A (Programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena, 1989)**

El presente programa es propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (1989), la que se puede observar en el Cuadro 1, el mismo que se encuentra dividido en 10 etapas, considerándola como cada etapa, los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad requerido.

**Cuadro 1. Programa de secado A (Programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena, 1989)**

ETAPAS	ETAPAS	TEMPERATURA (°C)		CH (%)	H.R. (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo Húmedo				
1	CALENT.	40	40	60	94	22	2.7
2	SECADO	40	37	60	80	15	4.0
3	SECADO	40	35	40	70	12.5	3.2
4	SECADO	45	37	30	60	10	3.0
5	SECADO	50	40	25	50	8	3.1
6	SECADO	55	42	20	40	6.5	3.1
7	SECADO	55	37	15	30	5	3.0
8	SECADO	60	40	10	25	4	2.5
9	SECADO	65	40	6	20	3.5	1.7
10	ENFRIAM.	45	25	6	24	4	1.5

**FUENTE:** Programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989)

**8.3.2.7.2. Programa de secado B (Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC, 1989)**

Al igual que en el programa 1, el programa 2, es propuesto por Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), Citado por la JUNAC (1989). El programa se presenta en el Cuadro 2, dividido en este caso en 9 etapas, considerando como cada etapa los respectivos cambios de temperatura y humedad relativa desde un estado inicial de humedad hasta el contenido de humedad requerida.

**Cuadro 2. Programa de secado B (Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC, 1989)**

ETAPAS	ETAPAS	TEMPERATURA (°C)		CH (%)	H.R. (%)	CHE (%)	GS
		Bulbo seco	Bulbo Húmedo				
1	CALENT.	43.5	43.5	60	94	22	2.7
2	SECADO	43.5	41	60	87	17.6	3.4
3	SECADO	43.5	40.5	40	84	16.3	2.5
4	SECADO	43.5	39	30	76	13.6	2.2
5	SECADO	49	41	25	62	9.9	2.5
6	SECADO	54.5	37.5	20	35	5.7	3.5
7	SECADO	60	32	15	15	2.9	5.2
8	SECADO	71	43.5	6	21	3.4	1.8
9	ENFRIAM.	45	25	6	24	4	1.5

**FUENTE:** Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), Citado por la JUNAC (1989).

### 8.3.2.7.3. Evaluación de los programas

La evaluación de los programas de secado se basó en el porcentaje de madera de buena o mala calidad que resulte después del secado y de acuerdo al contenido de humedad final obtenido. Teniéndose la siguiente clasificación:

**Primera. (IA):** Son tablas que no presentan defectos de secado, como: grietas, rajaduras, colapso, abarquillado, alabeo y otros. Esta madera está destinada con fines de exportación.

**Recuperación. (IB):** Son tablas que durante el proceso de secado presentan defectos como: grietas, rajaduras, colapso, abarquillado, alabeo y otros; que pasarán a ser canteados o despuntados para su recuperación hacia tablas de primera, (A o B).

**Rechazo. (X):** Son tablas que tienen exceso de defectos de secado y que no



pueden ser recuperadas y/o ser consideradas como segunda.

**Desperdicio. (D):** son piezas de madera que resulta de las tablas recuperadas.

#### **8.3.2.7.4. Clasificación según el comportamiento al secado**

Para determinar la clasificación del secado en horno se tuvo en cuenta el contenido de humedad final exigido por el programa en el tiempo establecido para cada uno y el volumen final expresada en porcentaje de madera aserrada de primera, que es exclusivamente para exportación. (Cuadro 3).

**Cuadro 3. Clasificación de secado al horno de aire caliente**

<b>Características del Secado</b>	<b>Contenido de humedad final (%)</b>	<b>Volumen de madera (IA;IB) (%)</b>	<b>Tiempo (Horas)</b>
Secado muy bueno	6 - 10	95 – 100	Menor - 240
Secado bueno	10 – 12	85 – 95	240 - 252
Secado regular	12 – 16	85 – 60	252 - 264
Secado malo	16 a más	menor de 60	264 - 276

**Fuente: FYSA (2000)**

### **8.3.3. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.**

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

### **8.3.4. Técnica de presentación de resultados.**

De la información revisada y obtenida se procedió a procesar los resultados, los que se presentan en tablas y gráficos.

## **IX. RESULTADOS**

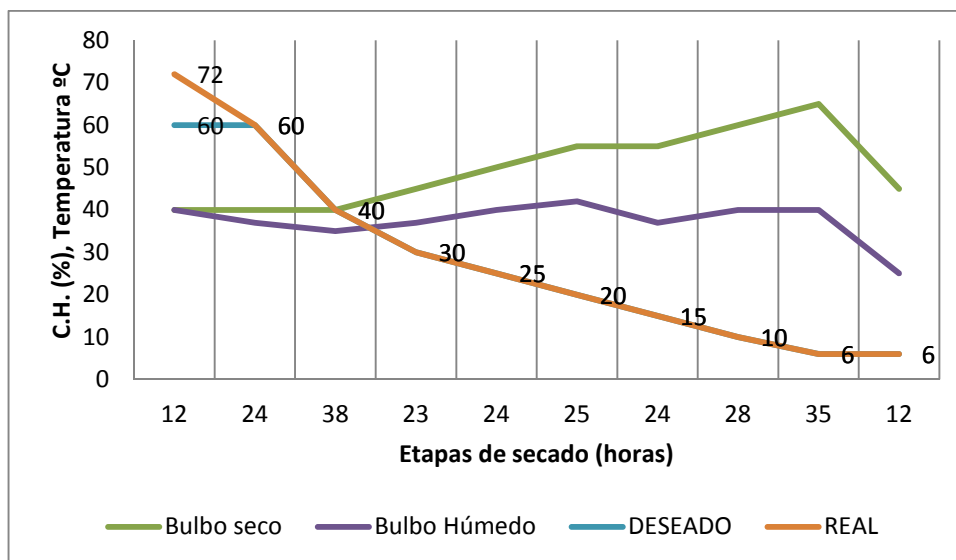
### **9.1. Programa de secado A**

En el Cuadro 4, se puede observar el contenido de humedad para todas las etapas del proceso de secado de la Andiroba, donde empezamos un contenido de humedad inicial real del 72%, con una etapa de calentamiento de 12 horas. De la segunda etapa hasta la cuarta etapa cuando estamos en una temperatura de bulbo seco de 45°C la humedad real de madera desciende de 60% hasta 30%, con 97 horas de secado.

En la siguiente etapa (5) hasta la etapa 9 la temperatura aumenta progresivamente en 5°C hasta llegar a los 65°C en la etapa 9, con un contenido del 6%. En la última etapa (enfriamiento), la temperatura de bulbo seco desciende a 45°C, manteniéndose el contenido de humedad final en 6 %, en un tiempo de 245 horas. Apreciándose de mejor manera en la figura 1, donde están registradas las temperaturas del bulbo seco y bulbo húmedo y la comparación de los contenidos de humedades deseadas por el programa establecido y las humedades reales de las piezas de madera.

**Cuadro 4. Control de contenido de humedad de la madera de la Andiroba durante el proceso de secado del Programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena**

ETAPAS (N°)	DESCRIPCION DE ETAPAS	TIEMPO (Hrs)		TEMPERATURA (°C)		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
		ETAPA	ACUMULADO	Bulbo seco	Bulbo Húmedo	DESEADO	REAL
1	CALENT.	12	12	40	40	60	72
2	SECADO	24	36	40	37	60	60
3	SECADO	38	74	40	35	40	40
4	SECADO	23	97	45	37	30	30
5	SECADO	24	121	50	40	25	25
6	SECADO	25	146	55	42	20	20
7	SECADO	24	170	55	37	15	15
8	SECADO	28	198	60	40	10	10
9	SECADO	35	233	65	40	6	6
10	ENFRIAM.	12	245	45	25	6	6
TOTAL HORAS		245					



**Figura 1. Contenido de humedad de la madera de la Andiroba en el proceso de secado del programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena**

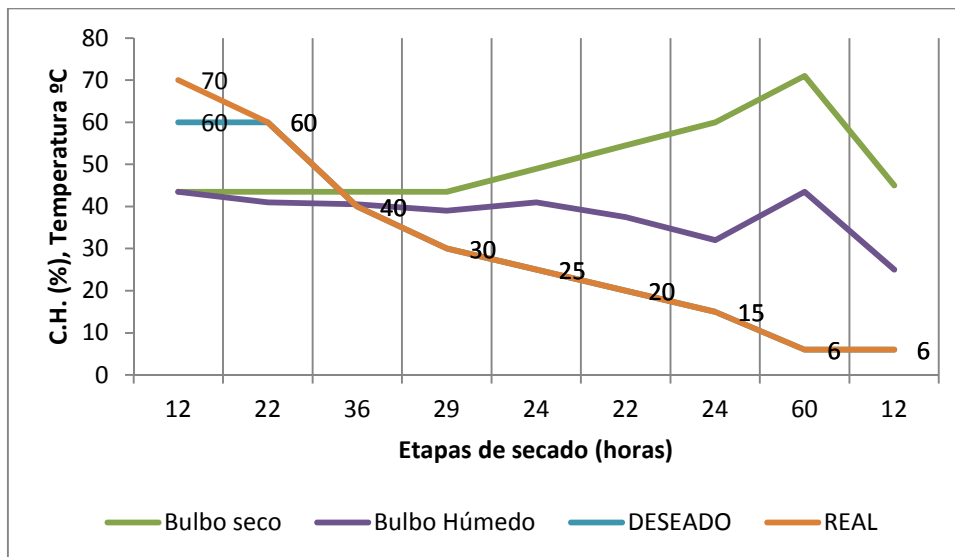
## 9.2. Programa de secado B

En el cuadro 5, se puede observar el contenido de humedad para todas las etapas del proceso de secado de la Andiroba, donde empezamos un contenido de humedad inicial real del 70%, con una etapa de calentamiento de 12 horas.

De la segunda etapa hasta la cuarta etapa cuando estamos en una temperatura de bulbo seco de 43,5°C la humedad real de madera desciende de 60% hasta 30%, con 99 horas de secado. En la siguiente etapa (5) hasta la etapa 8 la temperatura aumenta progresivamente, hasta llegar a los 71°C en la etapa 8, con un contenido del 6%;. En la última etapa (enfriamiento), la temperatura de bulbo seco desciende a 45°C, manteniéndose el contenido de humedad final en 6 %, en un tiempo de 241 horas. Apreciándose de mejor manera en la figura 2, donde están registradas las temperaturas del bulbo seco y bulbo húmedo y la comparación de los contenidos de humedades deseadas por el programa establecido y las humedades reales de las piezas de madera.

**Cuadro 5. Control de contenido de humedad de la madera Andiroba durante el proceso de secado del Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC.**

ETAPAS (N°)	DESCRIPCIÓN DE ETAPAS	TIEMPO (Hrs)		TEMPERATURA (°C)		CONTENIDO DE HUMEDAD (%)	
		ETAPA	ACUMULADO	Bulbo seco	Bulbo Húmedo	DESEADO	REAL
1	Calentamiento	12	12	43,5	43,5	60	70
2	Secado	22	34	43,5	41	60	60
3	Secado	36	70	43,5	40,5	40	40
4	Secado	29	99	43,5	39	30	30
5	Secado	24	123	49	41	25	25
6	Secado	22	145	54.5	37,5	20	20
7	Secado	24	169	60	32	15	15
8	Secado	60	229	71	43,5	6	6
9	Secado (Enfriamiento)	12	241	45	25	6	6
TOTAL HORAS		241					



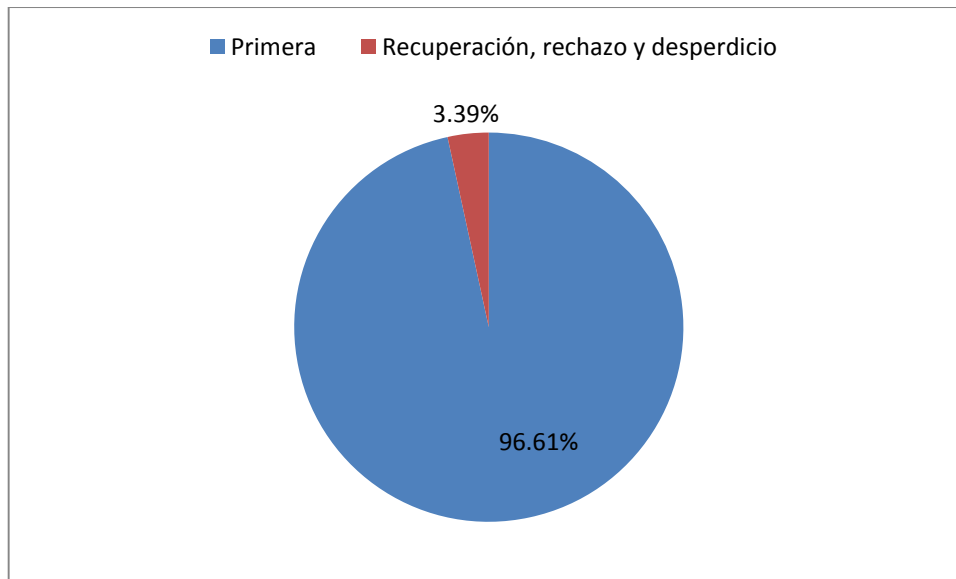
**Figura 2. Contenido de humedad de la madera Andiroba durante el proceso de secado del Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC.**

### 9.3. Rendimiento de madera con el programa de secado del programa A

El rendimiento de secado artificial se muestra en el cuadro 6, figura 3, obteniéndose un 96,61% de madera de primera, 1,87% de recuperación, 1,35% de rechazo y 0,18% como desperdicio.

**Cuadro 6. Rendimiento de madera andiroba con el Programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989)**

Rendimiento										
Repetición	Volumen Inicial		Primera		Recuperación		Rechazo		Desperdicio	
	pt	%	pt	%	pt	%	pt	%	pt	%
R-1	1 015,90	100,00	975,20	95,99	25,00	2,46	14,2	1,4	1,5	0,15
R-2	1 033,60	100,00	1001,00	96,85	15,00	1,45	15,3	1,48	2,3	0,22
R-3	1 008,40	100,00	978,00	96,99	17,00	1,69	11,7	1,16	1,7	0,17
Promedio	1 019,30	100,00	984,73	96,61	19,00	1,87	13,73	1,35	1,83	0,18
Resumen Primera y Recuperación			96,61		3,39					



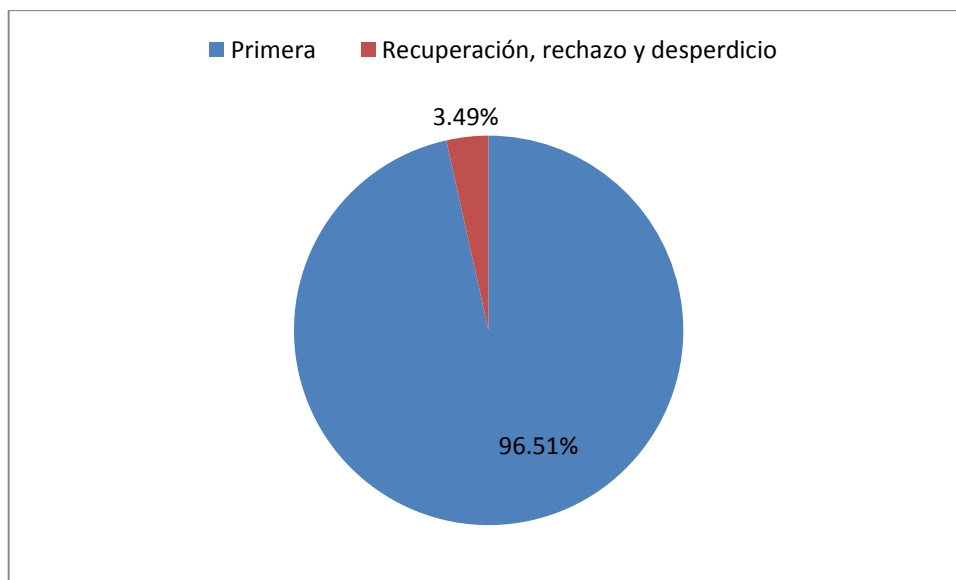
**Figura 3. Rendimiento de madera Andiroba con el Programa Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989)**

#### 9.4. Rendimiento de madera con el programa de secado B

El rendimiento de secado artificial del programa B, se muestra en el cuadro 7, figura 4, obteniéndose un 96,51% de madera de primera, 1,90% de recuperación, 1,40% de rechazo y 0,18% como desperdicio.

**Cuadro 7. Rendimiento de madera Andiroba con el programa Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989).**

Rendimiento										
Repetición	Volumen Inicial		Primera		Recuperación		Rechazo		Desperdicio	
	pt	%	pt	%	pt	%	pt	%	pt	%
R-1	1023,00	100,00	989,00	96,68	17,00	1,66	15,30	1,50	1,70	0,17
R-2	1037,30	100,00	996,00	96,02	25,00	2,41	14,20	1,37	2,10	0,20
R-3	1036,80	100,00	1004,00	96,84	17,00	1,64	14,00	1,35	1,80	0,17
Promedio	1032,37	100,00	996,33	96,51	19,67	1,90	14,50	1,40	1,87	0,18
Resumen Primera y Recuperación			<b>96,51</b>		<b>3,49</b>					



**Figura 4. Rendimiento de madera andirobacon el programa del Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989)**



En el cuadro 8, se aprecia la clasificación de los dos programas evaluados, en la que se observa que teniendo en cuenta los resultados obtenidos en lo referente a contenido de humedad final obtenido, volumen de madera y tiempo en horas podemos clasificar al programa de secado A propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC) clasificación de secado **MUY BUENO**, y el programa de secado B propuesto programa propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989), por el estudio tiene una clasificación de secado **MUY BUENO**.

**Cuadro 8. Clasificación de secado de los 02 programas evaluados**

Programa de secado	Contenido de Humedad final	Volumen de Madera de Primera	Tiempo horas	Clasificación de Secado
1	MUY BUENO	MUY BUENO	BUENO	<b>MUY BUENO</b>
2	MUY BUENO	MUY BUENO	BUENO	<b>MUY BUENO</b>

## X. DISCUSIÓN

### 10.1. Programa de secado A

En el cuadro 4, se observa que a partir de la segunda etapa (2) y antes de entrar al punto crítico de todo proceso de secado (punto de saturación de las fibras) la temperatura se encuentra en 40°C, temperaturas relativamente bajas por considerar la eliminación del agua libre y además para evitar gradientes de secado altos entre la superficie y el interior de la madera, de esta manera impedir posibles alabeos o colapsos de las piezas que se encuentran en proceso de secado.

Claramente se puede apreciar el contenido de humedad real, concluida la cuarta etapa de 97 horas, la humedad se encuentra con un porcentaje de contenido de humedad de 30%, a partir de la siguiente etapa (5) se nota ya el descenso paulatino de humedad hasta obtener el contenido de humedad real final del 6%, que coincide con lo deseado que es el 6%.

Es necesario mencionar que el tiempo requerido para esta programación de secado fue de un total de 245 horas (10,21 días), la que se observa en la figura 1.

## **10.2. Programa de secado B.**

En el cuadro 5, se presenta al igual que en el programa de secado A, en el propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989), también se tiene en cuenta que en la etapa (2) y antes de entrar al punto crítico de todo proceso de secado (punto de saturación de las fibras) la temperatura se encuentra en 43,5°C, temperaturas relativamente bajas por considerar las mismas razones líneas arriba señaladas.

Asimismo, se puede apreciar el contenido de humedad real, concluida la cuarta etapa es de 99 horas, donde la humedad se encuentra con un porcentaje de contenido de humedad de 30%, a partir de la siguiente etapa (5) se nota ya el descenso paulatino de humedad hasta obtener el contenido de humedad real final del 6%, siendo el deseado el 6%.

En términos generales, se puede señalar que los tiempos de secado programados para los dos programas de secado (propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989), y el programa propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989), no sufrieron incremento alguno, es decir se cumplieron satisfactoriamente sin incrementar o disminuir sus tiempos programados. Sin embargo se puede notar que el tiempo requerido para esta programación de secado fue de un total de 241 horas (10,04 días), lo que se aprecia en la figura 2; lográndose una disminución de 04 horas en comparación con el programa propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989).

### **10.3. Rendimiento de madera con el proceso de secado del programa A**

En el cuadro 6, figura 3, se observa que el rendimiento obtenido de madera de primera es de 96,61%, es decir madera que pasa directamente a ser de exportación, mientras que el 1,87% es madera de recuperación lo cual tuvo defectos leves de secado pero sin ninguna incidencia para pasar a un posible proceso de recuperación de las piezas; mientras que el 1,35% son piezas de madera que tienen exceso de defectos de secado y que no pueden ser recuperadas y son rechazadas y el 0,18% que resultan como desperdicios; resultados que consideramos como ACEPTABLE, dado que Salazar (2004), en práctica pre profesional, manifiesta que la cumala de una pulgada de espesor en comportamiento de secado en hornos marca Benecke en Forestal Industrial Yavarí S.A. tuvo un tiempo de secado de 7 días y 12 horas, con un 78,99% de madera de primera para exportación, para un contenido de humedad final del 8%; de igual manera Vela (2008), en estudio de tesis en secado artificial de la madera aserrada de cumala (*Virola sp*), de una pulgada de espesor en cámara con ventilación frontal alcanzó una humedad final de 6% en 261 horas (10 días 19 horas); con un rendimiento de primera calidad de un promedio de 94,46% y el 5,54% de desperdicio y Panduro (2006), en estudio de tesis de adaptar un modelo constructivo de un secador artificial con sistema de aire caliente, y poder evaluar su comportamiento al secado artificial de la cumala (*Virola sp.*), de una pulgada de espesor, señala que el tiempo empleado en el proceso de secado es de 171 horas, con un contenido de humedad final promedio del 9,33%.

#### **10.4. Rendimiento de madera después del proceso de secado del programa de secado B.**

En el cuadro 7, figura 4, se presenta el rendimiento de madera para el programa propuesto, en la que se nota que primera es del orden del 96,51%, es decir madera que pasa directamente a ser de exportación, mientras que el 1,90% es madera de recuperación lo cual tuvo defectos leves de secado pero sin ninguna incidencia para pasar a un posible proceso de recuperación de las piezas; el 1,40% son piezas de madera rechazadas que por efectos del proceso de secado tuvieron defectos de alabeos, grietas o rajaduras y el 0,18% figuran como desperdicios; resultados que consideramos como ACEPTABLE, por los antecedentes que se señala líneas arriba.

En términos generales, se puede acotar que el rendimiento de madera de primera calidad con el programa de secado propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989), 98,47%, en comparación con el programa de secado propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989), que fue 98,41%, es decir son rendimientos muy similares. De igual manera el porcentaje de desperdicio presentan resultados similares para ambos programas; en el programa propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989) (1,53%), en comparación con el programa propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1,59%).

A pesar de que se disminuyó el tiempo de secado en 04 horas con el programa propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), Citado por la JUNAC (1989), no se incrementó significativamente los defectos de secado.

### 10.5. Clasificación por secado.

En el cuadro 8, se puede apreciar que en ambos programas de secado el contenido de humedad final y volumen de madera para exportación resultaron estar dentro del rango de 06% - 10% de contenido de humedad y 95% - 100% de madera para exportación al término del secado correspondiente, considerándoles entonces como un secado **MUY BUENO**; lo que no sucede con el tiempo de secado establecido por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989) de 245 horas y en el Programa de secado del proceso propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989), de 241 horas clasificándose como **BUENO**; teniendo finalmente una clasificación de secado **MUY BUENO** para ambos programas. Esta clasificación final se le está otorgando un mayor peso relativo al contenido de humedad final y al volumen de exportación, toda vez que el industrial requiere la mayor producción de madera seca para poder ofertar al mercado de exportación y podemos resumir que para secar un volumen de 1000 pt., en el programa de la empresa se requiere de 10,21 días, mientras que en el programa propuesto por el estudio se requiere de 10,04 días.

## XI. CONCLUSIONES

1. El programa de secado para 1" de pulgada de espesor de madera de la especie Andiroba propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989), alcanzó una humedad final del 06% en 245 horas (10,212 días).
2. El programa de secado para 1" de pulgada de espesor de madera de la especie Andiroba propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989), alcanzó una humedad final del 06% en 241 horas (10,04 días).
3. El rendimiento de secado artificial del proceso de secado del programa propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989), es 98,47% de madera de primera, recuperación 1,87%, rechazo 1,35% y desperdicio 0,18%.
4. El rendimiento de secado artificial propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989), es 98,41% de madera de primera, recuperación 1,90%, rechazo 1,40%, desperdicio 0,18%.
5. La clasificación por secado del programa propuesto por la Junta Nacional de Acuerdo de Cartagena (JUNAC, 1989), y propuesto por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989) es **MUY BUENO**.

## **XII. RECOMENDACIONES**

1. Utilizar el programa utilizado por el Horario de EE.UU. (Tabla 16, T3-C2), citado por la JUNAC (1989), por el menor tiempo que requiere para obtener el 06% de humedad final en la madera de la especie Andiroba y por encontrarse el porcentaje permisible para madera de primera.
2. Que el personal en el área de secado, sean personal calificados, en lo posible egresados de las aulas universitarias.
3. Determinar el comportamiento al secado de madera de otras especies y espesores con este tipo de horno industrial con agua caliente.



### XIII. BIBLIOGRAFÍA.

- ALVAREZ, H. y FERNÁNDEZ, J. 1992. Fundamentos Teóricos del secado de la madera. Instituto de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria. Madrid, España. 193 pág.
- ATENCIÓN, M. 2006. "Secado de la madera". 9 pág.
- FERNÁNDEZ, J. 1998. "Manual de Secado de Maderas". Centro de Investigación Forestal (CIFOR- INIA). Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y Corcho (AITIM). Madrid, España. 170 pág.
- FLORES, A. 1995. "Secado artificial para Cumala (*Virola sp.*), y Catahua (*Hura crepitans*. L.), en un mismo compartimiento en IMPULSA Iquitos – Perú". Trabajo Profesional Ing. Forestal. Iquitos – Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/Universidad Nacional de la Amazonía. Peruana. 43 pág.
- FUENTES, T. y SILVA, G. 1992. Comportamiento de la madera en el proceso de secado técnico convencional. Influencia de los factores independientes de la madera En Tiempos de Ciencia. Morelia, Michoacán. 62-68. pág.
- FUENTES, T; SILVA, G. y MONTES, R. 1996. Manual del secado técnico convencional de la madera. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco, México. 122 pág.
- INSTITUTO NACIONAL FORESTAL Y DE FAUNA, 1988. "Secado y Preservado de la madera". Ministerio de Agricultura. Lima, Perú. 105 pág.
- JUNTA DEL ACUERDO DE CARTAGENA, 1989. "Manual del Grupo Andino para el Secado de maderas". Proyecto Sub regional de la promoción industrial de la madera para la construcción. Colombia.

- KLITZKE, R. 2005. Curso de Secagem da madeira, Universidad de Federal Do Paraná. 45 pág.
- MENDES. 1996. "A Secagem da Madeira". Instituto Nacional de Pesquisas Amazónicas (INPA). Brasil. 38 pág.
- MORI, W. 2000. "Comportamiento al secado en hornos de compartimiento de la especie cumala (*Virola sp.*) de una pulgada y media de espesor". Islandia – Perú. Práctica pre - profesional. Bach. Ingeniería Forestal. Iquitos – Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/Universidad Nacional de la Amazonia Peruana 18 pág.
- PANDURO, M. 2006. Construcción de un Secador Convencional y Evaluación del Comportamiento al Secado con Aire Caliente de la *Virola sp.* (Cumala) de una pulgada de espesor, Iquitos – Perú". Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 87 pág.
- PROMPEX-WWWF-USAID-INIA-ITTO (2006). Proyecto "Promoción de Nuevas Especies Forestales del Perú en el Comercio Exterior" Cámara Nacional Forestal. Organización Internacional de Maderas Tropicales. Lima. 65 pág.
- RAMIREZ, C. 2004. "Comportamiento al secado automatizado en hornos de comportamientos de la especie Cumala (*Virola sp.*), y Cedro (*Cedrela odorata*), en la empresa industrias reunidas E.I.R.L. "Practica pre profesional. Bach. Ingeniería Forestal. Iquitos, Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 28 pág."
- RAMIRO, F. 2011. "Rendimiento y costo de secado artificial de la madera aserrada de *Calicophyllum spruceanun* (Capirona), de 3/4 pulgada de

- espesor, Iquitos – Perú. Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 60 pág.
- SALAZAR , C. 2004. “Comportamiento de secado artificial en hornos de comportamientos Benecke de la especie Cumala (*Virola sp.*), de una pulgada de espesor en Forestal Industria Yavarí – FYSA”. Practica pre profesional-. Bach. Ingeniería Forestal. Iquitos, Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 30 pág.
- SOLIGNAC, J. 2006. “Determinación de costos operativos del secado artificial de la *Virola sp.* de una pulgada de espesor” Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 70 pág.
- SCHREWE. 1984. “Manual de Secado de la Madera”. Proyecto PNUD/FAO/PER. Lima, Perú. 78 pág.
- TOULLIER, R. (2006). Flujo del proceso de tratamiento térmico para piezas y embalajes de madera con fines fitosanitarios en la empresa Maderas Peruanas SAC. Practica pre profesional. UNU. FCF/DAIF. Pucallpa. 19 pág.
- VELA, I 2008. “Comportamiento al secado artificial de la madera aserrada de Cumala (*Virola sp.*), de diferentes espesores en cámara con ventilación frontal. Iquitos-Perú. Tesis Ing. Forestal. Iquitos, Perú. Facultad de Ingeniería Forestal/Universidad Nacional de la Amazonía Peruana. 80 pág.
- ZAVALA, Z, 1991. Determinación de la capacidad de secado de estufas en función de la producción de madera aserrada en La madera, revista de

tecnología de la madera. <http://www.peruwoodproducts.com/andiroba>.  
(2015).

# ANEXOS



**Figura 5.** Cámara de secado



**Figura 6.** Tablas de 4/4" de espesor de la especie Andiroba



**Figura 7:** Encendido y manipulación del control de la cámara de secado



**Figura 8.** Colocación de los 8 sensores de control de contenido de humedad en la cámara de secado.

Hora	TBS	TBH	HR	H11	1	2	3	4	5	6	7	8
20	38	28	82	47	52	49	41	55	62	33	36	53
22	33	31	88	44	49	46	57	50	61	34	32	59
00	37	34	89	43	45	43	39	48	60	35	33	46
02	39	37	89	41	47	40	36	47	59	36	36	44
04	40	38	84	44	45	53	34	45	55	34	36	42
06	39	36	84	30	41	35	32	42	58	32	31	34
08	39	36	84	33	32	35	30	40	53	30	32	29
10	39	35	76	33	36	32	28	34	51	24	30	56
12	39	36	84	32	37	30	26	38	50	22	28	34
14	35	35	78	31	35	29	26	37	50	26	27	33
16	40	35	75	29	33	27	25	36	49	24	26	31
18												
20												
22												

**Figura 9:** Cuadro del programa de secado de toma de datos



**Figura 10:** Descargue de las tablas