

57397
55235

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES
FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES Y AMBIENTALES
CENTRO DE ESTUDIOS FORESTALES Y AMBIENTALES DE POSTGRADO
Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF-ULA-MARN).

Aspectos del Secado al horno y Anatómicos para la especie
***Gmelina arborea* (Melina), utilizando horarios combinados**
convencional – alta temperatura.

DONACION

Ing. For. Yoston Contreras Miranda.
Prof. Tutor: Jorge A. Durán Pulido, Dr.

SERBIULA
Tulio Febres Cordero

TESIS PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR AL GRADO DE
MAGÍSTER SCIENTIAE EN TECNOLOGÍA DE LOS PRODUCTOS FORESTALES

Mérida, Venezuela.
Diciembre 2.005.

TABLA DE CONTENIDO

I	INTRODUCCIÓN	1
II	OBJETIVOS	3
II.1	OBJETIVO GENERAL	3
II.2	OBJETIVO ESPECÍFICO	4
III	REVISIÓN BIBLIOGRAFICA	5
III.1	IMPORTANCIA DEL SECADO A ALTAS TEMPERATURAS DE LA MADERA.	5
III.2	ANTECEDENTES DEL SECADO EN LA <i>Gmelina arborea</i> MELINA.	12
III.3	CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS EN EL SECADO DE LA <i>Gmelina arborea</i> .	15
IV	METRIALES Y EQUIPOS	17
IV.1	MATERIALES.	17
IV.2	EQUIPOS.	18
V	METODOLOGÍA.	20
V.1	Material seleccionado.	20
V.2	Contracción de las muestras.	22
V.3	Apilado de la madera.	23
V.4	Muestras representativas del control del secado.	23
V.5	Selección de las muestras.	24
V.6	Preparación de las muestras.	24
V.7	Determinación del contenido de humedad y del peso seco al horno de las muestras.	25

V.8	Ubicación de las muestras de secado en la carga de madera.	26
V.9	Supervisión de los sensores de contenido de humedad de la madera.	27
V.10	Acondicionamiento de la cámara de secado.	27
V.11	Evolución y control del secado.	28
V.12	Contenido de humedad final, prueba de esfuerzos y gradiente de humedad.	33
V.13	Observación de los defectos del secado.	35
V.14	Características de Anatomía de las muestras antes y después del secado.	38
V.15	Determinación de la inclinación del grano inclinado o recto.	40
VI	RESULTADOS Y ANALISIS	42
VI.1	Secado en días.	42
VI.1.1	Análisis comparativo para los diferentes tiempos de secado en días	42
VI.2	Fase de calentamiento.	44
VI.3	Fases del secado.	45
VI.4	Fases de ecualización y acondicionamiento.	47
VI.5	Contracción.	47
VI.5.1	Contracción para el Ancho.	48
VI.5.2	Contracción longitudinal.	49
VI.5.3	Contracción del espesor.	50
VI.6	Contenido de humedad final.	52
VI.7	Análisis de los defectos de alabeo: abarquillado, arqueadura, torcedura y encorvadura.	60

VI.7.1	Defecto de arqueadura.	60
VI.7.2	Defecto de encorvadura.	62
VI.7.3	Defecto de torcedura.	63
VI.7.4	Defecto de abarquillado.	64
VII	Grietas y Rajaduras.	66
VII.1	Análisis de las rajaduras.	66
VII.2	Análisis de las grietas	70
VIII.	Defecto de colapso superficial e interno.	72
IX	Porcentaje de médula en las cargas y porcentaje de los tipo de corte; radial, tangencial y oblicuo.	73
IX.1.	Análisis de la médula.	73
IX.2.	Análisis de los tipos de cortes en las piezas.	76
IX.2.1.	Análisis del corte tangencial.	77
IX.2.2.	Análisis del corte radial.	78
IX.2.3.	Análisis del corte oblicuo.	79
X.	Evaluación de la inclinación del grano.	83
XI.	Descripción Microscópica de las muestras antes y después del secado de las especie Gmelina arborea .	87
XI.1.	Descripción general de las láminas estudiadas de la especie Gmelina arborea .	87
XII.	CONCLUSIONES.	89
XIII.	RECOMENDACIONES.	92
XIV.	BIBLIOGRAFIA	94

ÍNDICE DE CUADROS.

CUADRO 1	Programa de la especie Gmelina arborea , para un secado en estufa, según Puente (1.980).	14
CUADRO 2	Tratamiento 1.	29
CUADRO 3	Tratamiento 2.	30
CUADRO 4	Tratamiento 3.	31
CUADRO 5	Tratamiento 4.	32
CUADRO 6	Relación días de secado en cada tratamiento de secado para la madera de Gmelina arborea .	43
CUADRO 7	Comparación de tiempos de secado en días para la especie Gmelina arborea , según varios autores.	43
CUADRO 8	Calentamiento de la madera según su densidad, según JUNAC (1.989).	45
CUADRO 9	Análisis descriptivo para la contracción en el ancho.	48
CUADRO 10	Análisis de varianza para la contracción en el ancho de la probeta.	49
CUADRO 11	Análisis descriptivo para la contracción longitudinal.	49
CUADRO 12	Análisis de varianza para la contracción de la longitud.	50
CUADRO 13	Análisis descriptivo para la contracción en el espesor.	51
CUADRO 14	Análisis de varianza para la contracción del espesor.	51
CUADRO 15	Prueba de Tukey para contracción del espesor.	52
CUADRO 16	Análisis descriptivo para el contenido de humedad final.	53
CUADRO 17	Análisis de varianza del contenido de humedad final.	54
CUADRO 18	Prueba de Tukey para el Contenido de Humedad Final.	55
CUADRO 19	Análisis descriptivo del defecto de arqueadura.	61

CUADRO 20	Análisis de varianza del defecto de arqueadura.	61
CUADRO 21	Análisis descriptivo de los defectos de encorvadura.	62
CUADRO 22	Análisis de varianza del defecto de encorvadura.	62
CUADRO 23	Prueba de Tukey para el defecto de encorvadura.	63
CUADRO 24	Análisis descriptivo del defecto de torcedura.	64
CUADRO 25	Análisis de varianza para el defecto de torcedura.	64
CUADRO 26	Análisis descriptivo del defecto de abarquillado.	65
CUADRO 27	Análisis de varianza del defecto de abarquillado.	65
CUADRO 28	Prueba de Tukey para el defecto de abarquillado.	66
CUADRO 29	Análisis descriptivo para el defecto de presencia de rajadura.	66
CUADRO 30	Análisis de varianza para rajaduras.	67
CUADRO 31	Porcentaje de rajaduras en todos los tratamientos.	67
CUADRO 32	Porcentajes de las nuevas rajaduras producidas por los tratamientos.	70
CUADRO 33	Análisis descriptivo del defecto de grietas.	71
CUADRO 34	Análisis de varianza de las grietas.	71
CUADRO 35	Porcentajes de nuevas grietas producida por los tratamientos.	72
CUADRO 36	Porcentajes de colapso superficial y interno de cada tratamiento.	73
CUADRO 37	Análisis de varianza de todos los tratamientos respecto a la médula incluida y excluida.	73
CUADRO 38	Porcentaje médula presencia o ausencia en todos los tratamientos.	74
CUADRO 39	Análisis de varianza para el corte tangencial.	77

CUADRO 40	Análisis de varianza para el corte radial.	78
CUADRO 41	Análisis de varianza para el corte oblicuo.	79
CUADRO 42	Porcentaje de los tipos de cortes en todos los tratamientos.	80
CUADRO 43	Análisis de varianza de la inclinación del grano.	83
CUADRO 44	Prueba de Tukey para grano inclinado.	84
CUADRO 45	Prueba de Tukey para el grano recto.	84

www.bdigital.ula.ve

ÍNDICE DE FIGURAS.

FIGURA 1	Diferencias de tiempo de un secado al horno a elevada temperatura(ET) con el secado a alta temperatura(HT), y su estabilización de los bulbos húmedos para la especie Southern yellow pine (SPY) (Qinglin y Ramsay, 1.998)	8
FIGURA 2	Vista interna de la cámara de secado del LNPF-ULA-MARN. Fotografía: Yoston Contreras Miranda.	19
FIGURA 3	Cuarto de control de la cámara de secado automático. Fotografía: Yoston Contreras.	19
FIGURA 4	El autor en el proceso de aserradero de las rolas en el aserradero del Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Fotografía: Francisco Ninin.	21
FIGURA 5	Carga lista para el secado de la madera de melina en el carro experimental de secado de la secadora de vapor del Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Fotografía: Yoston Contreras Miranda.	21
FIGURA 6	Toma de datos de ancho, largo, espesor de los tablonos de la especie Gmelina arborea , para cada uno de los tablonos.	22
FIGURA 7	Corte de probetas para determinar el contenido de humedad de la madera durante el secado (JUNAC, 1.989).	25
FIGURA 8	Colocación en la carga de madera de los sensores de humedad (JUNAC, 1989).	27
FIGURA 9	Corte de probetas para las pruebas de tenedor y gradiente de humedad y determinación del contenido de humedad (JUNAC, 1.989).	34
FIGURA 10	Detector de humedad o higrómetro Fotografía: Yoston Contreras.	35
FIGURA 11	Medición de la arqueadura. Fotografía: Yoston Contreras.	37
FIGURA 12	Medición de la encorvadura. Fotografía: Yoston Contreras.	38
FIGURA 13	Muestras de anatomía para la elaboración de las láminas. Fotografía: Yoston Contreras.	40

FIGURA 14	Detector de Grano Inclinado o Recto. Fotografía: Yoston Contreras.	41
FIGURA 15	Histograma de contenido de humedad final del tratamiento 1.	56
FIGURA 16	Histograma de contenido de humedad final del tratamiento 2.	57
FIGURA 17	Histograma de contenido de humedad final del tratamiento 3.	58
FIGURA 18	Histograma de contenido de humedad final del tratamiento 4.	59
FIGURA 19	Porcentajes de rajadura de todos los tratamientos.	68
FIGURA 20	Porcentajes de rajaduras en todos los tratamientos.	69
FIGURA 21	Porcentaje de presencia y ausencia de médula en todos los tratamientos.	75
FIGURA 22	Porcentajes de médula en cada tratamiento.	76
FIGURA 23	Corte tangencial de las muestras. Fotografía : Yoston Contreras	77
FIGURA 24	Corte radial de las muestras. Fotografía : Yoston Contreras	79
FIGURA 25	Corte oblicuo de las muestras. Fotografía : Yoston Contreras	80
FIGURA 26	Porcentajes de los tipos de cortes en todos los tratamientos	81
FIGURA 27	Porcentajes de los diferentes tipos de cortes en cada tratamiento.	82
FIGURA 28	Porcentaje de inclinación del grano en todos los tratamientos.	85
FIGURA 29	Porcentajes de grano en cada tratamiento.	86

AGRADECIMIENTOS.

- Agradezco a nuestra ilustre Universidad de Los Andes por todo los conocimientos que en ella de imparten para el beneficio de nuestra formación profesional.
- Al Centro de Estudios Forestales y Ambientales de Postgrado, a todo el personal administrativo y profesoral gracias por su colaboración.
- A toda mi familia: A mi madre por darme la vida y guiarme por el camino de la felicidad y el amor, a mi padre que nos cuida desde lo mas alto gracias padre, a mis hermanos; Amilkar por ser pilar en nuestra familia, Yulnara por ser la fuerza de la superación, Angel Atilio por ser fuente de esperanza, amor y fortaleza y a Wilver por ser mi padre y guía en todos los proyectos de mi vida gracias hermanos los Amo.
- A todos mis sobrinos, primos, cuñadas y tíos, por darme el apoyo en los momentos que lo necesitaba.
- A todos los profesores con los cuales tuve el privilegio de compartir sus conocimientos, al Centro de Estudios de Postgrado a su personal administrativo.
- Al Laboratorio Nacional de Productos Forestales por darme todo el apoyo para la culminación de esta meta, a todo el personal técnico, obrero y administrativo que labora en tan prestigiosa dependencia.
- A los profesores Jorge Durán, Darío Garay, Williams León, Estyles Valero por su grandioso aporte en la culminación de una de metas de mi vida, así como a todos los profesores que hacen vida en los diferentes laboratorios o secciones del Laboratorio Nacional de Productos Forestales muchas gracias por su apoyo incondicional.
- A todo el personal Técnico del Laboratorio de Anatomía de Maderas que sin su aporte no seria un existo este trabajo.
- A todos mis amigos que estuvieron dándome el apoyo y la fuerza de seguir adelante gracias.
- A la Organización Internacional de Maderas Tropicales por su valioso apoyo en la realización de este trabajo.
- A mi dios por darme salud y vida para seguir adelante en esta lucha por la superación profesional y personal gracias.....

Gracias a todos por su valioso apoyo.....

RESUMEN

En los últimos años en la industria del secado de la madera se ha venido utilizando horarios de alta temperatura, con la finalidad de obtener menores tiempos de secado y con los menores defectos posibles. Esta investigación se realizó con tabloncillos de la especie **Gmelina arborea** (Melina), de 3 m de largo, 5 cm de espesor y de anchos variables, esta especie fue sometida a la aplicación de cuatro tratamientos. En el tratamiento 1 se utilizó un horario convencional, en el tratamiento 2 un horario de alta temperatura y en los tratamientos 3 y 4 un horario convencional hasta lograr los contenidos de humedad de la madera de 40 y 30 % respectivamente, antes de la utilización de la alta temperatura, hasta llegar a un contenido de humedad final de más o menos del 10 %. Después de la aplicación de los procesos de secado en cada tratamiento se evaluó el tiempo de secado, la contracción, los tipos de defectos y la variabilidad en el contenido de humedad final. La variación de los tiempos de secado en días para la especie **Gmelina arborea** en tabloncillos de 5 cm es desde 24 días para el horario convencional hasta 6 días para el horario de alta temperatura. El porcentaje de ahorro en días de secado comparado con el horario convencional fue de 75 % para el horario de alta temperatura y de 67 y 29 % respectivamente para los horarios combinados. La mayor contracción promedio para el espesor la presenta el tratamiento 2 y la menor el tratamiento 1, con respecto a la arqueadura, encorvadura, torcedura y abarquillado son los defectos más comunes en todos los tratamientos. El mayor porcentaje de grietas nuevas lo presentó el tratamiento 3, y para las rajaduras nuevas el mayor porcentaje lo presentó el tratamiento 2, de igual forma para el colapso superficial y interno se observó en el tratamiento 2. La mayoría de los defectos están relacionados con la presencia de medula en las piezas de madera y a los tipos de cortes ortogonales que se le realizan a la madera. Además de la descripción anatómica se observa un alto porcentaje de tilidos presente, así también a la presencia de radios anchos y a las bandas marginales.

Palabras claves: Secado, **Gmelina arborea**, alta temperatura, descripción anatómica.

I.- INTRODUCCIÓN

En Venezuela existen grandes extensiones de bosques naturales y de plantaciones forestales que alcanzan aproximadamente 49,67 millones de hectáreas (Seforven, 2.001), que sirven y servirán de suministro de madera y productos forestales al mercado nacional e internacional, tanto a la industria forestal, la industria de la construcción de viviendas y del mueble en Venezuela.

Por el incremento tan acelerado del uso de la madera en nuestro país en los últimos años, por las industrias antes mencionadas, el fabricante se ha visto en la necesidad de demandar madera seca para procesos industriales, tanto en el mercado nacional e internacional, a fin de garantizar un producto de excelente calidad en el menor tiempo posible a precios solidarios.

A pesar de los altos índices de deforestación registrados en los últimos años en los bosques naturales, la realidad forestal venezolana presenta perspectivas aún alentadoras para el futuro de la industria forestal, en razón del alto porcentaje de bosques existentes los cuales cubren casi la mitad de la superficie del país. Además, se cuenta con un potencial de plantaciones de especies foráneas como las de ***Pinus caribaea*** var. ***hondurensis*** (pino caribe), ***Eucalyptus urophylla*** (eucalipto), ***Gmelina arborea*** (melina) y ***Tectona grandis*** (teca) que fueron en su gran mayoría propuestas agroindustriales para suplir, en el caso del pino caribe y eucalipto, las necesidades de materia prima para la elaboración de pulpa y papel. La realidad de las otras especies (melina y teca), por sus excelentes propiedades físico – mecánicas, ya determinadas en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF – ULA – MARN), así como su trabajabilidad determinadas por el uso cada día más creciente por las micro, pequeñas y medianas empresas, las han preferido especialmente para la elaboración de componentes constructivos, muebles, juguetes, productos domésticos variados, los cuales aumentarían su calidad y demás prestaciones técnicas, al utilizar madera seca.

En ese sentido, y reflexionando sobre las perspectivas futuras del uso de la especie melina por la industria de la construcción y del mueble, es que se fundamenta la realización de la presente investigación. Ante esta ascendente demanda, se determinó que en los llanos Occidentales de Venezuela, la especie melina se ha venido plantando en cantidades considerables en algunas áreas de la Reserva Forestal de Ticoporo del estado Barinas (Jerez y Rodríguez, 1.991). Las mismas, abarcan en la actualidad, junto con las plantaciones forestales de teca, una extensión promedio de 14.000 hectáreas (Contreras, 2.001), las cuales se podrían explotar y garantizar un suministro seguro de materia prima para la industria forestal y del mueble. Además, la empresa Smurfit Cartón de Venezuela tiene plantaciones de melina con un área de plantación de 3.900 ha, entre ésta y otras especies, lo cual garantizan el suministro de materia prima tanto para el sector de pulpa y papel, como para la industria forestal (Márquez y Peña, 1.993).

En la actualidad y dado el gran potencial forestal de Venezuela, existe un número bajo de industrias para el secado de madera sólida, tanto para especies coníferas, como latifoliadas. En el estado Mérida a principios de la década de los años noventa, con fines académicos y de investigación en el área de secado de la madera sólida y la posibilidad de suplir parte de la demanda de madera seca a la sociedad merideña, el Laboratorio Nacional de Productos Forestales de la Universidad de Los Andes, instaló una secadora de vapor con capacidad de 20 m³. Más recientemente, el mismo LNPF - ULA - MARN y con los mismos fines, se instaló la primera secadora de vacío del país. En el contexto de la región del oriente nacional, específicamente al sur del estado Monagas, existen industrias primarias de transformación del pino caribe con plantas industriales de secado, tal como es el caso del Aserradero de CVG - PROFORCA instalado en la población de Chaguaramas y la empresa Terranova de Venezuela, ubicada en Puerto Ordaz.

Todo lo antes descrito, hace que surja la necesidad de implementar y optimizar programas de secado que puedan garantizar un mínimo de defectos, y así abastecer el mercado con productos de excelente calidad. La madera de melina, al igual que

todas las maderas, son consideradas como un organismo vivo; este material, por ser higroscópico, se contrae y se dilata debido a la diferencia de los cambios de humedad y temperatura que presenta el ambiente. Estos cambios influyen en el comportamiento dimensional de la estructura de la madera y por lo tanto en su utilidad, es por eso que ésta debe de estar seca hasta un contenido de humedad en equilibrio con el medio.

Es importante resaltar, que una de las debilidades que se espera disminuir con la esta investigación, es aportar información nueva y actualizada dentro de la temática a desarrollar, ya que son muy limitadas las fuentes bibliográficas en el país, así como las referencias foráneas.

Finalmente, se desarrollaron programas de secado al horno para la especie ***Gmelina arborea***, en tablones de espesor 50 mm, utilizando horarios combinados convencional – alta temperatura; ya que se consideran como una necesidad imperativa que tiene la industria forestal, de la construcción y del mueble en el uso de la especie ***Gmelina arborea***, en razón de la ubicación comercial que ha tenido esta especie maderable dentro del mercado nacional, especialmente por su excelente trabajabilidad a los procesos de aserrado y labrado mecanizado, gran estética natural y a los acabados superficiales.

II.- OBJETIVOS

II.1.- OBJETIVO GENERAL

Realizar el secado para la especie ***Gmelina arborea*** proveniente de los Llanos Occidentales Venezolanos, tablones de un espesor de 50 mm, bajo las condiciones de un secado convencional, así como la combinación de convencional - altas temperaturas y alta temperatura, además la realización de una descripción microscópica antes y después de cada proceso de secado, en el Laboratorio de Anatomía de la Madera.

II.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Elaborar el horario de secado convencional para la especie ***Gmelina arborea*** con un espesor de 50 mm, para ser secada en la cámara del LNPF – ULA – MARN.
2. Elaborar un horario de secado combinado convencional – alta temperatura al 40 % de contenido de humedad de la madera se inicia la fase de alta temperatura, para la especie ***Gmelina arborea*** con un espesor de 50 mm, para ser secada en la cámara del LNPF – ULA – MARN.
3. Elaborar un horario de secado combinado convencional – alta temperatura al 30 % de contenido de humedad de la madera se inicia la fase de alta temperatura, para la especie ***Gmelina arborea*** con un espesor de 50 mm, para ser secada en la cámara del LNPF – ULA – MARN.
4. Elaborar un horario de secado a alta temperatura para la especie ***Gmelina arborea*** con un espesor de 50 mm, para ser secada en la cámara del LNPF – ULA – MARN.
5. Evaluar las contracciones longitudinales, espesor, ancho de la madera, sus defectos, porcentaje de médula, tipo de cortes y grano inclinado de la especie ***Gmelina arborea***, con un espesor de 50 mm, según cada una de las condiciones (secado convencional, secado combinado convencional – alta temperatura y secado de alta temperatura).
6. Realizar una descripción microscópica antes y después del secado de la especie ***Gmelina arborea***, bajo las normativas del IAWA Committee (1.989), y además tomando en cuenta los siguientes aspectos: proporción tñides y orientación del grano.

III.- REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.

III.1.- IMPORTANCIA DEL SECADO A ALTAS TEMPERATURAS DE LA MADERA.

La tecnología de la madera ofrece en los últimos tiempos, un amplio espectro de posibilidades industriales que garantizan el poder desarrollar un excelente proceso de secado de la madera, a fin de mejorar y optimizar tan noble material, usado a través de la historia por el hombre. Entonces, el proceso de secado de la madera se conoce desde tiempos remotos, cuando los carpinteros empezaron a apilar la madera cerca de las hornillas, con el fin de secarla. Obviamente éste ya era un proceso de secado artificial de la madera (JUNAC, 1.989).

El secado al horno se entiende, como un proceso que se utiliza con la finalidad de crear y controlar las condiciones medioambientales de calor, humedad, y circulación del aire necesarios para que se produzca una extracción del agua de la madera, bajo condiciones de tiempo y con una disminución de defectos.

El secado convencional en hornos opera típicamente entre un rango de temperatura de 44 ° C a 83 ° C (110 ° F a 180 ° F), debido a que con esta temperatura la mayoría de las especies de madera latifoliadas y confieras son secadas. Sin embargo, se puede elevar la temperatura de 85 ° C a 95 ° C (190 ° F a 200 ° F), este es un proceso que sólo se realiza en algunas maderas duras y a estas se les incrementa la temperatura en los pasos finales (Simpson, 1.991).

La popularidad del secado a altas temperaturas comenzó a finales del año 1.960, debido a su reducción en los tiempos de secado de la madera (Huffman, 1.974). Este secado opera entre un rango aproximado de 110 ° C a 138 ° C (230 ° F a 280 ° F). La mayoría de las maderas blandas, específicamente los southern pine de los Estados Unidos, pueden ser secados en hornos de alta temperatura (Simpson, 1.991).

En Australia se usa el secado a altas temperaturas desde 1.971. Para la época secaban *Pinus ellioti* de 40 mm de espesor a 120 ° C de temperatura a 12 % de contenido de humedad final en 16 horas después del período de calentamiento, y para ese año lograron secarlo a 200 ° C desde la condición verde hasta 10 % de contenido de humedad en 2,5 horas (McMillen y Wegert, 1.978).

En sentido general el secado a altas temperatura, es aquél que se efectúa a una temperatura de bulbo seco superior a 100 ° C (Kollmann y Cote, 1.968).

Una de las técnicas que se ha implementado desde aproximadamente 42 años, es el secado a altas temperaturas, con la finalidad de reducir los tiempos de secado de las especies, tomando en cuenta que se utilizaran temperaturas superiores a los 100 ° C sobre la madera, y considerando que ésta, por ser un organismo higroscópico reacciona de distintas maneras a la aplicación del proceso de secado. (Simpson, 1996).

De igual forma (Maeglin, 1.983 y 1.990), se estudió el proceso de las rasgaduras de las sierras en el secado (Saw – Dry - Rip) (SDR), para varias especies de madera latifoliadas y éste es descrito para el yellow - polar. El propósito principal de este proceso SDR es reducir el alabeo, especialmente la curvatura, este proceso es efectivo cuando se utiliza un secado a altas temperatura de (113 ° C) (235° F) (Simpson et al., 1.998.)

Este proceso de secado a altas temperaturas se ha realizado sobre todo para especies de maderas coníferas y como el pino del Sur de Canadá, se han creado instalaciones para este tipo de secado, aunque la investigación con respecto a la aplicación del uso del secado a altas temperaturas es sólo sugerido para las maderas latifoliadas (Boone, et al., 1.988).

El secado a altas temperaturas se esta ensayando para secar especies resinosas (pino y abetos), con el fin de poder comparar el secado a altas temperaturas con el

tradicional a media temperatura, se pudo comprobar que la homogeneidad de la humedad final era peor en el de alta temperatura (AITIM, 1.989).

Boone (1.984), usó dos horarios, uno que alcanzó 230 ° F (110 ° C) en la madera verde a un contenido de humedad final designado de 6 a 8 % y el otro con una combinación de horario normal de la condición verde a 20 % de contenido de humedad y uno de secado al horno a alta-temperatura (HTD) de 6 a 8 % de contenido de humedad. Él realizó este experimento con 12 especies y encontró que los horarios combinados reducen la permanencia en el horno, comparada con los horarios convencionales. También encontró que el HTD produce más defectos de secado entre las diferentes especies. Así mismo Boone (1.986), experimentó con el ***Acer rubrum*** (red maple), empezando con HTD al 30, 45, y 70 por ciento de contenido de humedad de la madera (verde), respectivamente se encontró que en esa subida de temperatura a 230 ° F se reduce el contenido de humedad al 20 % y el tiempo de residencia en el horno.

Del mismo modo Simpson (1.980), realizó una combinación de cinco técnicas de secado acelerado: cepillado de la superficie (presurfacing), vaporización previa (presteaming), horario de horno acelerado, horario de suavizado de las fases antes de entrar a alta temperatura (smoothing), y secado de alta temperatura (HTD) por debajo de 18 % de contenido de humedad. Él encontró que usando estos métodos, es posible reducir a la mitad el tiempo de secado en la especie ***Quercus rubra*** (northern red oak).

También se han encontrado mejoras técnicas sobre los horarios que usan HTD para madera coníferas. Se reconoció que usando el secado en hornos para altas temperaturas (HTD) en maderas latifoliadas después del pre-secado por debajo del punto de saturación de fibra los tiempos de secado se reducen significativamente (Arganbright, 1.979).

Sin embargo, Qinglin y Ramsay (1.998), investigaron las diferencias de tiempos de duración del secado del Southern yellow pine (SPY) con dos horarios, el primer horario con vapor de horno elevado o Elevada Temperatura (ET), y el otro horario con un secado de Alta Temperatura (HT) (Figura 1). El horario de ET consistió en un incremento de la temperatura en el bulbo-seco de 170 ° F (76,7 ° C) a 200 ° F (93,3 ° C) en 52 horas a una temperatura de bulbo – húmedo constante de 150 ° F (65,6 ° C). El horario de HT incluye una temperatura de bulbo - seco de 230 ° F (110 ° C) a 280 ° F (139 ° C) y a una temperatura de bulbo – húmedo de 180 ° F (82,2 ° C), la cual tomó aproximadamente 12 horas para que el horno alcance 230 ° F (110 ° C). El tiempo total del secado con el horario de HT es de 30 horas. Durante el secado la dirección de los ventiladores se invierte cada 8 horas y la velocidad del aire a través de la pila es aproximadamente 500 pies por minuto.

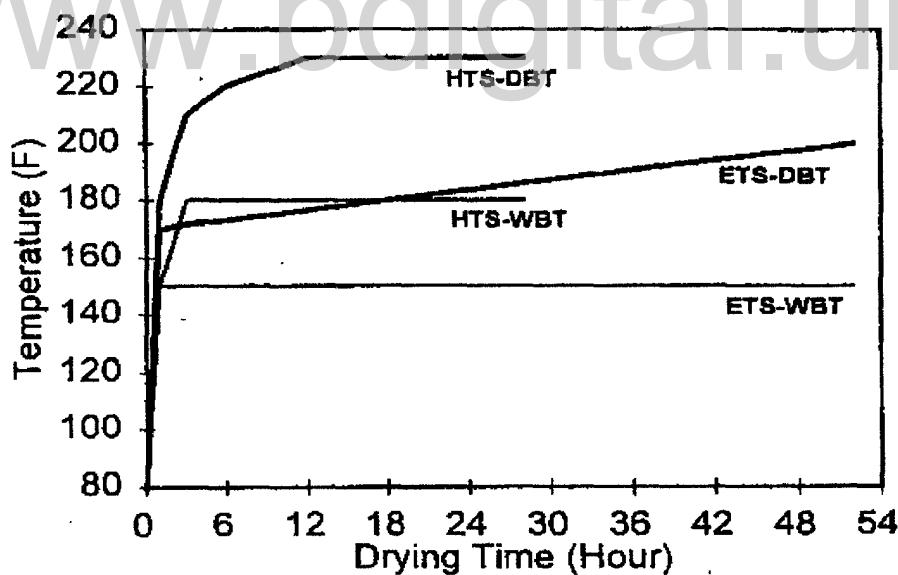


Figura 1. Diferencias de tiempo de un secado al horno a elevada temperatura (ET) con el secado a alta temperatura (HT), y su estabilización de los bulbos húmedos para la especie Southern yellow pine (SPY) (Qinglin y Ramsay, 1.998).

El peligro de este sistema de secado a altas temperaturas, es prescindir del período de igualación para reducir la diferencia de humedades entre unas zonas de la pieza y otra (AITIM, 1.996).

Otras experiencias, como es el caso de los pilotes de madera de *Pinus resinosa* (pine red) se pueden secar usando alta temperatura 170 ° F (76,7 ° C) o temperaturas superiores, sin causar cualquier efecto adverso en las propiedades. El éxito de usar alta temperatura para secar la madera atrajo el interés para la industria de los pilotes de madera (Graham y Womack, 1.972; Lowery y Rasmussen, 1.953; Thompson y Stevens, 1.972). Una preocupación de usar una temperatura de secado mayor de 170 ° F (76,7 ° C) es la reducción potencial en las propiedades de tenacidad. El secado a alta temperatura (HT) de 230 ° F (110 ° C) reduce las propiedades mecánicas de postes de *Pinus resinosa* (pino red) comparadas con aquellos donde se seco a una temperatura de 170 ° F (76,7 ° C) a temperaturas más moderadas (Ying et al., 2.001).

Ciertos estudios indican que cuando la madera es secada a temperaturas altas, la fuerza de compresión al grano y perpendicular al grano es superior a la madera secada al aire, y que la deformación de la madera se reduce cuando la temperatura del secado es mayor a la convencional (Li-DaGang et al., 2.000).

Los estudios de permeabilidad y de flujo de agua en la madera a lo largo de sus tres cortes ortogonales, realizado durante el secado a alta temperatura sobre 100 ° C, indica que el movimiento de evaporación de agua libre entre las caras radiales y tangenciales no es estadísticamente diferente, mientras la proporción longitudinal es aproximadamente tres veces más rápida. Esto explica parcialmente que la variación de humedad en maderas secadas a alta temperatura, como el pino southern yellow, no son causas significantes de los defectos en la madera (Shmulsky, 2.001).

Según Miao-Ping et al. (2.000), la permeabilidad y el traslado de agua durante el secado a alta temperatura del pino de *Pinus massoniana* (masson), tiene un efecto

muy grande en el traslado del agua sobre el punto de saturación de la fibra y menos efecto en el traslado de agua bajo el punto de saturación de la fibra durante el secado a altas temperaturas.

Los defectos más comunes en el secado a altas temperaturas son las grietas internas, colapso, grietas superficiales y en los extremos, además del oscurecimiento de la madera (Wolfe, 1.979; Boone, et. al., 1.988)

De igual forma Qinglin y Ramsay (1.998), estudiaron los horarios de secado al horno de temperatura elevada (ET) y alta temperatura (HT), además de ciertas propiedades de la formación de alabeo en la madera de plantación de 2 a 6 años del Southern yellow pine (SPY). Ellos determinaron que las tablas secadas con el horario de ET tenía la curva de alabeo significativamente más alta que aquellos del horario de HT.

Además, investigaciones realizadas por Price y Koch (1.980), para el Southern yellow pine (SYP), con secados a altas temperaturas 240 ° F (116 ° C) y 270 ° F (132,2 ° C) descubrieron que esta temperatura disminuye el defecto de alabeo colocándole un peso sobre la carga.

Posteriormente Koch (1.974), desarrolló varias aproximaciones para secar Southern pine (SP) en menos de 24 horas a altas temperaturas, y concluyó que en el secado a altas temperaturas (HT) de 240 ° F (115,6 ° C), el alabeo es una limitación inferior o significativamente reducida en la madera.

Todo el contexto antes definido, así como la exigencia por parte de la sociedad moderna en demandar productos de madera sólida de mayor y mejor calidad técnica (con bajo contenido de humedad, lista para su procesamiento industrial o artesanal, mejores condiciones para la aplicación de los acabados superficiales, mayor resistencia mecánica y menor peso, etc.) ha permitido que en la actualidad el secado de la madera ha ya pasado a ser parte fundamental en la industria forestal debido a las nuevas exigencias de los consumidores y al avance de la tecnología. Lo que se

busca siempre es obtener un mejor resultado de los procesos que se implementan, como es el caso del secado a altas temperaturas, teniendo presente sus limitaciones en lo que se refiere a su utilización en nuevas especies, además se sabe de los excelentes resultados que se han obtenido en relación con la calidad de la madera y el menor tiempo utilizado con respecto al secado convencional.

Como se mencionó anteriormente, la investigación del secado a altas temperaturas en Venezuela tiene muy poca difusión, esto puede ser debido a algunos factores como: la falta de interés por parte de los empresarios de la Industria Forestal o en la adquisición de nuevos equipos; la poca información sobre estas nuevas técnicas de secado en nuestras especies; y las limitadas investigaciones realizadas en esta área.

Por ello, una de las grandes características de la madera es que presenta la capacidad de absorber o liberar agua, según como estén las condiciones del medio ambiente donde se encuentre, y por consiguiente, se le califica como un material higroscópico. Debido a lo anteriormente descrito, se hace necesario que la madera posea un contenido de humedad bajo para lograr mejorar sus características y garantizar un material duradero en el tiempo (Encinas, 1.998).

Resaltando las limitadas investigaciones realizadas en Venezuela respecto a la tecnología del secado de la madera, es de resaltar que en el área del secado de la madera a altas temperaturas, Burgos (1.995), realizó un trabajo pionero en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales con la especie ***Bombacopsis quinata*** (Saqui- saqui). De allí que se vea la necesidad de profundizar sobre el secado a altas temperaturas con otras especies comerciales que actualmente demanda el mercado nacional de la madera, ya que estas presentan comportamientos distintos a diferentes condiciones de secado.

En consecuencia, es muy importante la realización de trabajos de investigación sobre la determinación de horarios de secados para las especies autóctonas y foráneas, y en especial para la ***Gmelina arborea***, ya que puede garantizar una reducción en los

tiempos de secado y la obtención de madera seca con un mínimo de defectos, para ser ofrecida al mercado nacional e internacional. Por esta razón, hacer el estudio del comportamiento de la especie ***Gmelina arborea*** cuando es sometida a un proceso de secado a altas temperaturas se hace imperante y primordial para la industria forestal venezolana, ya que con esto se estudiará los posibles defectos que se producen en la madera a altas temperaturas, además de la obtención de un horario de secado óptimo. De ahí, que el presente trabajo cobra igual relevancia al poder ofrecer las bases o los principios de un horario de secado combinado convencional - alta temperatura y alta temperatura para la especie ***Gmelina arborea***, ya que con estos procesos se espera garantizar la obtención de un producto forestal final de alta calidad, libre de defectos y en un menor tiempo de secado, lo cual lo haría más económico comercialmente y asequible a la sociedad venezolana en general, especialmente la micros, pequeñas y medianas industrias del sector del mueble, de la construcción y la artesanía nacional.

III.2 ANTECEDENTES DEL SECADO EN LA *Gmelina arborea*.

La especie ***Gmelina arborea*** se presenta como una alternativa para el abastecimiento de madera en la industria forestal y para la construcción de viviendas, debido a que es una especie que se caracteriza por su rápido crecimiento y turno de rotación (12 años), lo que permite llegar rápidamente a su aprovechamiento final, en comparación con otras especies forestales plantadas (CIIBI, 2.001).

Es por esta razón, la importancia y necesidad de conocer los horarios de secados más óptimos, que garanticen el menor tiempo posible y un mínimo de defectos. Como ya se expuso en el punto anterior, las investigaciones sobre el secado de esta especie son muy reducidas, en el secado convencional y aún más en el secado a alta temperatura, hasta la fecha no se conoce ninguna investigación realizada bajo este proceso, razón por lo que el presente trabajo se hace pionero en el área.

En el caso de Venezuela se conocen sólo los horarios de secado para la **Gmelina arborea** indicados por Hoeger, (1.996), expuestos en la serie de Maderas Comerciales de Venezuela, la cual indica que para secar al aire tablas de melina de $\frac{1}{4}$ de pulgadas se necesitan 11 meses, mientras que en un horno sólo se requieren hasta dos semanas para un espesor de $1 \frac{1}{2}$ de pulgada y seis semanas para espesores de 2 pulgadas. El mismo trabajo es utilizado por Boone et. al. (1.988), los cuales son una recopilación de un grupo de horarios de la literatura mundial. Debido a la amplia variación encontrada dentro de una especie, estos horarios son considerados conservadores, para el uso en hornos vapor - elevados operados entre 110°F y 195°F (43°C y 90°C), con velocidades a través de la madera de 200 a 400 pies por minuto (1 a 2 m / seg). Se listan los horarios para dos grupos de espesores, $4/4$ a $6/4$ y $8/4$ horario americano, y para $4/4$ a $6/4$ acción por el horario británico.

Además, en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (Durán, 2004) ha secado la especie **Gmelina arborea**, con un horario convencional en un tiempo de secado alrededor de 1 mes y 25 días.

Por otro lado, se han desarrollado horarios para secar al horno muchas otras especies de madera. Sin embargo, uno de los grandes problemas especialmente para todas las especies tropicales, es que no se tenga ningún horario recomendado. Otro problema sobre secar las especies tropicales, es la falta de una manera de agruparlas entre si, debido a que es muy costoso llenar un horno con sólo una especie. Existe la posibilidad de estimar los horarios de secado, y agrupar las especies con un elemento esencial; el peso específica como una variable primaria para la predicción de los horarios como es el caso de la especie **Gmelina arborea** (Simpson, 1.996).

Igualmente una investigación realizada por Puente (1.980), para secar la especie **Gmelina arborea** utiliza un horario moderado para el secado en estufa (Cuadro 1). Las dimensiones de las muestras eran de 1 m de longitud, el espesor de 2 cm y de

ancho variable, llegando a la conclusión de que esta especie pierde humedad demasiado rápido por los extremos, lo que produce defectos de agrietamientos, y que en un proceso de secado se extenderían a lo largo de la pieza de madera, con lo cual se obtendría un producto forestal con calidad muy desfavorable.

Cuadro 1. Programa de la especie *Gmelina arborea*, para un secado en estufa, según Puente (1.980).

	CH. (%)	TS. (° C)	DEP. (° C)	TH. (° C)	HR. (%)	CHE. (%)
Paso	Verde	50	3	47	83	15,5
1	60	55	6	49	70	11,5
2	40	60	9	51	61	9
3	30	65	13	52	50	7,25
4	20	70	16	54	44	6
5	15	70	20	50	35	5

Legenda:

CH (%) = Contenido de humedad de la madera.

TS (° C) = Temperatura de bulbo seco.

DEP (° C) = Depreciación de la temperatura del bulbo seco.

TH (° C) = Temperatura de bulbo húmedo.

HR (° C) = Humedad relativa.

CHE (%) = Contenido de humedad de equilibrio.

Canessa (2000), expone que en la manufactura industrial de lápices, se utiliza la especie *Gmelina arborea* en secadores de banda continua. El proceso toma 2 horas y 45 minutos, debido a las dimensiones de las muestras, sin embargo, esta especie presenta niveles de deformación y colapso apreciables, tomando en cuenta que son muestras relativamente pequeñas. Se estima que los procesos de secado deberían ser bajo programas de secado muy lentos.

Finalmente, Córdoba (2.000), evaluó a nivel de laboratorio y simulando las condiciones de un secador industrial, diferentes ciclos de secado artificial para la empresa MADERÍN ECO S.A., tanto para el corte radial y el corte tangencial. En éste

trabajo se llegó a la conclusión de que para lograr secar madera impermeable, la cual desarrolla defectos como colapso y alabeos, es necesario secarla a una razón de eliminación de agua muy lenta y tener un control muy estricto de la humedad relativa del medio, siendo necesario mantener altas humedades relativas en las primeras etapas de secado y al final del proceso, a fin de lograr disminuir los esfuerzos (tensiones) de secado.

III.3 CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS EN EL SECADO DE LA *Gmelina arborea*.

En el proceso de secado de la madera se deben considerar toda una serie de características anatómicas. Una de las más importantes es el diámetro de los elementos vasculares, la presencia de tilides, gomas, diámetro de las punteaduras y los radios. Además de las tasas de contracción que se presentan entre los diferentes tipos de tejidos que conforman una pieza de madera, las cuales son de gran importancia para el secado de la misma.

En algunas especies latifoliadas, como es el caso de la *Gmelina arborea*, se pueden presentar cambios anatómicos cuando ocurre una transformación de albura a duramen. Tal como lo indican Hillis (1.987), Datta & Kumar (1.987) y Burger & Richter (1.991), el cambio anatómico más notable en las maderas latifoliadas es cuando ocurre la transformación de albura en duramen con la formación de depósitos de extractivos en los vasos de algunas especies. Adicionalmente, Burger & Richter (1.991), señalan que la presencia de tilides influye negativamente en los procesos de secado y preservado de la madera, ya que obstruyen las principales vías de circulación de líquidos. En aquellas maderas en donde, además de los cambios anatómicos como el desarrollo de depósitos de tilides o gomas, la proporción de albura y duramen es de notable importancia en el proceso de secado.

La infiltración de gomas y otros tipos de sustancias en el duramen hacen que éste sea más resistente al flujo de humedad que la albura, y por esta razón el duramen

requiere de mayores tiempos de secado. La menor permeabilidad del duramen también lo hace más susceptible a ciertos defectos y por ello requiere de condiciones de secado más suaves (Simpson, 1.991). En aquellas maderas en donde no se forman depósitos de tálides o goma y la cantidad de extractivos es baja, la velocidad de secado y la permeabilidad del duramen, es similar a la de la albura (Thomas, 1.981). Tomando en cuenta la diferencia de permeabilidad entre la albura y el duramen al ser sometida a un proceso de secado, la porción correspondiente a la albura alcanzará con mayor rapidez el contenido de humedad final deseado y será sometida a un secado adicional para poder lograr que el duramen alcance el nivel de humedad deseado (León y Espinoza de P., 2.001).

En el proceso de secado existen otras características que influyen como es el caso de los anillos de crecimientos, orientación o tipos de grano, cantidad y tipo de parénquima, etc.

Por otro lado, las diferencias entre madera temprana y madera tardía pueden influir sobre la tasa de contracciones que ocurren en el proceso de secado. Simpson (1.991), señala que mientras mayor es el peso específico de la madera, más lenta es la tasa de secado y mayor es la probabilidad de desarrollo de defectos durante el mismo. Si se toma en cuenta la relación que existe entre la estructura anatómica y el peso específico, se puede llegar a inferir sobre el comportamiento en el secado de una pieza de madera (León y Espinoza de P., 2.001). En maderas donde existan diferencias notables de peso específico entre leño temprano y leño tardío, existirá una tasa de contracción desigual a lo ancho del anillo y esto se traduce en una mayor susceptibilidad a la formación de defectos de secado. Por esta razón, desde el punto de vista del secado, es importante determinar que características definen a los anillos de crecimientos y conocer las diferencias entre leño temprano y leño tardío. Esto es aplicable en aquellos casos en donde se desarrolla una porosidad circular o semicircular, engrosamientos de paredes de las fibras en la madera tardía o definición de anillos de crecimientos por zonas ausentes de poros. (León y Espinoza de P., 2.001).

El ancho de los radios, es otra de las características anatómicas importantes en el secado de la madera, debido a que los radios representan zonas “débiles” y secan con mayor rapidez que las células circundantes; defectos tales como las grietas superficiales, de los extremos y el honeycomb (panal de abeja) usualmente se desarrollan en cercanías a los radios (Simpson, 1.991). Maderas con radios anchos tienden a presentar grietas cuando son sometidas a procesos de secado (JUNAC, 1.989).

Tomando en consideración que los radios están constituidos por células de naturaleza parénquimática, los mismos criterios podrían aplicarse con respecto al parénquima axial, y por esta razón, el tipo de parénquima es un elemento importante a tomar en consideración durante el secado, especialmente si es el parénquima en bandas (León y Espinoza de P., 2.001).

Con respecto a la orientación del grano, las piezas que presentan grano inclinado, espiralado o entrecruzado tienen una tasa de contracción longitudinal mayor que las piezas de grano recto. Igualmente son mas susceptibles a desarrollar arqueaduras y torceduras durante el secado (Kollman y Coté, 1.968).

IV.- MATERIALES Y EQUIPOS.

IV.1.- MATERIALES

La materia prima que se utilizó en la elaboración de este trabajo de investigación es la especie ***Gmelina arborea***, con una aproximada entre los 15 y 20 años de plantación, proveniente de la Reserva Forestal Ticoporo Unidad experimental N° 4 en COMODATO ULA – MARN, ubicada en el Distrito Pedraza del estado Barinas, Venezuela (Paredes, B y José, M., 1.988)

IV.2.- EQUIPOS.

El equipo que se utilizó para la realización de esta investigación fue la planta de secado de la Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales (Figura 2), ubicada en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales (LNPF – ULA – MARN)), y que presenta las siguientes características:

- Es una cámara de secado construida en aluminio, marca Gottert, modelo TG90AR, con capacidad instalada para 20 m³ / carga, sistema de calefacción por vapor saturado a través de intercambiadores de calor de tuberías con aletas, sistema de humectación por inyección de vapor y rocío de agua fresca, sistemas de ventilación forzada provisto de seis ventiladores con motores internos, sistemas de carros sobre rieles.
- Un sistema de control computarizado marca GANN – HYDROMAT, modelo TK – MP 4016 diseñado para la entrada de datos y visualización de resultados a través del computador central MPC 4016 (Figura 3).
- Una caldera de 100 HP, de presión de trabajo de 150 lb / pulg² marca JET.
- Suavizador de agua para caldera.
- Tanques de almacenamiento para combustible de una capacidad de 5.000 L., y tanque de almacenamiento de agua.
- Carro de apilado especial para investigación.
- Balanza.
- Estufa de secado.
- Máquina canteadora. Marca B.A.UERLE.
- Máquina trozadora DE WALT.
- Máquina cepilladora ELSINOR SUPER 500.
- Cinta métrica y Vernier digital.
- Medidor de Humedad del tipo de resistencia, Lignomat.
- Banco para determinar los tipos de alabeo.
- Equipo utilizado en el laboratorio de Anatomía para la descripción (Microscopio)

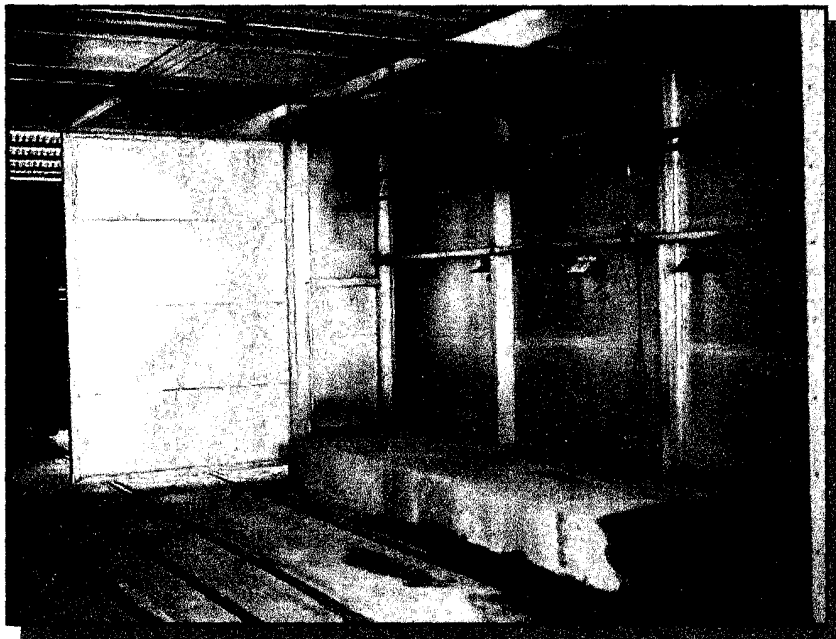


Figura 2. Vista interna de la cámara de secado del LNPf-ULA-MARN.
Fotografía: Yoston Contreras Miranda.

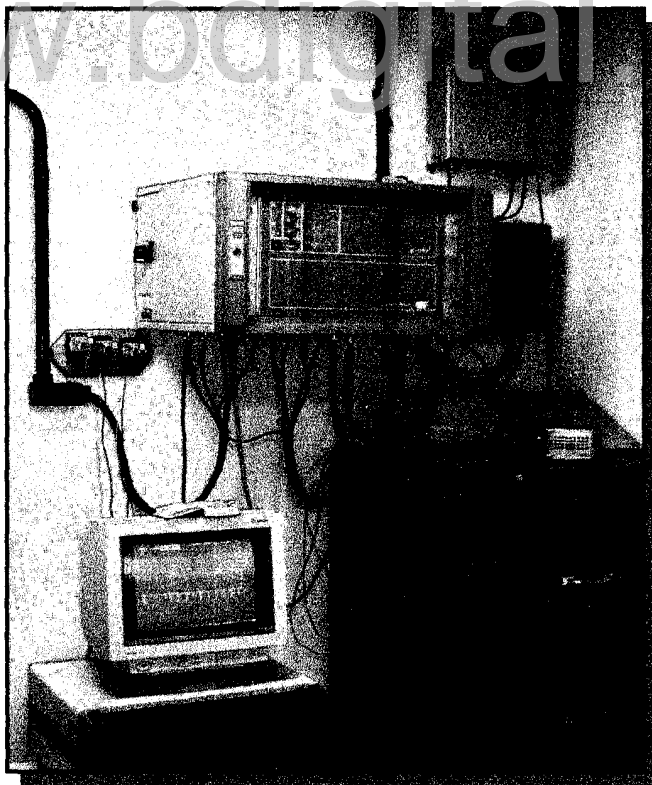


Figura 3. Cuarto de control de la cámara de secado automático.
Fotografía: Yoston Contreras.

IV.- METODOLOGÍA.

IV.1.- Material seleccionado.

El material que se utilizó provino de la Reserva Forestal Ticoporo. Unidad experimental N° 4 en COMODATO ULA – MARN, ubicada en el Distrito Pedraza del estado Barinas, luego se traslado al patio de rolas del aserradero del Laboratorio Nacional de Productos Forestales, en donde se procedió a realizar el aserrío de las rolas de madera de *Gmelina arborea* (Figura 4). Se seleccionaron tabloncillos de 50 mm de espesor, los cuales presentaron algunos defectos de rajaduras, agrietamientos, pudrición moderada en algunas piezas. En el caso de los tabloncillos que presentaron algún tipo de defecto, se delimitó su longitud en caso de rajadura y grietas antes del secado, para proceder después del secado a la evaluación de estos defectos. Se utilizaron aproximadamente 3 m³ de tabloncillos de *Gmelina arborea* para cada tratamiento.

Las dimensiones de los tabloncillos fueron de 3 m de longitud, debido a las dimensiones que presenta el carro de experimentos de la planta de secado (Figura 5). Los tabloncillos presentaron anchos variables, el espesor de los mismos fue de 50 mm, siendo éste factor un componente técnico fundamental en los procesos de secado, debido a que un aumento en el espesor conduce a mayores tiempos de secado.

A cada tablón se le midió la longitud en la parte central con una cinta métrica, se tomaron cuatro mediciones en el ancho de cada muestra, así mismo en la parte de los extremos y en la central, garantizando de esta forma, un ancho homogéneo en las muestras. Dicho espesor se midió en ocho sitios distintos a fin de alcanzar la mayor homogeneidad dimensional del mismo. Al mismo tiempo, el contenido de humedad se midió en cuatro sitios del tablón, estas mediciones de ancho y espesor se realizaron con un vernier digital (Figura 6).



Figura 4. Aserrado de las rolas en el aserradero del Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Fotografía: Francisco Ninin.

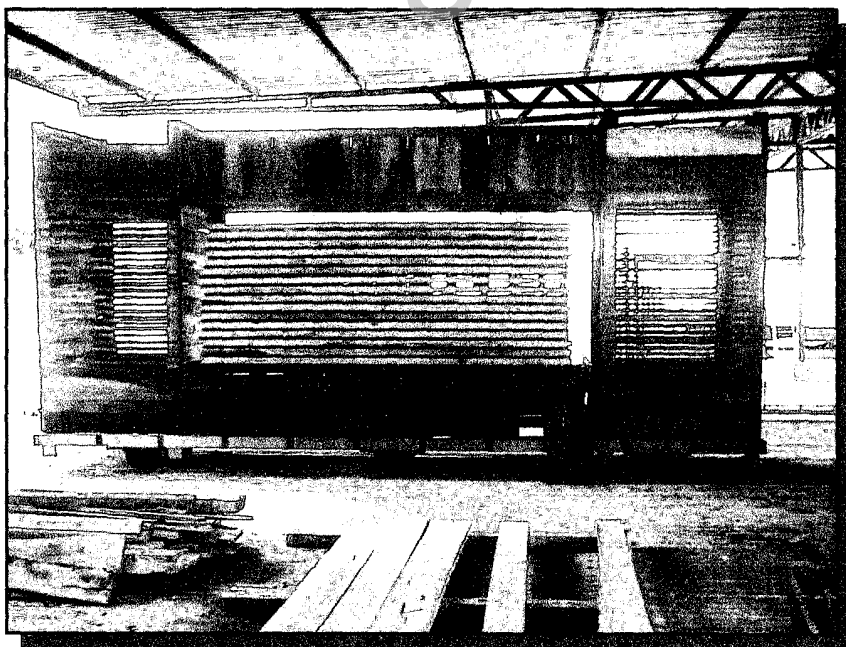


Figura 5. Carga lista para el secado de la madera de melina en el carro experimental de secado de la secadora de vapor del Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Fotografía: Yoston Contreras Miranda.

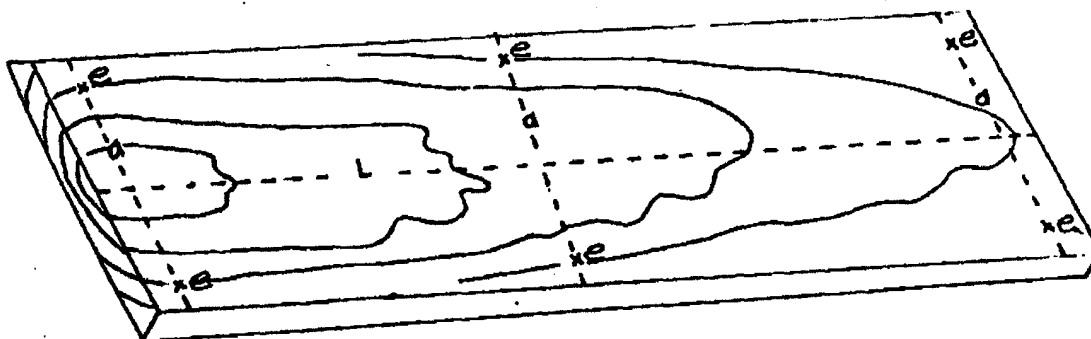


Figura 6. Toma de datos de ancho, largo, espesor de los tablones de la especie *Gmelina arborea*, para cada uno de los tablones.

V.2.- Contracción en las muestras.

Las mediciones anteriores se utilizaron para la realización de los cálculos de contracción que sufren las piezas de madera, después de ser sometidas a un proceso de secado. Este resultado se expresa en porcentajes de contracción o cambio de dimensiones. La fórmula que se utilizó para la realización de estos cálculos es la siguiente:

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

Donde: C = Contracción
 Dv= Dimensión en Verde
 Do= Dimensión final después del secado.

En cada uno de los tratamientos después de los proceso de secado, se procedió a la medición del contenido de humedad de cada uno de los tablones, y a los tablones representativos de la carga de madera, los cuales eran aquellos que tenían los

sensores de humedad, se les calculó el contenido de humedad por el método de secado en estufa.

De acuerdo al uso posible y a las condiciones ambientales que se les dio a la madera después de ser sometida a los diversos tratamientos, el contenido de humedad final fue del 10 % (JUNAC, 1.989)

V.3.- Apilado de la madera.

Después de haber preparado el material para los procesos de secado, éste fue colocado en el carro diseñado para el experimento (Figura 5). Cada carga de madera tenía una pila de 16 hileras de tablones aproximadamente de 1,60 m de alto, ancho del carro es 1,60 m y la longitud del mismo de 3 m, el espesor de los tablones fue de 50 mm, con un ancho de piezas de los tablones que varió entre un rango de 15 y 40 cm.

Los separadores que se utilizaron son de madera seca, libres de cualquier defecto y con unas dimensiones de 3 cm de espesor por 2,5 cm de ancho y con una longitud de 1,60 m, los cuales se colocaron cada 50 cm de separación uno del otro, y en los extremos se situaron de tal forma que formaron un sólo plano. Con esto se disminuyen las deformaciones en el proceso de secado, como las rajaduras y grietas en los extremos. (JUNAC, 1.989).

V.4.- Muestras representativas del control del secado.

En el control del secado se midió la humedad de toda la carga de madera, en cada uno de los tratamientos antes y después del proceso del secado, es por eso que se utilizaron dentro de la carga unas muestras representativas del 10 % de la carga total de cada uno de los tratamientos, y así poder determinar su contenido de humedad. Este proceso se realizó con la finalidad de determinar los esfuerzos que siguen un patrón relacionado con los cambios de humedad (JUNAC, 1.989).

V.5.- Selección de las muestras.

Se seleccionaron 8 muestras de un total de 80 tablones por carga, esto representa el 10 % en cada tratamiento, las muestras seleccionadas presentaron los menores defectos y tienen un ancho representativo de la carga, a las cuales se les colocó los sensores de humedad, estos estaban distribuidos en todas las cargas y de ellos se obtendrían las muestras para los diferentes ensayos, como los de contenido de humedad, gradiente de secado y las pruebas de tenedor.

V.6.- Preparación de las muestras.

Las muestras seleccionadas para el control del contenido de humedad durante el secado presentaban pocos defectos. El corte de las probetas tienen un ancho de 25 mm, el espesor igual al del tablón y una longitud equivalente al ancho del mismo, el corte se realizó a una distancia mayor de 50 cm de los extremos para evitar el efecto del secado longitudinal (Figura 7).

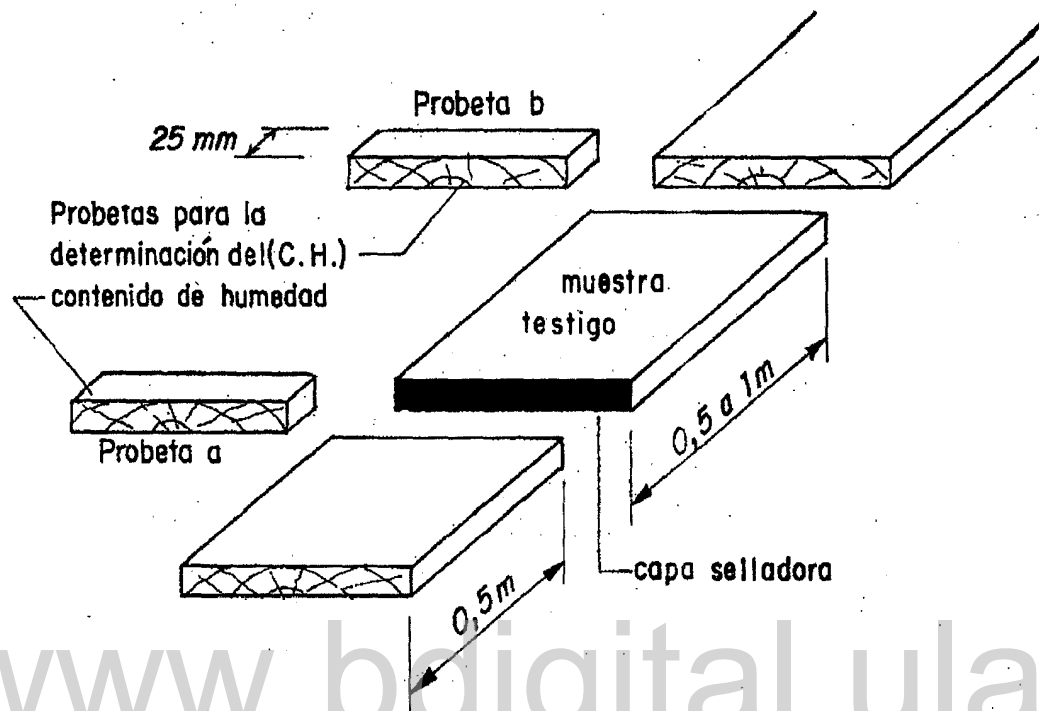


Figura 7. Corte de probetas para determinar el contenido de humedad de la madera durante el secado (JUNAC, 1.989).

V.7.- Determinación del contenido de humedad y del peso seco al horno de las muestras.

En la determinación del contenido de humedad de las muestras se procedió a obtener el promedio de las dos probetas cortadas para tal fin, para este proceso las probetas se identificaron y se pesaron, y se utilizó el secado en estufa a una temperatura de $103^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ hasta que las probetas alcanzaron un peso constante; para este cálculo se aplicó la siguiente fórmula:

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

Donde :

CH = Contenido de humedad de la madera

P_v = Peso de la madera verde o estado inicial

P_{sh} = Peso seco al horno de la madera o estado final.

Al obtener el valor de contenido de humedad de las probetas, se procedió a calcular el peso seco al horno (P_{sh}) de las muestras testigos, en función de su peso inicial y su contenido de humedad (CH promedio de las probetas) mediante la fórmula (Simpson, 1.991):

$$P_{sh} = \frac{\text{Peso inicial de la muestra}}{100 + CH (\%) \text{ de la muestra}} * 100 \%$$

V.8.- Ubicación de las muestras de secado en la carga de madera.

Las ocho (8) muestras testigos se ubicaron dentro de la pila o carga de madera, se realizó para tener una representatividad de la pila, estas muestras estaban distribuidas dentro de diferentes hileras de la carga de madera, y así se obtuvieron registros de humedad en diferentes sitios de la carga (Figura 8).

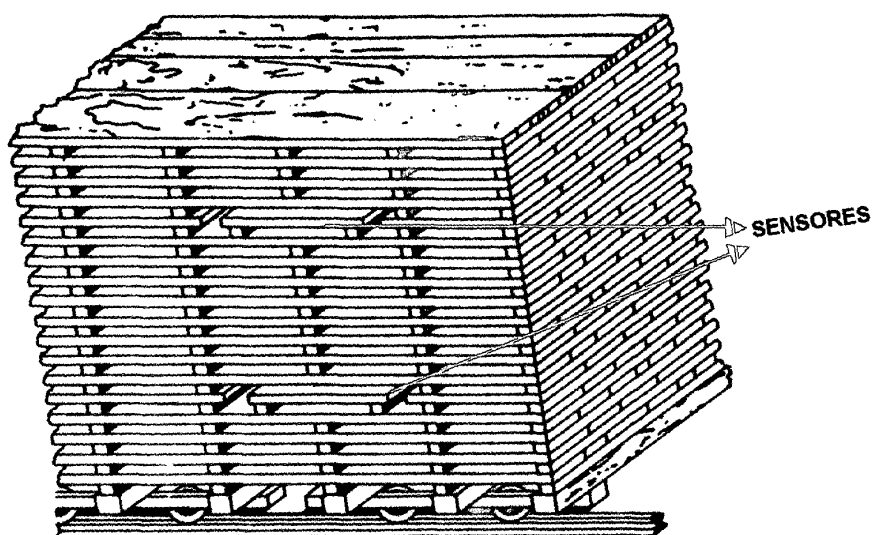


Figura 8. Colocación en la carga de madera de los sensores de humedad (JUNAC, 1989).

V.9.- Supervisión de los sensores de contenido de humedad de la madera.

Estos se colocan en el momento del apilado de la madera, y se clavarón en las ocho (8) muestras testigos, de forma perpendicular a la fibra de la madera y en el centro de la misma, la profundidad de los sensores dentro de la madera es aproximadamente entre $1/3$ y la mitad del espesor del tablón, estos se encuentran separados entre sí a una distancia de 4 cm (JUNAC, 1.989), estos sensores son conectados al equipo de control de la cámara de secado la cual lleva un registro de los cambios de contenido de humedad de las muestras.

V.10.- Acondicionamiento de la cámara de secado.

El acondicionamiento de la cámara de secado se realizó con la finalidad de probar que todos los equipos estén en perfecto funcionamiento como son: los de calefacción, los sistemas de ventilación y la captura de datos en el microprocesador (JUNAC, 1.989).

V.11.- Evolución y control del secado.

Para la investigación se utilizaron cuatro tratamientos en los procesos de secado. Estos se identifican de la siguiente forma: Tratamiento 1, se le aplicará un horario de secado convencional (Cuadro 2), hasta que alcance su punto de equilibrio del 10 % de contenido de humedad final.

El tratamiento 2, es exclusivamente alta temperatura, después de salir de la fase de calentamiento, hasta llegar al 10 % de contenido de humedad final (Cuadro 3).

Los tratamiento 3 y 4 son una combinación de convencional y alta temperatura, se implementó el secado de alta temperatura para el Tratamiento 3, comenzando al 40 % de contenido de humedad en la madera, y el Tratamiento 4 comienza al llegar a 30 % de contenido de humedad de la madera, hasta obtener un contenido de humedad final del 10 % (Cuadros 4 y 5).

Cuadro 2. Tratamiento 1. Secado convencional.

Fase	Tiempo horas	HF CH(%)	TBS (° C)	UGL CHE	TBH (° C)	HR (%)
1	12	-	50	19	48	89
2	12	-	70	18	58	90
3		Verde -50	70	14	66	83
4		50- 40	70	13	66	83
5		40 - 35	70	12	65	79
6		35 - 30	70	11	64	75
7		30 - 25	75	9	67	69
8		25 - 20	80	7	68	59
9		20 - 15	85	6	67	45
10		15 - 10	93	4	66	35
11	12	Ecualización.	93	7	83	67
12	12	Acondicionamiento	93	14	90	90

Leyenda:

CH (%) = Contenido de humedad de la madera.

TBS (° C) = Temperatura del bulbo seco.

CHE (%) = Contenido de humedad de equilibrio.

TBH (° C) = Temperatura del bulbo húmedo.

HR (° C) = Humedad relativa.

Cuadro 3. Tratamiento 2. Secado a alta temperatura.

Fase	Tiempo horas	HF (CH %)	TBS (° C)	UGL CHE	TBH (° C)	HR (%)
1	12	-	50	18	48	89
2	12	-	70	17	53	90
3		Verde -50	115	3	71	22
4		50- 40	115	3	71	22
5		40 - 35	115	3	71	22
6		35 - 30	115	3	71	22
7		30 - 25	115	3	71	22
8		25 - 20	115	3	71	22
9		20 - 15	115	3	71	22
10		15 - 10	115	3	71	22
11	24	Ecualización.	93	7	83	83
12	24	Acondicionamiento.	93	14	90	90
13	6		93	14	90	90
14	6		93	14	90	90

Leyenda:

CH (%) = Contenido de humedad de la madera.

TBS (° C) = Temperatura del bulbo seco.

CHE (%) = Contenido de humedad de equilibrio.

TBH (° C) = Temperatura del bulbo húmedo.

HR (%) = Humedad relativa.

Cuadro 4. Tratamiento 3. Secado combinado convencional - alta temperatura al 40 % de contenido de humedad.

Fase	Tiempo horas	HF (CH %)	TBS (° C)	UGL (CHE)	TBH (° C)	HR (%)
1	12	-	50	18	48	89
2	12	-	70	17	53	90
3		Verde -50	70	14	58	90
4		50- 40	70	13	81	29
5		40 – 35	115	3	81	29
6		35 – 30	115	3	81	29
7		30 – 25	115	3	81	29
8		25 – 20	115	3	81	29
9		20 – 15	115	3	81	29
10		15 – 10	115	3	81	29
11	12	Ecualización.	93	7	83	83
12	12	Acondicionamiento.	93	14	90	90
13	6		93	14	90	90
14	6		93	14	90	90

Leyenda:

CH (%) = Contenido de humedad de la madera.

TBS (° C) = Temperatura del bulbo seco.

CHE (%) = Contenido de humedad de equilibrio.

TBH (° C) = Temperatura del bulbo húmedo.

HR (° C) = Humedad relativa.

El inicio de la alta temperatura en este horario es cuando la madera alcance el 40 % de contenido de humedad verde, este es uno de los dos tratamientos combinados que se utilizaron.

Cuadro 5. Tratamiento 4. Secado combinado convencional - alta temperatura al 30 % de contenido de humedad

Fase	Tiempo horas	HF (CH %)	TBS (° C)	UGL CHE	TBH (° C)	HR (%)
1	12	-	50	19	48	89
2	12	-	70	18	53	90
3		Verde -50	70	14	58	90
4		50- 40	70	13	60	78
5		40 - 35	70	12	64	75
6		35 - 30	115	3	81	29
7		30 - 25	115	3	81	29
8		25 - 20	115	3	81	29
9		20 - 15	115	3	81	29
10		15 - 10	115	3	81	29
11	12	Equalización.	93	7	83	83
12	12	Acondicionamiento.	93	14	90	90
13	6		93	14	90	90
14	6		93	14	90	90

Leyenda:

CH (%) = Contenido de humedad de la madera.

TBS (° C) = Temperatura del bulbo seco.

CHE (%) = Contenido de humedad de equilibrio.

TBH (° C) = Temperatura del bulbo húmedo.

HR (° C) = Humedad relativa.

En la evaluación de los tratamientos, se utilizó toda la carga como muestras testigos o de control, además de la información que generaron los sensores colocados, para garantizar el contenido de humedad actual en el proceso de secado de acuerdo al horario.

Todas las evaluaciones se rigieron por medio de las muestras testigos, las cuales fueron sometidas a los diversos tratamientos o procesos de secado.

En la realización de los cálculos de contenido de humedad final, los datos se recopilaron según el peso al horno correspondiente, de las muestras que contenían los sensores dentro de la carga, así mismo todos los tablones fueron pesados antes del secado y después del mismo. La observación del contenido de humedad de la madera en los tratamientos se realizó por medio de los valores que indicaba el equipo de control de la secadora, a través de los sensores que están introducidos en las muestras, este chequeo se realizó para garantizar cuando se efectuaría el cambio de fase a alta temperatura en el horario.

V.12.- Contenido de humedad final, prueba de esfuerzos y gradiente de humedad.

Al obtener el contenido de humedad final del 10 % en los cuatro tratamientos, se aliviaron las tensiones de la madera mediante las fases de ecualización y acondicionamiento, se extrajo de la cámara de secado la carga de madera, posteriormente se cortaron las muestras de control de humedad para cotejar la humedad final y así determinar la efectividad del acondicionamiento y ecualización. Para este proceso se cortaron tres probetas de la parte central de las muestras, cada una de 25 a 30 mm de ancho (Figura 9).

Una de las probetas se destinó al secado en estufas para obtener el contenido de humedad final, la otra fue para la realización de la prueba de tenedor, ésta tiene la función de reconocer las tensiones del secado, y la tercera probeta se destinará para el establecimiento de gradiente de humedad.

Además para tener los valores de contenido de humedad final de los tablones, se midieron todos con el higrómetro (Figura 10), estas toma de datos se realizó en cuatro (4) sitios del tablón en una de sus caras, una en cada extremo y dos en el centro, y así poder tener una relación del comportamiento de la humedad final de los tablones dentro de cada uno de los procesos.

Para ver la distribución de los contenidos de humedad final de cada tratamiento se realizaran los histogramas de cada uno de los tratamientos, con respecto a la distribución de los porcentajes entre los rangos de contenido de humedad final de cada tratamiento.

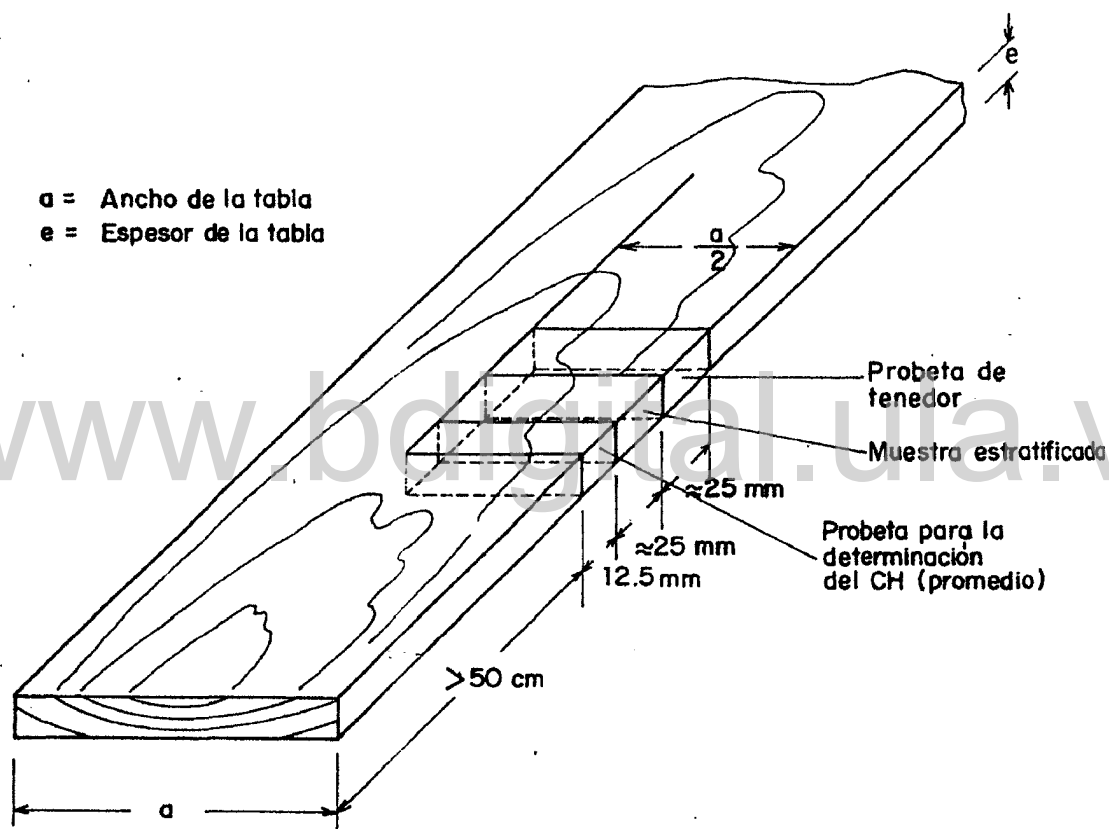


Figura 9. Corte de probetas para las pruebas de tenedor y gradiente de humedad y determinación del contenido de humedad (JUNAC, 1.989).



Figura 10. Detector de humedad o higrómetro Fotografía: Yoston Contreras.

V.13.- Observación de los defectos del secado.

Durante la aplicación de técnicas de secado en la madera se producen imperfecciones o defectos, lo que implica casi siempre una mayor o menor disminución de la calidad de la madera (Nutsch, 1.992).

El mayor factor causante de las torceduras es el apilado incorrecto. Cuando la madera esta sujeta a una temperatura, se vuelve más plástica y, por ello, adopta la forma que dictan los esfuerzos aplicados a la madera (Viscarra, 1.998).

La evaluación de los defectos de las piezas de madera se efectuó al final cada uno de los tratamientos de secado que se establecieron para esta especie, se analizaron

los defectos de alabeo como el abarquillado, arqueadura, encorvadura, torcedura, que se producen en el secado por causa de la variación de la tasa contracción radial, tangencial y longitudinal.

Para la observación del abarquillado, la pieza de madera se apoyó con la cara convexa sobre una mesa plana. Se colocará una escuadra y con el vernier se le medirá la mayor deformación entre la cara con respecto a los bordes del tablón (Burgos, 1.995).

Para la observación de la arqueadura se reconocerá cuando al colocar la pieza de madera sobre una superficie plana, se observará una luz o separación entre la cara de la pieza de madera y la superficie de apoyo (Figura 11) (JUNAC, 1.989).

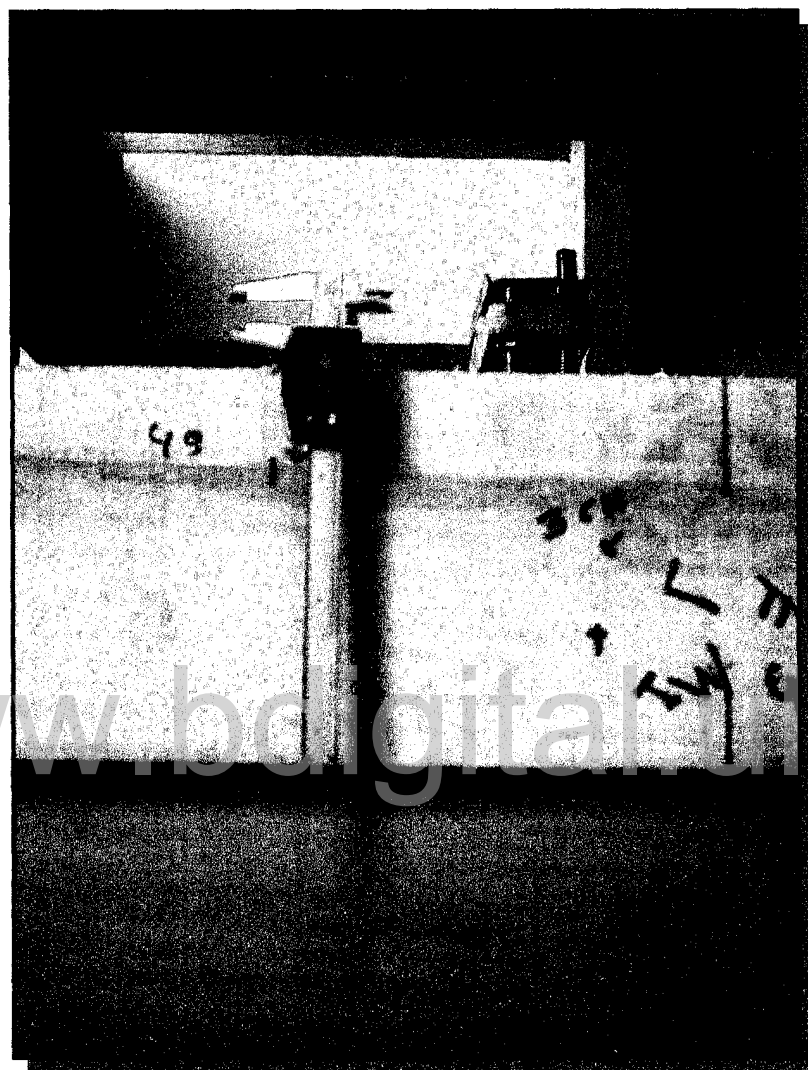
En la observación de la de las rajaduras y grietas se procedió a identificar todas las grietas en el tablón, de igual forma para identificación de las rajaduras, estos defectos fueron delimitados con un marcador midiendo su longitud, para después que se produzcan los procesos de secado realizar las mismas mediciones de las grietas y rajaduras en el mismo sitio, para realizar la diferencia de las grietas y rajaduras en longitud y observar si tuvieron algún incremento o apariciones de nuevas grietas o rajaduras, luego se realizó un promedio de la longitud.

Para la obtención del porcentaje de nuevas grietas y rajaduras en cada tratamiento, se procede calculándolo de acuerdo al total de piezas en cada tratamiento, y contabilizando el número de tablonés que presentaron nuevas grietas o rajaduras para cada tratamiento.



**Figura 11. Medición de la arqueadura. Fotografía:
Yoston Contreras.**

De igual forma en las observaciones de encorvadura a lo largo de la pieza de madera, se reconocerá cuando se coloca la pieza de canto sobre una superficie plana y se le medirá el sitio donde presente mayor separación o entrada de luz entre la superficie y la pieza de madera (Figura 12). Para la observación de la torcedura, se reconocerá cuando las esquinas de la pieza de madera no se encuentren en el mismo plano (JUNAC, 1.989)



**Figura 12. Medición de la encorvadura. Fotografía:
Yoston Contreras.**

V.14.- Características Anatómicas de las muestras antes y después del secado.

En cada tratamiento de secado se tomaron muestras, los tablones se ubicaron en tres posiciones de la pila de secado: un tablón en la parte inferior, otro en la parte media y el tercero en la parte superior de la pila de secado. En cada una de las

piezas seleccionadas se extrajeron secciones de 2 cm de ancho, en ambos extremos y en la parte media del tablón, antes y después del secado.

De las muestras cortadas para la descripción microscópica se prepararon un total de 36 láminas, estas se evaluaron antes de ser sometidas al proceso de secado, se obtuvieron 9 láminas de cada tratamiento, repartidas de la siguiente forma: de cada tablón seleccionado se cortaron 3 piezas de 2 cm de ancho (Figura 13), una en cada extremo del tablón y otra en el centro del mismo, de las cuales se elaboraron las 3 láminas para la descripción.

Los 3 tabloncillos seleccionados para tal fin, fueron colocados de la siguiente forma: uno en la parte baja de la carga de madera en el momento del apilado, otro en el centro de la misma y el último en la parte alta de la carga, esto se realizó de esta forma para tener la mejor representación de lo que ocurre en estas tres zonas de la carga.

Después de ser sometidas a los 4 tratamientos de secado se procedió a extraer las otras 36 láminas de anatomía, en la misma zona de donde se cortaron las anteriores, y bajo las mismas consideraciones anteriores, así se puede tener una observación de los cambios producidos en estos procesos, mediante la descripción microscópica.

La preparación del material para el estudio anatómico se realizó de acuerdo a la metodología utilizada en el Laboratorio de Anatomía de Maderas (Corothie 1.967), mientras que la descripción se hizo siguiendo lo establecido en IAWA Committee (1.989). Adicionalmente se tomó en consideración la determinación de porcentaje de los poros obstruidos con tálides.

V.15. Determinación de la inclinación del grano.

Para evaluar la inclinación del grano en todos los tratamientos, se toma la presencia de grano recto o inclinado en los tablones que pueden influir en los posibles defectos del secado, este proceso se realizó con el detector de grano, en tres sitios de los tablones, una medición cerca de cada extremo y una en el centro del mismo (Figura 14), se traza una línea definida por la fibras con respecto a la arista o al eje de la pieza, la inclinación que se observa es de " 1 en X " expresada como la pendiente, de estas tres mediciones se realizaba un promedio, tomando aquellas que presentaban valores por debajo de 1 / 8 de pendiente



Figura 13. Muestras de anatomía para la elaboración de las láminas. Fotografía: Yoston Contreras.



Figura 14. Detector de Grano Inclinado o Recto. Fotografía: Yoston Contreras

VI.- RESULTADOS Y ANALISIS.

Los resultados se presentan a continuación en cuadros y gráficos que resumen los cálculos arrojados para cada tratamiento utilizado, mediante el análisis estadístico de los diferentes defectos que se pueden producir después del secado.

VI.1. Secado en días.

La especie *Gmelina arborea*, presenta una variación de días en los procesos de secado (Cuadro 6), desde el secado convencional hasta el de alta temperatura, y desde un estado de contenido de humedad verde, hasta un contenido de humedad final de 10 %, la variación es de 24 días usando el tratamiento 1 o convencional, hasta 6 días para el tratamiento 2 usando alta temperatura de secado a 115 ° C y su duración en días en alta temperatura del tratamiento 2 fue de 3 días. Entre estos tratamientos se encuentran los tratamientos 3 y 4 que son las combinaciones convencional – alta temperatura, el tratamiento 3 tuvo una duración de 8 días de secado, y el tratamiento 4 de 17 días respectivamente. Los días que permanecieron estos tratamientos en 115 ° C o alta temperatura fueron de 2 días en ambos casos, hasta entrar en las fases de ecualización y acondicionamiento.

VI.1.1 Análisis comparativo para los diferentes tiempos de secado en días.

Además se realiza un análisis comparativo de los diferentes tiempos de secado en días para la especie *Gmelina arborea*, realizado por varios autores, comprando estos horarios con el horario convencional de esta investigación, así como también con los horarios combinados, como se muestra en el cuadro 7.

Cuadro 6. Relación en días de secado para cada tratamiento en la melina.

Tratamientos	CHI (%)	Días antes de usar alta Temperatura 115 °C días (d)	Días de Precalentamiento. y calentamiento a fondo días (d)	Días en alta temperatura a 115°C días (d)	Días en Ecuilización y Acondicionamiento. horas adicionales días (d)	CHF (%)	Total en días (d) de secado
Convencional Tratamiento 1	57,8	22	1	-	1	9,11	24
Alta Temperatura Tratamiento 2	63,9	1		2	3	11,72	6
Combinado al 40% CH, Tratamiento 3	64,7	3	1	2	2	10,93	8
Combinado al 30% CH, Tratamiento 4	65,6	12	1	2	2	11,73	17

Leyenda:

CHI (%) = Contenido de humedad inicial.

CHF (%) = Contenido de humedad final.

Cuadro 7. Comparación de tiempos de secado en días para la especie *Gmelina arborea*, según varios autores.

Espesor (cm)	Tiempo de secado (días) programas convencionales	Autor
Variados	55	Jorge A. Durán. Laboratorio Nacional de Productos Forestales (2.004)
5	46	Rudiger Hoeger. Serie de maderas comerciales de Venezuela.(1.996)
2,8	24	Oldemar Carrillo P. Carrillo y Mata consultores.(1.998)
4,5	30	
5	24	Investigación actual

Como se observa en el cuadro 7, el programa de secado que obtiene menor tiempo es el utilizado en esta investigación, con 24 días para un espesor de 5 cm y con un programa convencional. Este presenta una ganancia de 6 días con respecto al utilizado por Ing. Oldemar Carrillo con menor espesor de 4,5 cm y con 30 días, además cabe señalar que utilizando horarios combinados convencionales – alta temperatura, los tiempo de proceso de secado de esta especie se reducen como se indica en el cuadro anterior (Cuadro 6), hasta llevarlo a una duración de 6 días en alta temperatura y 17 días en el combinado convencional – alta temperatura al 30 % de contenido de humedad de la madera.

Para los procesos de secado se procedió de la siguiente manera, cumpliendo con cada uno de las fases del secador:

VI.2. Fase de calentamiento.

Esta fase se utiliza con la finalidad de elevar la temperatura dentro de la cámara de secado hasta alcanzar el valor que se encuentra en la primer paso del horario de secado, consiste en un precalentamiento con una temperatura menor al valor del primer paso, y luego un calentamiento a fondo en el cual tiene la temperatura de la primera fase.

El tiempo de calentamiento que se aplica a la especie ***Gmelina arborea*** se realizó mediante los cálculos del cuadro de calentamiento de la madera según la densidad de la madera (Cuadro 8). Este proceso permite un calentamiento, por regla general, de una hora por centímetro de espesor de los tablones. Al realizar estos cálculos nos indicó un tiempo de 10 horas. Se utilizaron 2 horas más como margen para garantizar el calentamiento adecuado y total dentro de todas las cargas, obteniéndose un tiempo total de calentamiento para todos los tratamientos de 12 horas en las primeras fases del horario.

Cuadro 8. Calentamiento de la madera según su densidad, según JUNAC (1.989).

Tiempo de Calentamiento	Espesor	
	≤ 30 mm	≥ 30 mm
Maderas con $\delta_o < 450 \text{ Kg / m}^3$	0,1 – 1,5	1,5 – 2,0
$\delta_o 450 - 600 \text{ Kg / m}^3$	1,5 – 2,0	2,0 – 2,5
$\delta_o 600 - 800 \text{ Kg / m}^3$	2,0 – 2,5	2,5 – 3,0
$\delta_o > 300 \text{ Kg / m}^3$	2,5 – 3,0	3,0 – 3,5
	Horas por 10 mm de espesor	

En los procesos de secado, para los períodos de calentamiento de la madera se utilizó 19 % de contenido de humedad de equilibrio (CHE), esto se utiliza con la finalidad de evitar que comience un secado en la fase de calentamiento. Después de salir de la fase de calentamiento el contenido de humedad de equilibrio se disminuye. En el caso del secado convencional la disminución es paulatina en cada una de las fases o pasos, por ello, en los tratamientos 3 y 4 el contenido de humedad de equilibrio (CHE) se baja paulatinamente hasta llegar a la fase de alta temperatura con un CHE del 3 %, y para el tratamiento 2 se tiene un contenido de humedad de equilibrio de 3 % en todo el proceso de secado, dando un secado inmediato después de salir del calentamiento a fondo. Este CHE dentro de la cámara casi nunca lo obtuvo debido a la alta temperatura de 115 ° C utilizada, produciendo una evaporización muy rápida del agua suministrada por la aspersion.

VI.3. Fases del secado.

Inmediatamente después de salir del proceso de calentamiento a fondo, se procede a ir cambiando las condiciones de la cámara de secado de acuerdo a cada fase del horario, esto se logra bajando el contenido de humedad de equilibrio (CHE) dentro de la cámara, además del contenido de humedad que presentaba la madera en cada fase del horario de secado establecido para cada tratamiento.

Siguiendo con las fases de secado, el tratamiento 1 se realizó en veinticuatro (24) días, de los cuales, en 14 días se logra alcanzar el 30 % de contenido de humedad,

donde se utilizó temperaturas hasta de 75 ° C. Luego se incrementa la temperatura desde 75 ° C hasta 93 ° C para lograr el contenido de humedad final del 10 % en 9 días, según el registro de los sensores de la cámara de secado. Posteriormente se mantiene la temperatura a 93 ° C para las fases de ecualización y acondicionamiento durando un 1 día, obteniendo un contenido de humedad final de 9,11 %.

El tratamiento 2 se efectuó en seis (6) días, siendo el más rápido de los cuatro tratamientos. El mismo estuvo en precalentamiento un 1 día, antes de iniciar la alta temperatura, teniendo una duración de 2 días desde su estado verde hasta alcanzar el 10 % de contenido de humedad final de la madera, para luego durar 3 días en ecualización y acondicionamiento, presentando un contenido de humedad final de 11,72 % según los registros de los sensores dentro de la cámara.

El tratamiento 3 se realizó en ocho (8) días, de los cuales 4 días fueron utilizados para bajar el contenido de humedad de la madera del estado verde hasta el 40 % contenido de humedad, al llegar la carga de madera a este contenido de humedad se procedió a la implementación de las fases de alta temperatura, teniendo una duración de 2 días en estas fases, hasta llegar al 10 % contenido de humedad de la madera según registros de la cámara. Luego duró 2 días en las fases de ecualización y acondicionamiento, presentando un contenido de humedad final del 10,93 %.

Para el tratamiento 4 el proceso se realizó en diecisiete (17) días, de los cuales 13 días fueron destinados a bajar el contenido de humedad de la madera de su estado verde al 30 % contenido de humedad, al obtener este contenido de humedad dentro de la carga se procedió a la implementación de la alta temperatura, teniendo una duración de 2 días en estas fases, hasta llegar al 10 % contenido de humedad final. Según valores de los registros de la cámara, al igual que el tratamiento anterior, éste duró 2 días en las fases de ecualización y acondicionamiento, obteniendo un contenido de humedad final de 11,73 %.

VI.4. Fases de ecualización y acondicionamiento.

En esta fase del secado tiene que ver con ecualizar todos los tratamientos a una temperatura de 93 ° C y el contenido de humedad de equilibrio de 7 %, y así poder reducir la diferencia del contenido de humedad final entre las tablas más húmedas y las tablas más secas de una carga de madera dentro de una cámara, de acuerdo a las condiciones del contenido de humedad de equilibrio. Este proceso varió desde medio ($\frac{1}{2}$) día hasta un día (1), con esto se evitan problemas mas adelante en el uso de la madera.

Después de haber terminado la fase de ecualización se procede al acondicionamiento de todos los tratamientos utilizando una temperatura de 93 ° C y un contenido de humedad de equilibrio de 14 %, con el fin de aliviar los esfuerzos y las tensiones ocurridas durante el secado (muchas veces llamados endurecimiento superficial), que se presenta al final del secado al horno (artificial) y durante la fase de igualación. Éste se acondiciona para aliviar los esfuerzos internos, la omisión de esto se manifestará en alabeos (abarquillado, arqueadura, encorvadura y torcedura). Los días de duración de esta fase varió desde un día y medio (1 $\frac{1}{2}$), hasta medio día ($\frac{1}{2}$).

Al sumar la fase de ecualización y acondicionamiento se presenta una duración entre uno y tres días (1 y 3), siendo el tratamiento 1 el que menos tardó, el cual fue de un día (1) entre estas dos fases, para un contenido de humedad final de 9,11 %.

VI.5 Contracción.

La contracción de la madera es la principal causa de los problemas o defectos que se generan durante el secado. Los esfuerzos de secado se desarrollan debido a que la madera se contrae en diferentes cantidades en la dirección radial, tangencial y longitudinal (León y Espinoza de Pernía, 2.001). Al efectuar un proceso de secado en la madera por debajo del punto de saturación de la fibra, la humedad es removida de

las paredes celulares y la pieza se contrae por defecto debido a la pérdida de humedad. La contracción es la causa de la mayoría de los problemas y de la pérdida de un cierto porcentaje de agua en la madera, como consecuencia de los procesos de secado (Simpson 1.991).

VI 5.1. Contracción para el Ancho.

En el cuadro 9 se presentan los resultados del análisis estadístico descriptivo, donde se observan los valores máximos y mínimos en la variable de contracción del ancho en los 4 tratamientos.

Cuadro 9. Análisis descriptivo para la contracción en el ancho.

Tratamientos	N	Media	CV (%)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza para la media al 95 %		Mínimo	Máximo
						Limite Inferior	Limite Superior		
1	80	3,16	46,84	1,48	0,17	2,82	3,47	1,16	8,55
2	80	3,07	46,57	1,43	0,16	2,76	3,39	1,26	9,29
3	80	3,11	34,73	1,08	0,12	2,87	3,38	1,20	8,43
4	80	2,83	35,34	1,00	0,11	2,61	3,05	1,11	7,97
Total	320	3,04	41,78	1,27	0,07	2,89	3,18	1,11	9,29

En el análisis descriptivo podemos observar que la contracción mayor la presenta el tratamiento 2, con un valor de 9,29 %, y el de menor valor con respecto al valor máximo es el tratamiento 4 con 7,97 %, en cuanto a la media de todos los tratamientos, el que presenta la media más baja es el tratamiento 4 con 2,83 %, en cambio el tratamiento 1 tiene la más alta con 3,16 %, los cuales son los dos tratamientos extremos, como el secado convencional tratamiento 1 y el secado a alta temperatura tratamiento 2.

De los cuatro tratamientos utilizados en el proceso de secado, se realizó el análisis de varianza para las contracciones en el ancho (Cuadro 10).

Cuadro 10. Análisis de varianza para la contracción en el ancho de la probeta.

Contracción		GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Ancho	Tratamientos	3	4,875	1,625	1,012	0,388
	Error	316	507,446	1,606		
	Total	319	512,321			

En la contracción del ancho en los tablones, el análisis de varianza nos indica que no hay diferencia significativa entre los tratamientos del secado, con un nivel de significancia del 1 %

VI.5.2. Contracción longitudinal.

El Cuadro 11 expone los resultados del análisis estadístico descriptivo con los valores máximos y mínimos, en la variable de contracción de longitudinal en los 4 tratamientos.

Cuadro 11. Análisis descriptivo para la contracción longitudinal.

Tratamientos	N	Media	CV (%)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza para la media al 95 %		Mínimo	Máximo
						Limite Inferior	Limite Superior		
1	80	0,21	61,91	0,13	0,014	0,18	0,237	0,03	0,68
2	80	0,22	54,55	0,12	0,014	0,19	0,250	0,04	0,80
3	80	0,21	52,38	0,11	0,013	0,186	0,236	0,03	0,59
4	80	0,22	54,55	0,12	0,013	0,196	0,249	0,03	0,73
Total	320	0,21	57,14	0,12	0,006	0,202	0,229	0,03	0,80

El valor máximo en contracción longitudinal es el tratamiento 2 con 0,80 %, y la contracción mínima en los tratamientos 1, 3 y 4 con un valor de 0,03 %, los valores promedios máximos los presentan los tratamientos 2 y 4 de 0,22 % respectivamente y el tratamiento 1 y 3 con los menores valores promedio de 0,21 % para ambos tratamientos. Se puede también señalar que el valor máximo de contracción coincide con uno de los valores promedios máximos de contracción que lo representa el tratamiento 2.

El análisis de varianza para la contracción longitudinal (Cuadro 12), indica que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de significancia del 1 %. Esto es debido a la poca variación de contracción que se presenta en esta variable, en donde todas las piezas eran de una misma longitud de 3,0 m.

Cuadro 12. Análisis de varianza para la contracción de la longitud.

Contracción		GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Longitud	Tratamientos	3	0,014	0,005	0,319	0,811
	Error	316	4,71	0,015		
	Total	319	4,72			

VI.5.3. Contracción del espesor.

El Cuadro 13 expone el análisis estadístico descriptivo en la variable de contracción para el espesor en los 4 tratamientos.

Cuadro 13. Análisis descriptivo para la contracción en el espesor.

Tratamientos	N	Media	CV (%)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza para la media al 95 %		Mínimo	Máximo
						Limite Inferior	Limite Superior		
1	80	2,11	33,65	0,71	0,08	1,95	2,26	1,00	3,82
2	80	3,54	30,23	1,07	0,12	3,30	3,78	1,11	6,51
3	80	3,33	33,33	1,11	0,12	3,08	3,58	1,49	8,37
4	80	3,13	32,27	1,01	0,11	2,91	3,36	1,27	7,47
Total	320	3,03	37,29	1,13	0,06	2,90	3,15	1,00	8,37

En el análisis descriptivo para la contracción del espesor la mayor contracción de los 4 tratamientos la tiene el tratamiento 3 con 8,37 %, en cambio el menor valor de contracción de todos los tratamientos lo presenta el tratamiento 1 con 3,82 %, con respecto al máximo, además el mayor valor de la media es del tratamiento 2 con un valor de 3,54 %, y el que presenta la media más baja de todos, es el tratamiento 1 con un valor de 2,11 %. El tratamiento 2 es el que presenta mayor valor promedio 3,54 %, tratamiento de alta temperatura era lo esperado con respecto a los demás tratamientos.

Cuadro 14. Análisis de varianza para la contracción del espesor.

Contracción		GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Espesor	Tratamientos	3	97,173	32,391	33,282	0,000
	Error	316	307,544	0,973		
	Total	319	404,717			

La contracción en los tratamientos para el espesor, de acuerdo al análisis de varianza (Cuadro 14), se puede apreciar, que hay diferencia altamente significativa entre cada uno de los tratamientos, con un nivel de significancia del 1 %. Al aplicarle la prueba de comparación múltiple del análisis de Tukey (Cuadro 15), los coloca en

tres grupos, con un nivel de significancia del 0,05 %. Los tratamientos que presenta una diferencia significativa es el tratamiento 1 con 2,107 %, con respecto al resto de los tratamientos y el tratamientos 2 con 3,541%, con respecto a los tratamientos 1 con 2,107 % y el tratamiento 4 con 3,135 % respectivamente. Desde el punto de vista estadístico el mejor tratamiento es el 1 con 2,107 %, lo que conlleva a inferir que el horario de secado convencional es el mas idóneo.

Cuadro 15. Prueba de Tukey para contracción del espesor.

Tratamientos	N	Subset for alpha = 0,05		
		1	2	3
1	80	2,107		
4	80		3,135	
3	80		3,331	3,331
2	80			3,541
Sig.		1,000	0,590	0,536

VI.6. Contenido de humedad final.

El contenido de humedad final de la madera puede variar, por la rata de secado y el contenido de humedad inicial, la variación entre la albura y el duramen y las condiciones del secado (JUNAC 1.989)

Realizando un análisis descriptivo de la variable de contenido de humedad final en los 4 tratamientos se muestra lo siguiente (Cuadro 16):

Cuadro 16. Análisis descriptivo para el contenido de humedad final.

Tratamientos	N	Media	CV (%)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza para la media al 95 %		Mínimo	Máximo
						Limite Inferior	Limite Superior		
1	80	10,22	8,601	0,879	0,098	10,022	10,414	8,38	13,65
2	80	12,07	27,465	3,315	0,371	11,333	12,808	8,78	27,73
3	80	12,97	28,042	3,637	0,407	12,156	13,775	9,23	31,85
4	80	14,34	35,830	5,138	0,575	13,200	15,487	9,50	34,85
Total	320	12,39	31,234	3,870	0,216	11,974	12,825	8,38	34,85

Con respecto a todos los valores promedios de contenido de humedad final de los cuatro tiramientos se observa que el tratamiento 1 con 10,22 % posee el menor valor promedio y el mayor valor promedio lo presenta el tratamiento 4 con 14,34 %, el tratamiento 2 con 12,07 % y 3 con 12,97 % como valores intermedios. Se puede inferir que los cuatro tratamientos están en el rango de contenido de humedad final para cualquier uso a la cual quiera ser sometida la madera.

En el cuadro anterior se puede observar que el tratamiento 1 presenta un contenido de humedad final máximo de 13,65 %, y como se puede apreciar es el que tiene el menor valor de contenido de humedad final con respecto a los cuatro tratamientos, los cuales han sido comparados sólo con los valores máximos. Además tiene un contenido de humedad final mínimo de 8,38 %, con respecto a todos los tratamientos, para un contenido de humedad final establecido en el horario de secado del 10 %.

En el tratamiento 2, el tablón que presenta el mayor contenido de humedad final con 27,73 %, y presentó un mínimo de contenido de humedad final de 8,78 %. Igualmente se encuentran por debajo de lo establecido en el horario de secado del 10% de contenido de humedad final.

Seguidamente el tratamiento 3 presenta el tablón con el mayor contenido de humedad final de 31,85 %. De igual forma su contenido de humedad final menor es de 9,23 %, indicando que está por debajo de 10 % del contenido de humedad final establecido en el horario de secado.

En el tratamiento 4, el tablón que presentó el mas alto contenido de humedad final de 34,85 %, sin embargo, presentó un contenido de humedad final mínimo de 9,50 %, con respecto al 10% de contenido de humedad final fijado en el horario de secado para esta carga.

De los datos obtenidos antes y después del secado, con respecto al contenido de humedad final se realizó un análisis de varianza (Cuadro 17), donde se determinó que existe una alta diferencia significativa entre cada uno de los tratamientos, con un nivel de significancia del 1 %.

Cuadro 17. Análisis de varianza del contenido de humedad final.

		GL	Suma de cuadrados	Cuadrado Medios	F	Sig.
Contenido de humedad	Tratamientos	3	717,426	239,142	18,611	0,000
	Error	316	4060,460	12,850		
	Total	319	4777,886			

Al aplicarle el método de comparaciones múltiples de Tukey (Cuadro 18), los tratamientos son agrupados en tres posiciones, donde el tratamiento 1 está en el grupo 1, el cual presenta diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos, con un valor de 10,218 % de contenido de humedad final del promedio

de la muestra, igualmente el tratamiento 4 con 14,34 % tiene diferencias con los tratamientos 1 y 2, esto significa que el tratamiento que tiene los valores de media más cercanos al contenido de humedad final del 10 %, es el tratamiento 1.

Cuadro 18. Prueba de Tukey para el Contenido de Humedad Final.

Tratamientos	N	Subset for alpha = 0,05		
		1	2	3
1	80	10,218		
2	80		12,070	
3	80		12,966	12,966
4	80			14,344
Sig.		1,000	0,392	0,073

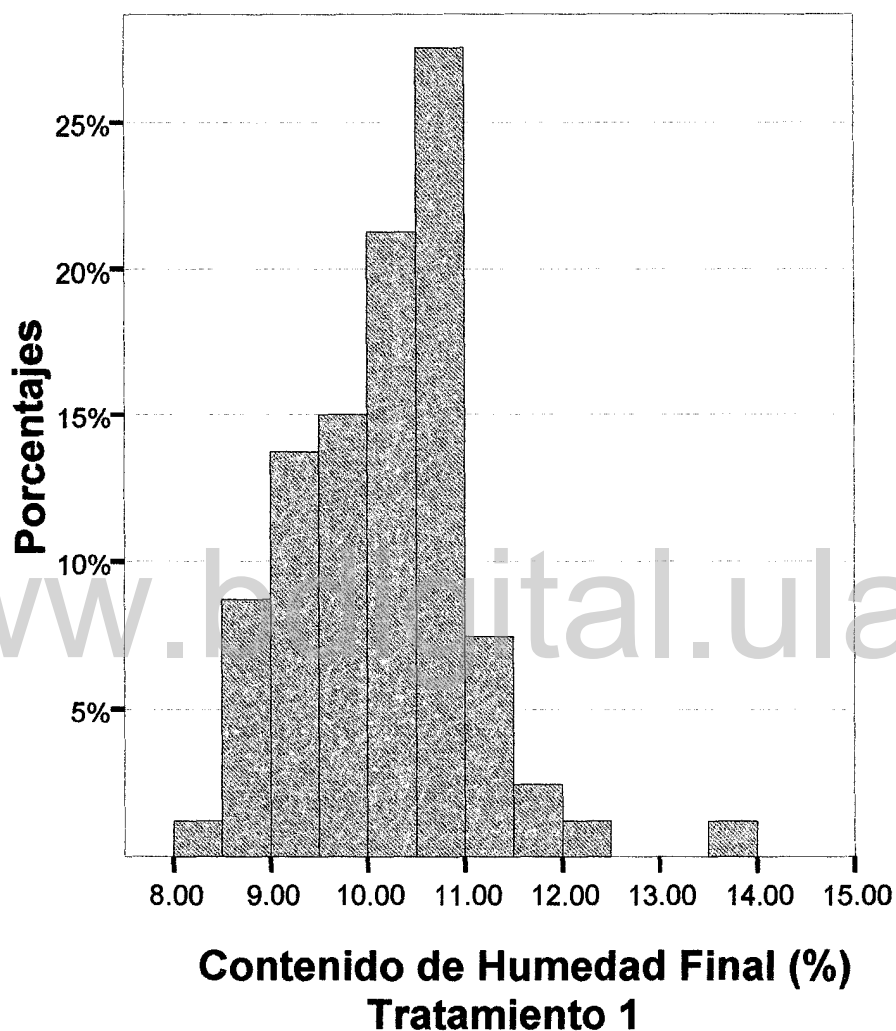


Figura 15. Histograma del contenido de humedad final del tratamiento 1.

La distribución del histograma de contenido de humedad final para el tratamiento 1 (Figura 15), se observar que entre los rango de 8 – 9 % de contenido de humedad final tiene un porcentaje de 41,25 %, entre los rangos de 10 – 11 % de contenido de humedad final presenta un porcentaje de 56,25 %, y entre el rango de 12 – 15 % de 2,5 % de contenido de humedad final, el porcentaje total de piezas por debajo del 12 % del contenido de humedad final es del 97,5 %. El mayor porcentaje de piezas se encuentran en 28 % entre los rangos de 10,5 – 11 de contenido de humedad final.

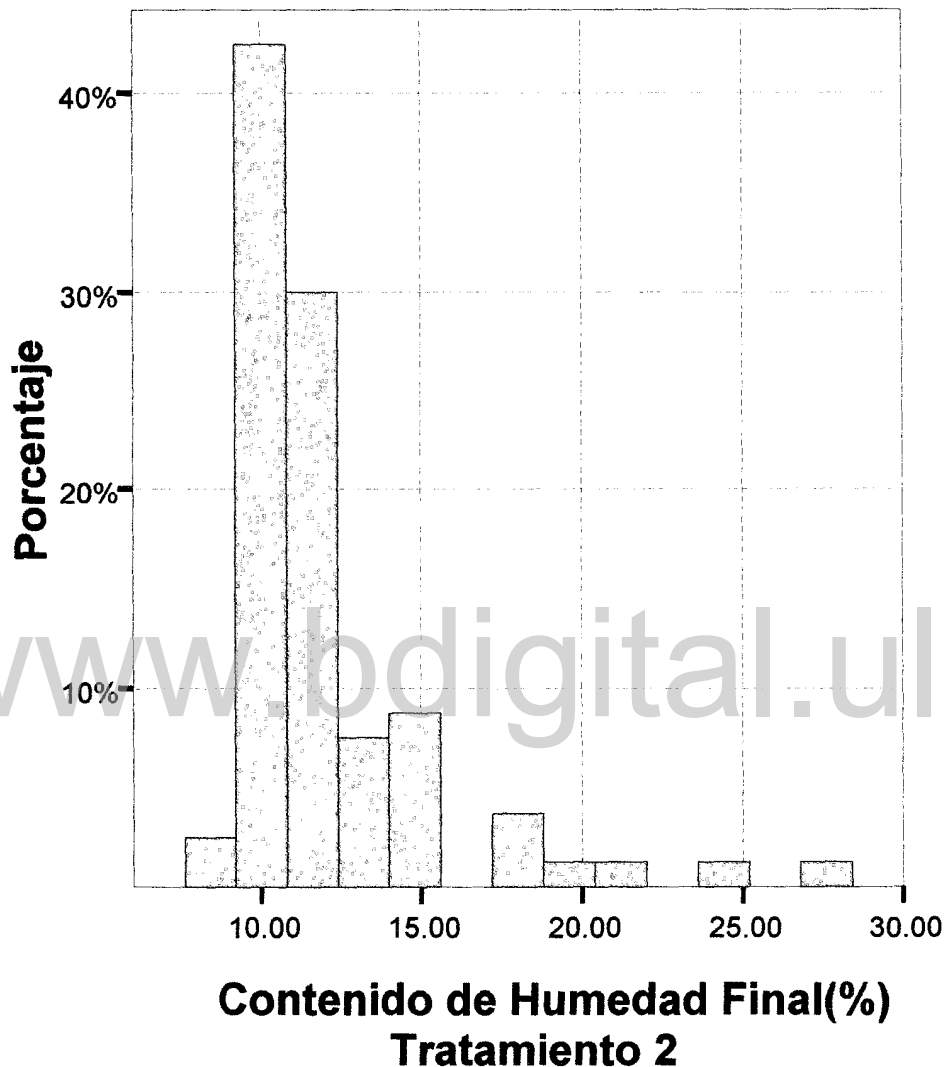


Figura 16. Histograma de contenido de humedad final tratamiento 2.

En el tratamiento 2 la distribución del histograma de contenido de humedad final (Figura 16), entre los rangos 8 – 9 % tiene un porcentaje de 17,5 %, entre los rangos de 10 – 11 % presentan un porcentaje de 53,75 %, entre los rangos 12 – 14 % tiene un 12,5 % de contenido de humedad final, y sobre el 14 % de contenido de humedad final es de 16,25 %, el total de piezas por debajo del 14 % es de 83,75 %. El mayor porcentajes de piezas se encuentran en un 45 % entre los rangos 9 – 11 de contenido de humedad final.

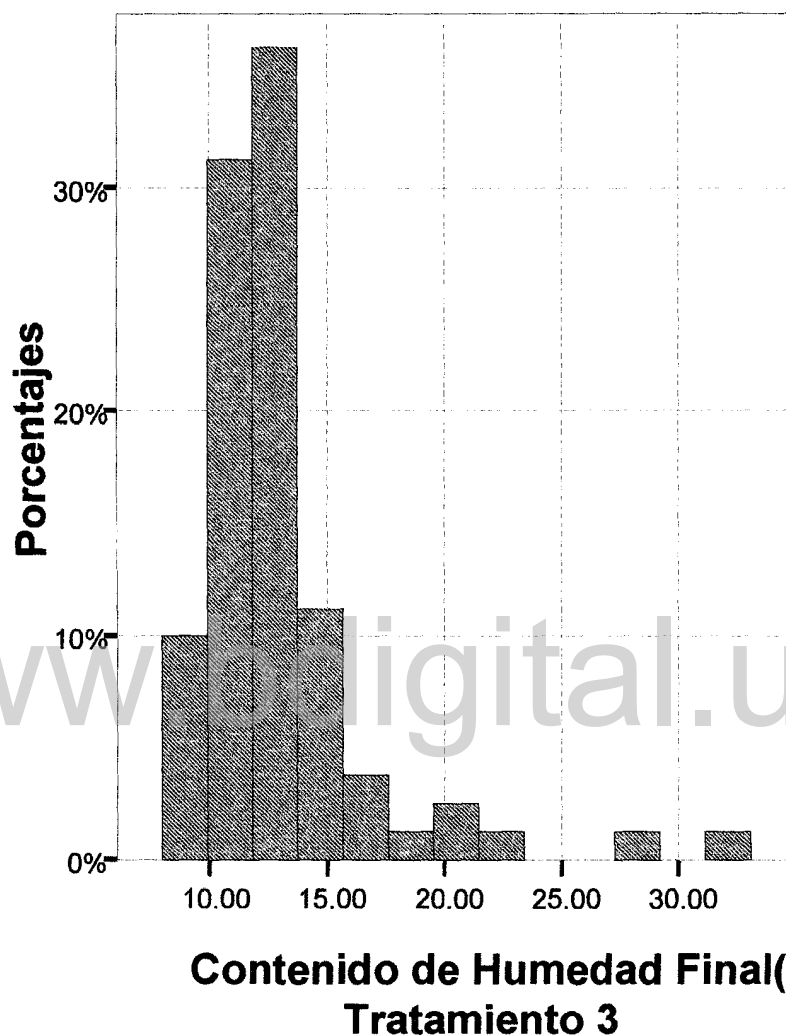


Figura 17. Histograma de contenido de humedad final del tratamiento 3.

Para el tratamiento 3 la distribución del histograma de contenido de humedad final (Figura 17), se comporta de la siguiente forma entre los rangos de 8 – 9 % de contenido de humedad final es de 12,5 %, entre los rangos de 10 – 11 % tiene un porcentaje de 35 %, entre los rangos 12 - 14 % es de 36,25 % de contenido de humedad, y sobre el 14 % de contenido de humedad final es de 16,25 %. El total de piezas que se encuentran por debajo del 14 % de contenido de humedad final es del 83,75 %. El mayor porcentajes de piezas se encuentran en un 38 % entre los rangos 12 – 13 de contenido de humedad final.

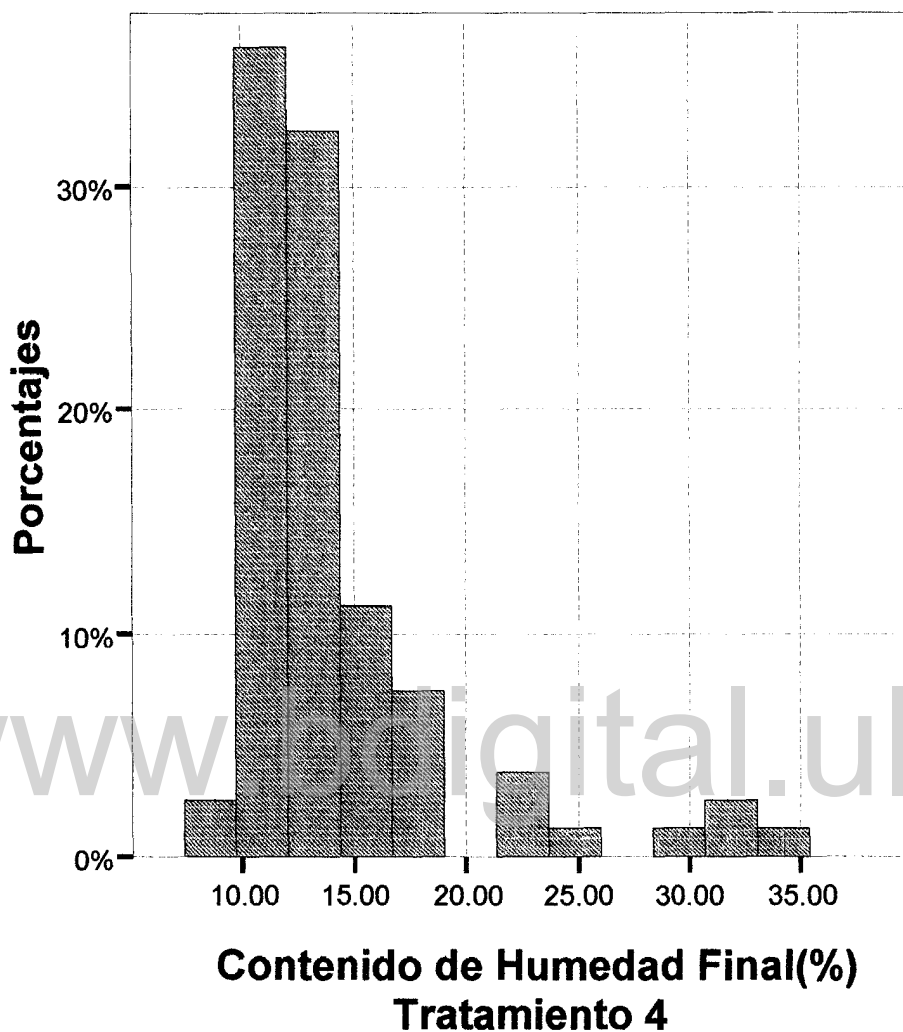


Figura 18. Histograma contenido de humedad final del tratamiento 4.

La distribución del histograma de contenido de humedad final para el tratamiento 4 (Figura 4), como se puede observar entre el rango de 8 – 9 % de contenido de humedad final, tiene un porcentaje de presencia de todo el tratamiento de 3,75 %, entre el rango de 10 – 11 % de contenido de humedad final de 35 %, entre los rangos del 12 – 14% de contenido de humedad final es del 30 %, y mayores del 14 % de contenido de humedad final es de 31,25 %, como podemos ver el porcentaje total del contenido de humedad final por debajo del 14 % es del 68,75 %. El mayor porcentajes de piezas se encuentran en un 36 % entre los rangos 10 – 11 de contenido de humedad final.

VI.7. Análisis de los defectos de alabeo: abarquillado, arqueadura, torcedura y encorvadura.

El alabeo es uno de los defectos más comunes dentro de la madera, estos se pueden acrecentar mediante los procesos de secado, al utilizar temperaturas muy altas al comienzo del secado. Simpson (1.991), dice que la producción de alabeos durante el proceso de secado puede ser debido a dos causas: la diferencia entre las tasas de contracción longitudinal, radial y tangencial o por esfuerzos de crecimiento. Los principales tipos de alabeos son la arqueadura, el abarquillado encorvadura, torcedura y adiamantado. Por otro lado, Kollmann y Côté (1.968) expone que hasta cierto grado, es posible predecir la magnitud de contracción y de producción de alabeos durante el secado mediante el estudio de la orientación de los anillos de crecimiento en la pieza de madera.

De igual forma cuando se comienza en las primeras fases del secado con altas temperaturas, las propiedades de contracción serán mayores en el centro de la pieza, por lo tanto se pueden presentar mayores defectos de alabeos (Rietz, 1.969).

VI.7.1. Defecto de arqueadura.

Para el análisis de la arqueadura se realizaron las mediciones sobre los 3 m longitud total de la pieza de madera, apoyada sobre una mesa completamente plana, esta pieza es apoyada sobre una de sus caras.

El Cuadro 19 expone el análisis estadístico descriptivo, donde se pueden ver el comportamiento del valor máximo y el mínimo de las piezas de madera, y sus límites de fluctuación de estas piezas con respecto a los tratamientos de secado.

Cuadro 19. Análisis descriptivo del defecto de arqueadura.

Tratamientos	N	Media	CV (%)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza para la media al 95 %		Mínimo	Máximo
						Limite Inferior	Limite Superior		
1	80	3,013	89,479	2,696	0,301	2,413	3,613	0,07	12,52
2	80	3,938	79,431	3,128	0,349	3,241	4,634	0,02	11,35
3	80	4,147	76,079	3,155	0,353	3,445	4,849	0,03	14,68
4	80	3,918	92,394	3,620	0,406	3,110	4,726	0,12	17,09
Total	320	3,754	84,842	3,185	0,178	3,404	4,104	0,02	17,09

Como se puede observar la arqueadura máxima la presenta el tratamiento 4 con 17,09 mm de luz y el valor mínimo lo presentó el tratamiento 2 con 11,35 mm, con respecto al valor máximo. Estas mediciones se realizaron antes y después del secado tomando la diferencia del valor después del secado con respecto al de antes del secado. El mayor valor promedio lo presentó el tratamiento 3 con 4,147 % y el menor valor promedio lo presentó el tratamiento 1 con 3,013 %. El tratamiento 1 fue el que presento el menor valor promedio de arqueadura con 3,013 %.

Realizando el estudio estadístico de análisis de varianza entre los cuatro tratamientos, mediante los horarios de secado establecidos, se determinó, en cuanto al defecto de arqueadura, que no hay diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de significancia del 1 % (Cuadro 20).

Cuadro 20. Análisis de varianza del defecto de arqueadura.

Defecto		GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Arqueadura	Tratamientos	3	61,168	20,389	2,030	0,110
	Error	316	3174,460	10,046		
	Total	319	3235,627			

VI.7.2. Defecto de encorvadura.

En el análisis descriptivo entre los diferentes tratamientos se puede observar que, el tratamiento 3 tiene el valor máximo de encorvadura con 12,17 mm, y el tratamiento con menor valor de encorvadura es de 0,01 mm del tratamiento 2 (Cuadro 21). El mayor valor promedio lo presento el tratamiento 1 con 2,376 % y el menor valor promedio lo tuvo el tratamiento 4 con 1,562 %. El tratamiento 4 fue el que mejores resultados dio con respecto al defectos de encorvadura. El cual se realizó con la diferencia entre el antes y el después del secado, medidos en el mismo sitio que se marcó antes del secado.

Cuadro 21. Análisis descriptivo de los defectos de encorvadura.

Tratamientos	N	Media	CV (%)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza para la media al 95 %		Mínimo	Máximo
						Limite Inferior	Limite Superior		
1	80	2,376	80,598	1,915	0,214	1,949	2,802	0,02	8,97
2	80	1,965	84,936	1,669	0,187	1,594	2,337	0,01	7,14
3	80	2,078	97,834	2,033	0,227	1,626	2,530	0,11	12,17
4	80	1,562	93,342	1,458	0,163	1,238	1,887	0,02	6,42
Total	320	1,995	88,622	1,798	0,101	1,797	2,193	0,01	12,17

En el análisis de varianza expuesto en el Cuadro 22 para el defecto de encorvadura, se puede notar que existe diferencia entre los tratamientos con un nivel de significancia del 1 %.

Cuadro 22. Análisis de varianza del defecto de encorvadura.

Defecto		GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Encorvadura	Tratamientos	3	27,204	9,068	2,853	0,037
	Error	316	1004,207	3,178		
	Total	319	1031,411			

Al realizar el método de comparaciones múltiples de Tukey, para ver cual de los tratamientos son significativamente diferentes entre si, se obtuvo en el Cuadro 23, que los tratamientos son separados en dos grupos de los cuales, el tratamiento 4 con 1,562 % es significativamente diferente al tratamiento 1 con 2,376 %, con respecto al resto de los tratamientos, con un nivel de significancia del 5 %, con respecto a sus medias.

Cuadro 23. Prueba de Tukey para el defecto de encorvadura.

Tratamientos	N	Subset for alpha = 0,05	
		1	2
4	80	1,562	
2	80	1,965	1,965
3	80	2,078	2,078
1	80		2,376
Sig.		0,261	0,465

VI.7.3. Defecto de Torcedura.

Realizando un análisis descriptivo para ver el comportamiento de las muestras respecto al defecto de torcedura, se obtuvo que el valor máximo de torcedura lo presenta el tratamiento 3 con 14,96 mm, y el menor lo tiene el tratamiento 2 con 0,02 mm. Con respecto a los valores promedios el mayor valor lo presento el tratamiento 4 con 3,331 % y menor valor promedio lo tiene el tratamiento 1 con 2,995 %, indicándonos esto que el tratamiento 1 es el que menos defectos tiene de todas las cargas (Cuadro 24).

Cuadro 24. Análisis descriptivo del defecto de torcedura.

Tratamientos	N	Media	CV (%)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza para la media al 95 %		Mínimo	Máximo
						Límite Inferior	Límite Superior		
1	80	2,995	71,519	2,142	0,239	2,518	3,472	0,04	10,00
2	80	3,245	83,852	2,721	0,304	2,639	3,851	0,02	11,01
3	80	3,296	79,278	2,613	0,292	2,715	3,878	0,03	14,96
4	80	3,331	71,900	2,395	0,268	2,798	3,864	0,16	11,54
Total	320	3,217	76,749	2,469	0,138	2,945	3,489	0,02	14,96

En la evaluación del análisis estadístico del defecto de torcedura, los resultados obtenidos nos indican que no existe diferencia significativa entre ninguno de los tratamientos, con un nivel de significancia del 1 %. Es decir que no hay una variación significativa entre los tratamientos utilizados (Cuadro 25).

Cuadro 25. Análisis de varianza para el defecto de torcedura.

		Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Torcedura	Tratamientos	3	5,551	1,850	0,301	0,824
	Error	316	1939,921	6,139		
	Total	319	1945,472			

VI.7.4. Defecto de abarquillado.

En el análisis descriptivo del cuadro 26 de los defectos de abarquillado de los 4 tratamientos podemos observar que el tratamiento 1, presenta el valor máximo de abarquillado con 10 mm, y el tratamiento con menor valor es el tratamiento 2 con 0,00 en el cual existen piezas que no tenían abarquillado. El menor valor promedio de los cuatro tratamientos corresponde al tratamiento 4 con 0,623 % y el mayor valor

promedio lo presentó el tratamiento 1 con 2,699 %, indicando esto que el tratamiento 4 es el que mejor se comporta con respecto a este defecto.

Cuadro 26. Análisis descriptivo del defecto de abarquillado.

Tratamientos	N	Media	CV (%)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza para la media al 95 %		Mínimo	Máximo
						Limite Inferior	Limite Superior		
1	80	2,699	68,210	1,841	0,206	2,289	3,108	0,40	10,00
2	80	1,064	73,214	0,779	0,087	0,890	1,237	0,00	5,00
3	80	0,713	79,663	0,568	0,063	0,586	0,839	0,10	4,00
4	80	0,623	92,616	0,577	0,064	0,495	0,752	0,10	4,00
Total	320	1,276	106,739	1,362	0,076	1,125	1,424	0,00	10,00

Antes del secado un gran porcentaje de todas las piezas de madera en todos los tratamientos presentaban abarquillado, y que al realizar el análisis de varianza (Cuadro 27), se puede ver que existe una alta diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de significancia del 1 %.

Cuadro 27. Análisis de varianza del defecto de abarquillado.

		GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Abarquillado	Tratamientos	3	214,533	71,511	56,494	0,000
	Error	316	399,999	1,266		
	Total	319	614,532			

Realizando la prueba del método de comparaciones múltiples del Tukey, podemos observar que los tratamientos son ubicados en dos grupos, donde el tratamiento 1 es significativamente diferente al resto de los tratamientos (Cuadro 28).

Cuadro 28. Prueba de Tukey para el defecto de abarquillado.

Tratamientos	N	Subset for alpha = 0,05	
		1	2
3	80	0,713	
4	80	0,730	
2	80	1,064	
1	80		2,6985
Sig.		0,200	1,000

VII. Grietas y Rajaduras.

VII. 1. Análisis de las rajaduras.

Al realizar un análisis descriptivo (Cuadro 29) del defecto de rajadura en todos los tablonos, podemos encontrar que la rajadura máxima es de 42,50 cm del tratamiento 1, y el valor mínimo con respecto al valor máximo es el tratamiento 4 con 19 cm, con un valor máximo promedio de 12,917 cm para el tratamiento 1, y un valor mínimo promedio de 5,824 cm para el tratamiento 4, siendo el tratamiento 4 el que menos rajaduras presento.

Cuadro 29. Análisis descriptivo para el defecto de presencia de rajadura.

Tratamientos	N	Media	CV (%)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza para la media al 95 %		Mínimo	Máximo
						Limite Inferior	Limite Superior		
1	36	12,917	89,912	11,614	1,936	8,987	16,846	1,00	42,50
2	29	9,300	87,817	8,167	1,517	6,193	12,407	0,50	29,00
3	21	8,048	98,993	7,967	1,739	4,421	11,674	1,00	30,00
4	17	5,824	87,345	5,087	1,234	3,208	8,439	2,00	19,00
Total	103	9,735	96,281	9,373	0,924	7,903	11,567	0,50	42,50

En el análisis de varianza entre los tratamientos para el defecto de secado de rajadura (Cuadro 30), en los casos de rajadura presente y ausente en los tablonos,

se observa que no existe diferencia significativa en ambos casos para la presencia de rajaduras como la ausencia de la misma, entre los tratamientos, con un nivel de significancia del 1 %.

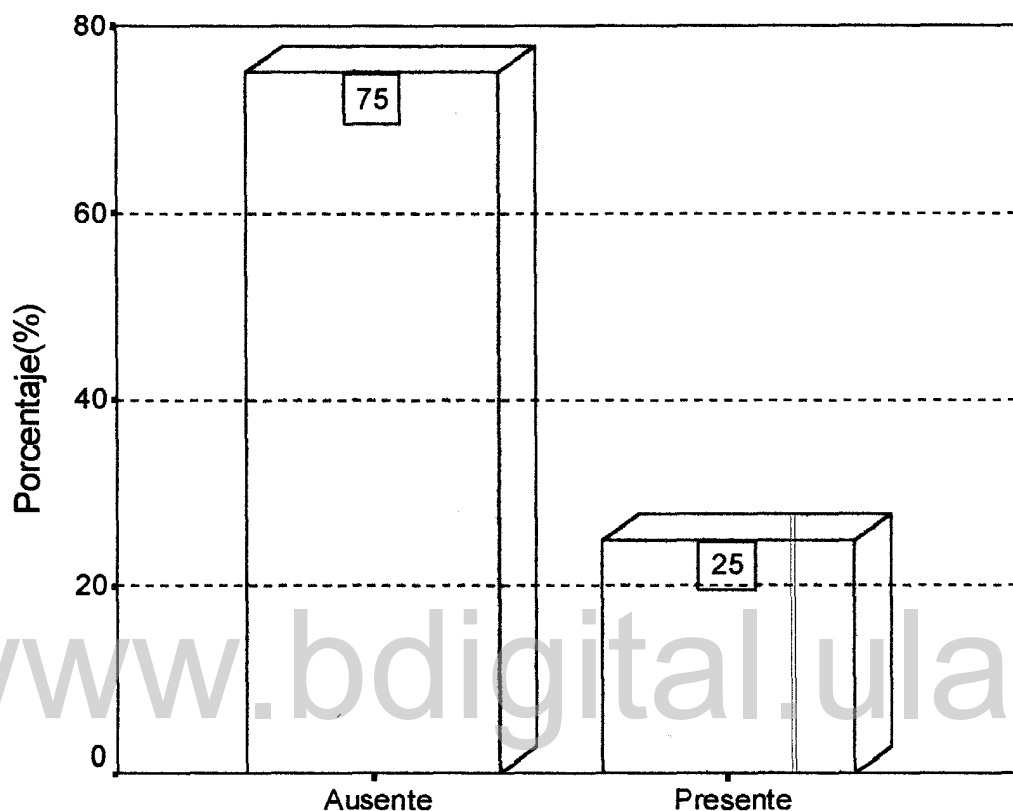
Cuadro 30. Análisis de varianza para rajaduras.

		Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Rajaduras	Tratamientos	3	689,801	229,934	2,752	0,047
	Error	99	8271,853	83,554		
	Total	102	8961,654			

Para el porcentaje de presencia de rajadura entre los tratamientos (Cuadro 31), es de 25 % de presencia de rajaduras, contra un 75 % de ausentes (Figura 19). Como se puede observar el porcentaje de rajaduras ausente es mayor. Esto nos puede indicar como se puede comportar la madera a los diferentes tratamientos.

Cuadro 31. Porcentaje de rajaduras en todos los tratamientos.

		Frecuencias	Porcentajes	Porcentaje Valido	Porcentaje Acumulados
Variables	Ausente	240	75,0	75,0	75,0
	Presente	80	25,0	25,0	100,0
	Total	320	100,0	100,0	



Rajaduras

Figura 19. Porcentajes de rajadura de todos los tratamientos.

Igualmente para ver el porcentaje de rajadura en cada uno de los tratamientos, se muestran en la (Figura 20) los siguientes resultados estos porcentajes son sobre el total de todos los tratamientos y la sumatoria de cada una de las variables en cada tratamientos: El tratamiento 3 presenta el mayor porcentaje de rajaduras presentes en el tratamiento con un 35 % de presencias con respecto al resto de tratamientos; El tratamiento que tiene el menor porcentaje de rajaduras presentes es el tratamiento 4 con 14 %, con respecto a mayor porcentaje de rajaduras ausentes lo tiene el tratamiento 4; El menor porcentaje de rajaduras lo presenta el tratamiento 2 con 22 %, en toda la carga.

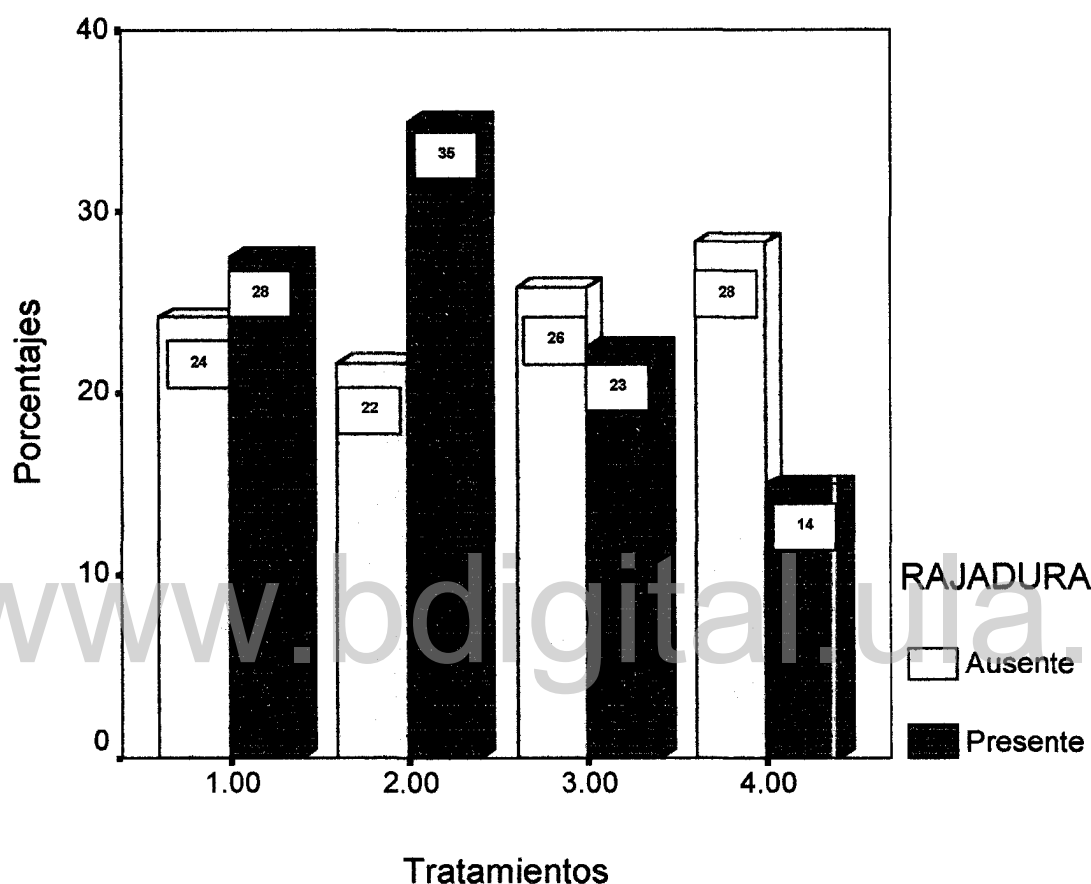


Figura 20. Porcentaje de rajaduras en todos los tratamientos.

Para observar el efecto de los procesos de secado sobre la incidencia de nuevas rajaduras producidas en cada tratamiento se calcula su porcentaje (Cuadro 32). El menor porcentaje lo tiene el tratamiento 4 con 1,25 % de nuevas rajadura producidas por el secado, mientras que el tratamiento 1 tiene 6,25 % de presencia de nuevas rajaduras. El tratamientos 2 tiene un 8,75 % y el tratamiento 3 presenta el 7,75 % de nuevas rajaduras, producidas por el secado en cada tratamiento y esto coincide con los análisis estadísticos.

Cuadro 32. Porcentajes de las nuevas rajaduras producidas por los tratamientos.

Tratamientos	Rajaduras Nuevas (%)
1	6,25
2	8,75
3	7,5
4	1,25

VII.2. Análisis de las grietas

El análisis de las grietas en cada tratamiento se realizó, evaluando cada grieta existente en todos los tablones antes del secado, de forma tal que se delimitaron con un marcador, midiendo su longitud, para después que se produzcan los procesos de secado realizar las mismas mediciones de las grietas en el mismo sitio, para ver si tuvieron algún incremento o apariciones de nuevas grietas que pudieran ser consecuencia de los procesos de secado.

Las grietas son las separaciones de la fibra de la madera que se observan en la parte superficial de los tablones, estas son líneas delgadas que siguen la dirección de la fibra, estas son producidas por las contracciones de la madera después de cada proceso de secado (JUNAC, 1.989).

Realizando un análisis descriptivo del defecto de las grietas podemos observar los valores máximo y mínimos obtenidos en la presente investigación (Cuadro 33).

Cuadro 33. Análisis descriptivo del defecto de grietas.

Tratamientos	N	Media	CV (%)	Desviación estándar	Error estándar	Intervalo de confianza para la media al 95 %		Mínimo	Máximo
						Limite Inferior	Limite Superior		
1	67	7,693	89,093	6,854	0,837	6,021	9,365	0,50	36,50
2	71	8,839	99,004	8,751	1,039	6,768	10,910	0,50	40,93
3	60	6,723	98,691	6,635	0,857	5,009	8,437	0,50	29,00
4	68	6,802	99,162	6,745	0,818	5,169	8,435	0,25	23,00
Total	266	7,552	97,285	7,347	0,450	6,665	8,439	0,25	40,93

El tratamiento 2 presenta el valor máximo de grietas con 40,93 cm de longitud máxima, pero el tratamiento 4 tiene el valor mínimo de 23 cm con respecto al valor máximo de grietas. Con respecto a los valores promedio el valor máximo lo presenta el tratamiento 2 con 8,839 % y el valor promedio mínimo lo presenta el tratamiento 3 con 6,723 %, el mejor tratamiento en relación a su comportamiento lo presenta el tratamiento 3.

En el Cuadro 34 se exponen los resultados del análisis de varianza entre cada uno de los tratamientos con respecto al incremento de las grietas. Se puede observar que no existe diferencia significativa entre los 4 tratamientos, con un nivel significancia del 1 %.

Cuadro 34. Análisis de varianza de las grietas.

		GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Grietas	Tratamientos	3	198,385	66,128	1,228	0,300
	Error	262	14106,812	53,843		
	Total	265	14305,197			

El porcentajes de grietas nuevas que aparecen en cada tratamiento (Cuadro 35), puede denotar que el tratamiento con menor porcentaje de grietas nuevas es el tratamiento 1 con un 16,25 % de grietas, mientras que el tratamiento 2 presenta un 23,75 % de grietas nuevas. El tratamiento 3 tiene un 26,25 %, y el tratamiento 4 se

observaron 20 % de nuevas grietas, esto fue calculado de acuerdo a total de piezas dentro de la carga, y el número de piezas que presentaron nuevas grietas en cada tratamiento.

Cuadro 35. Porcentajes de nuevas grietas producida por los tratamientos.

Tratamientos	Grietas Nuevas (%)
1	16,25
2	23,75
3	26,25
4	20

VIII. Defecto de colapso superficial e interno.

El colapso se produce por un endurecimiento superficial en las piezas de madera donde aparecen corrugaciones en la superficie de la pieza de madera. El colapso interno se desarrolla por fuertes aplastamientos, generalmente presentan grietas internas. Para identificar el colapso interno se procede a cortar la pieza en la sección transversal, estas se muestran en forma de panal de abeja (Simpson 1.998).

En el Cuadro 36 se exponen los porcentajes obtenidos en el colapso superficial en cada tratamiento. Para el tratamiento 1 se obtuvo el 6,25 %, y el tratamiento 2 presenta el 27,5 %. En el tratamiento 3 se observó el 22,5 %, y en el tratamiento 4 el 13,75 %, este defecto no es tan grave ya que al cepillar la madera entre 1 ó 3 mm se corrige este defecto. El porcentaje de colapso interno se tomó para en una muestra de 8 piezas de cada tratamiento, de los cuales el tratamiento 1 no presentó colapso interno. El tratamiento 2 tiene un 25 %, el tratamiento 3 presenta un 12,5 %, mientras que el tratamiento 4 no presentó colapso interno, donde estas muestras solo representan el 10 % de cada tratamiento.

Cuadro 36. Porcentajes de colapso superficial y interno de cada tratamiento.

Tratamientos	Colapso Superficial (%)	Colapso Interno (%)
1	6,25	-
2	27,5	25
3	22,5	12,5
4	13,75	-

IX. Porcentaje de médula en las cargas y porcentaje de los tipo de corte; radial, tangencial y oblicuo.

IX.1. Análisis de la médula.

Las evaluaciones que se tomaron en cuenta fue médula incluida y excluida en los tratamientos mediante el análisis de varianza para ambos casos (Cuadros 37). Ya que esta característica se encuentran en todas las especies de madera, las mismas producen defectos en los tablones cuando son sometidas a condiciones de secado. Al someter la médula de madera a los procesos de secado, pueden llegar a producir grietas y rajaduras, además de abarquillado, debido a que en estas zona presenta menor densidad y pueden producir mayor contracción.

Cuadros 37. Análisis de varianza de todos los tratamientos respecto a la médula incluida y excluida.

Médula		Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
incluida	Tratamientos	3	7,700	2,567	2,599	0,052
	Error	316	312,100	0,988		
	Total	319	319,800			

Médula		Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Excluida	Tratamientos	3	1,925	0,642	2,599	0,052
	Error	316	78,025	0,247		
	Total	319	79,950			

De los resultados obtenidos en el Cuadro 37 se puede ver que no existe una diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de significancia del 1 %, tanto para médula incluida como para médula excluida. Esto nos indica que la presencia de médula en los tablones no influye en los defectos, y sobre todo en la presencia e incremento de grietas y abarquillado.

En el Cuadro 38 se puede ver el porcentaje de presencia y ausencia de médula de todos los tratamientos.

Cuadro 38. Porcentaje médula presencia o ausencia en todos los tratamientos.

		Frecuencia	Porcentajes	Porcentajes Validos	Porcentajes Acumulados
Variables	Ausente	164	51,3	51,3	51,3
	Presente	156	48,8	48,8	100,0
	Total	320	100,0	100,0	

Como se puede observar en el cuadro 38 y en la (Figura 21), el porcentaje de ausencia de médula para todos los tratamientos es el mayor con un valor alcanzado de 51,3 %. Es decir que representa más de la mitad de las piezas sin médula, en cambio existe un 48,8 % de presencia de médula en todos los tratamientos. Cabe destacar que la médula se presenta de forma excéntrica dentro de cada tablón, y en algunos casos se encuentra encajonada en el corte radial, dentro de la pieza de madera produciendo rajaduras y grietas en los extremos de los mismos.

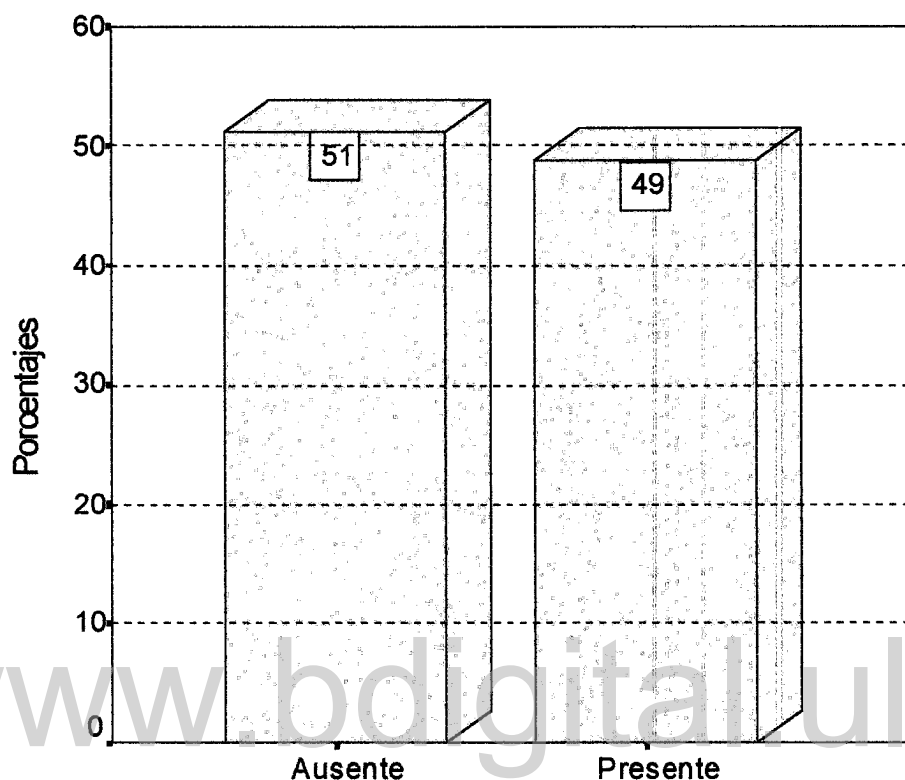


Figura 21. Porcentaje de presencia y ausencia de médula en todos los tratamientos.

En la (Figura 22) se puede detallar el porcentaje de presencia y ausencia de médula por tratamiento la suma de cada porcentaje en cada tratamiento y de cada variable da el total de todos. En el caso del tratamiento 1 el porcentaje de médula presente es el mayor con un 31 %, y en el tratamiento 2 y 4 los mayores porcentajes para la ausencia de médula son de 26 % en los dos tratamientos, de igual forma para el tratamiento 3 el mayor es la ausencia de médula con un valor de 29 %, siendo este el más elevado de los 4 tratamientos.

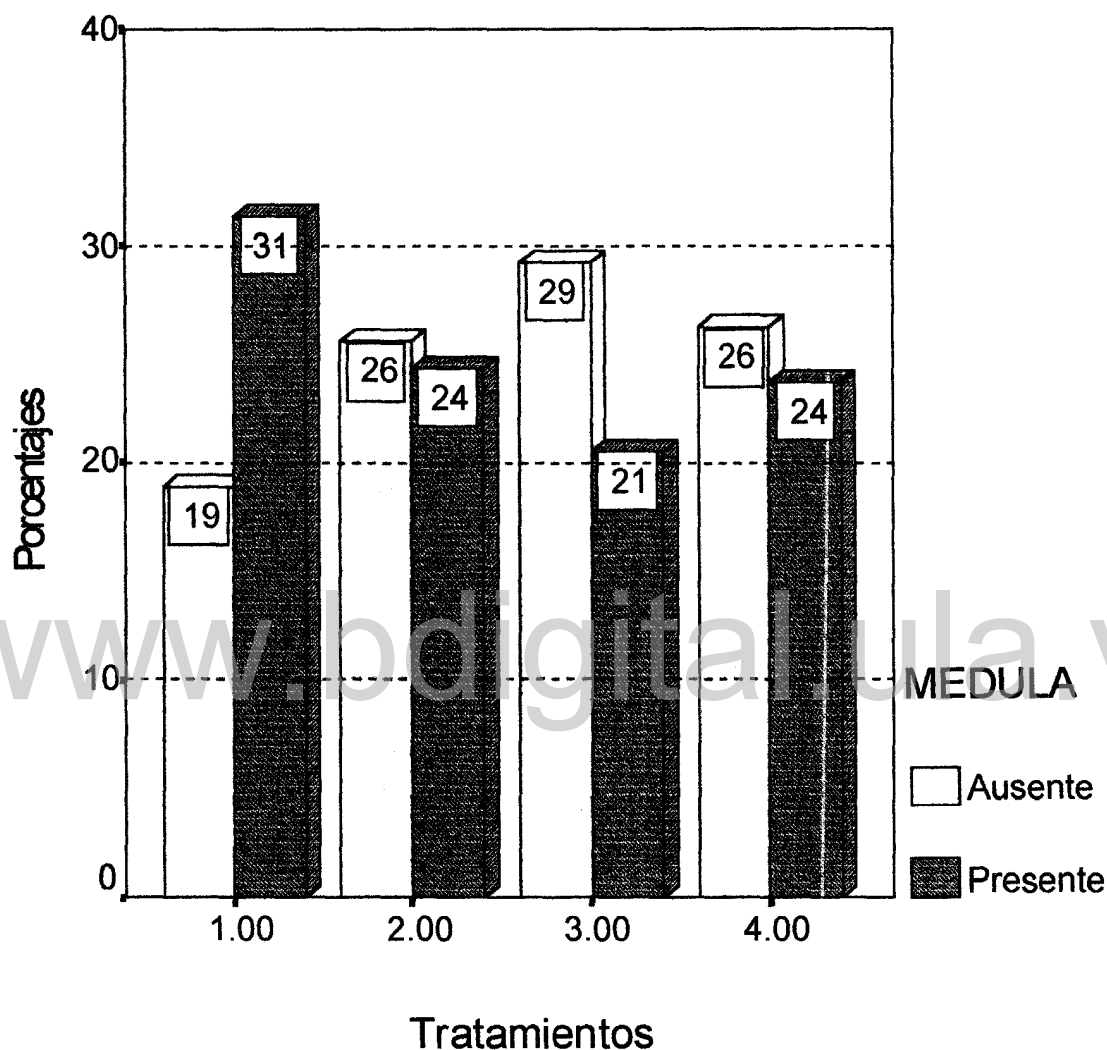


Figura 22. Porcentajes de médula en cada tratamiento.

IX.2. Análisis de los tipos de cortes en las piezas.

Al realizar el aserrado de las rolas de madera en el Laboratorio Nacional de Productos Forestales, se producen diferentes tipos de corte de acuerdo a la orientación de la rola en el momento del aserrado, estos cortes pueden ser: el tangencial, radial y el oblicuo. Para el estudio de los tipos de cortes (Tangencial, Radial, Oblicuo) de las piezas de madera que son obtenidos debido al los cortes

realizados en el aserradero, se realiza un análisis de varianza, los cuales se expondrán en los puntos siguientes.

IX.2.1. Análisis del corte tangencial.

Analizando el tipo de corte tangencial de todas las muestras de madera, y realizando el análisis de varianza (Cuadro 39), nos indica que no hay diferencia significativa entre los tratamientos, con un nivel de significancia del 1 %. La Figura 15 permite apreciar que los defectos en el corte tangencial no son significativos y que la calidad del proceso de secado en este plano ha sido el más idóneo desde el punto de vista técnico.

Cuadro 39. Análisis de varianza para el corte tangencial.

Corte		GI	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Tangencial	Tratamientos	3	1,159	0,386	1,567	0,197
	Error	316	77,938	0,247		
	Total	319	79,097			



Figura 23. Corte tangencial de las muestras.

Fotografía: Yoston Contreras.

IX.2.2. Análisis del corte radial.

En el corte radial se realizó el análisis de varianza, pudiéndose observar que no hay diferencias significativas entre los tratamientos, con un nivel de significancia del 1 % (Cuadro 40). A diferencia de la Figura 23 del corte tangencial, en la Figura 24 si se presentan defectos significativos que hacen que la calidad de esta pieza sea de baja calidad técnica tanto para su uso y aprovechamiento racional de la misma, lo cual, en caso de venta, habría que dividirla en dos y repercutiría en la disminución de sus costos futuros. La Figura 24 presenta una grieta superficial con clara adyacencia a los radios. Esta característica generalmente se presentan en la cara de piezas de aserrado plano, y se presentan, según León y Espinoza de Pernía (2.001) cuando los esfuerzos de secado superan la resistencia de la madera a la tensión perpendicular del grano. La causa de la formación de estas grietas es el secado rápido de la superficie de la madera y de las capas adyacentes y la consiguiente contracción de esta zona (Simpson, 1.991).

Cuadro 40. Análisis de varianza para el corte radial.

Corte		Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Radial	Tratamientos	3	3,137	1,046	1,173	0,320
	Error	316	281,750	0,892		
	Total	319	284,888			



Figura 24. Corte radial de las muestras.

IX.2.3. Análisis del corte oblicuo.

Para el corte oblicuo, podemos observar con el análisis de varianza que no hay diferencia significativa entre los tratamientos con respecto a este tipo de corte en la piezas de madera, con un nivel de significancia del 1 % (Cuadro 41). La Figura 25 expone de forma similar que en la Figura 23 del corte tangencial, en el caso de esta probeta, que se alcanzó una buena pieza de madera después del secado, es decir que no se produjeron defectos por causa de éste.

Cuadro 41. Análisis de varianza para el corte oblicuo.

Corte		Gl	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Oblicuo	Tratamientos	3	1,125	0,375	0,414	0,743
	Error	316	286,425	0,906		
	Total	319	287,550			



Figura 25. Corte oblicuo de las muestras. Fotografía: Yoston Contreras.

En el Cuadro 42 se puede observar la distribución general en porcentaje de los tipos de cortes oblicuo, radial y tangencial, de todos los tratamientos.

Cuadro 42. Porcentaje de los tipos de cortes en todos los tratamientos.

		Frecuencias	Porcentaje	Porcentajes Validos	Porcentajes Acumulativos
Cortes	Oblicuo	36	11,3	11,3	11,3
	Radial	107	33,4	33,4	44,7
	Tangencial	177	55,3	55,3	100,0
	Total	320	100,0	100,0	

En el porcentaje de los tipos de cortes para todos los tratamientos el que presenta el mayor porcentaje es el corte tangencial de 55,3 % (Figura 26), es decir, que representa más de la mitad de las piezas de tablonés con este tipo de corte, en cambio con un 33,4 % es el corte radial, y el menor de todos es el oblicuo con 11,3 % de presencia en los tratamientos.

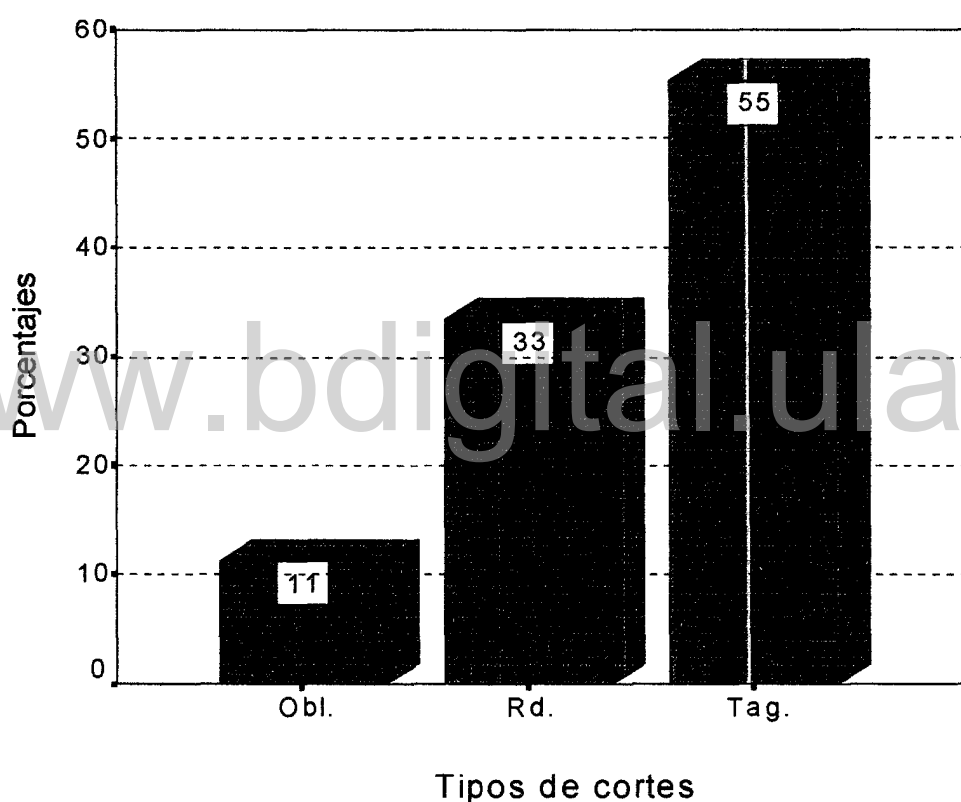


Figura 26. Porcentajes de los tipos de cortes en todos los tratamientos

La figura 27 permite apreciar la distribución en porcentajes de los diferentes tipos de cortes en cada tratamiento, y así como también, el porcentaje exacto de los diferentes tipos de cortes en cada tratamiento.

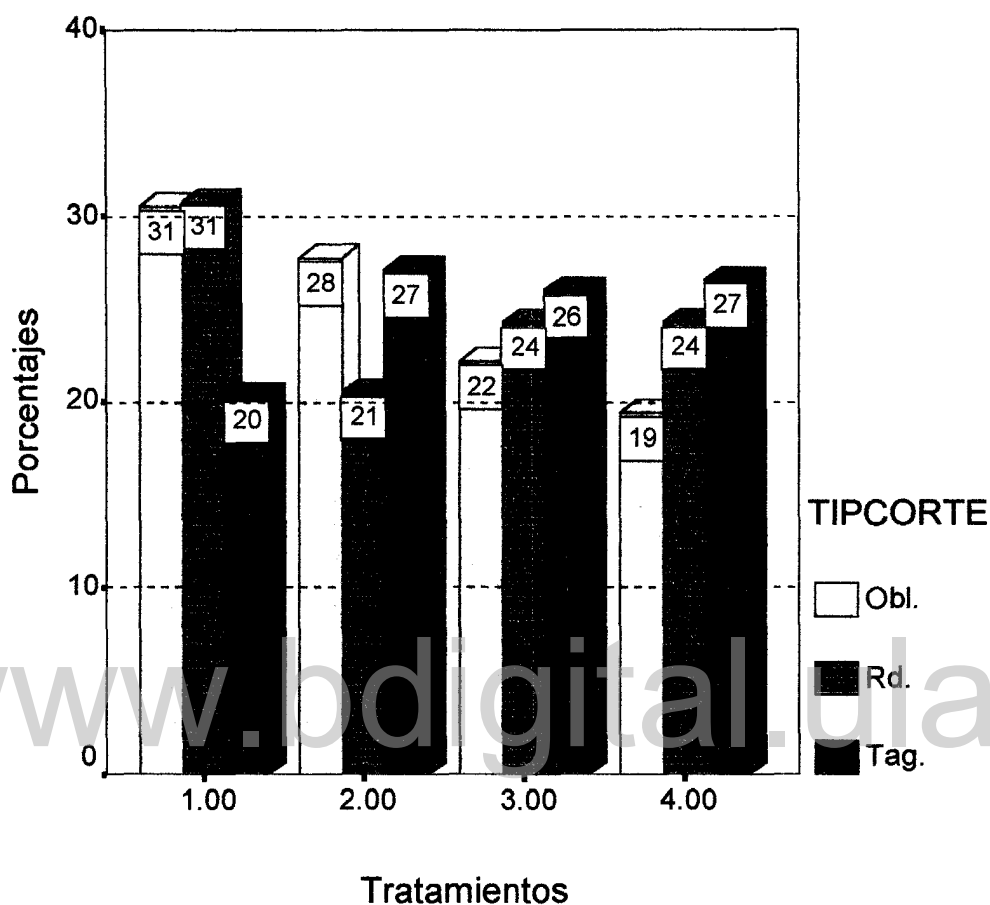


Figura 27. Porcentajes de los diferentes tipos de cortes en cada tratamiento.

Así la figura 27, la suma de cada porcentaje en cada tratamiento y de cada variable da el total de todos, se define que el tratamiento 1 presenta el mayor porcentaje del corte oblicuo con 31 %, con respecto al resto de los tratamientos. El tratamiento 2 tiene un 28 %, mientras que el tratamiento 3 alcanza el 22 % y el tratamiento 4 con un 19 %, con respecto al corte radial. El tratamiento 1 es igualmente el que alcanza el mayor porcentaje con el 31 %, con respecto al resto de los tratamientos. Los tratamientos 3 y 4 presentan igual porcentaje con 24 % y el tratamiento 2 tiene el menor porcentaje de 21 % del los cuatro tratamientos. En el corte tangencial, los tratamientos 2 y 4 tienen los porcentajes más elevados de 27 %, mientras el

tratamiento 3 alcanza el 26%, y el tratamiento 1, tiene la menor representación de porcentaje de 20 %.

X. Evaluación de la inclinación del grano.

La inclinación del grano es la alineación de las fibras con respecto al crecimiento del árbol en el sentido longitudinal. En el presente trabajo se realiza la evaluación de la presencia de grano inclinado o recto en cada uno de los tablones de cada tratamiento.

Al realizar el análisis estadístico (Cuadro 43), podemos observar que se tiene una clara diferencia significativa entre el grano inclinado como en el recto, con un nivel de significancia del 1 %.

Cuadro 43. Análisis de varianza de la inclinación del grano.

Grano		GL	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	Sig.
Inclinado	Tratamientos	3	8,300	2,767	2,997	0,031
	Error	316	291,700	0,923		
	Total	319	300,000			
Recto	Tratamientos	3	2,075	0,692	2,997	0,031
	Error	316	72,925	0,231		
	Total	319	75,000			

En el análisis del método de comparaciones múltiples de Tukey para el grano inclinado se presentan dos grupos entre los cuales el tratamiento 4 presenta una diferencia significativa con el respecto al tratamiento 2 (Cuadro 44).

Cuadro 44. Prueba de Tukey para grano inclinado.

Grano inclinado	N	Subset for alpha = 0,05	
Tratamiento		1	2
4	80	0,500	
3	80	0,725	0,725
1	80	0,850	0,850
2	80		0,925
Sig.		0,099	0,553

Al aplicar método de comparaciones múltiples de Tukey para el grano recto, se tienen dos grupos, entre los cuales el tratamiento 2 presenta una diferencia significativa con el respecto al tratamiento 4 presenta (Cuadro 45).

Cuadro 45. Prueba de Tukey para el grano recto.

Grano Recto	N	Subset for alpha = 0,05	
Tratamientos		1	2
2	80	0,538	
1	80	0,575	0,575
3	80	0,638	0,638
4	80		0,750
Sig.		0,553	0,099

En la figura 28, se exponen los porcentajes de grano inclinado y recto en todos los tratamientos, donde se puede observar que el mayor porcentaje lo tiene el grano recto con 62 %, y el grano inclinado en menor cantidad con 38 %. La influencia de grano recto nos indica que los defectos dentro del secado pueden disminuir, con respecto a la presencia de grano inclinado.

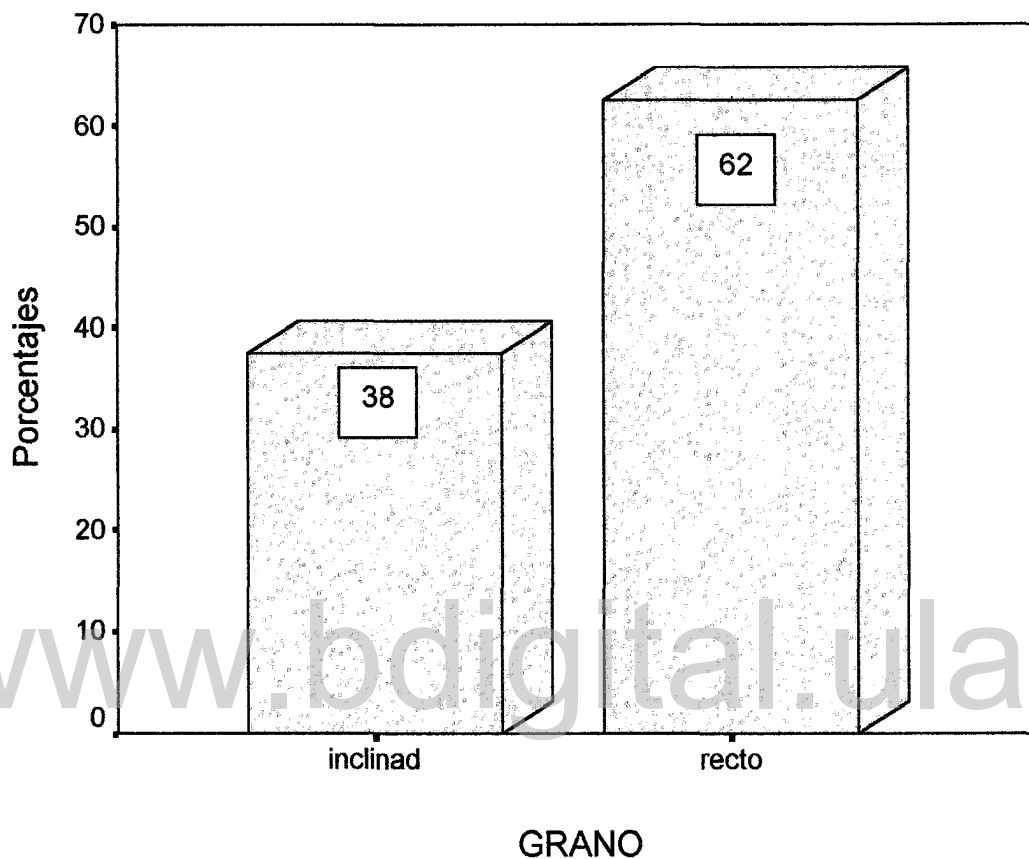


Figura 28. Porcentaje de inclinación del grano en todos los tratamientos.

La madera de *Gmelina arborea* (Figura 28) presentó un 38 % de grano inclinado, siendo los tratamientos 1 y 2 donde las probetas presentaron mayor porcentaje de grano inclinado (Figura 29), hecho por el cual, estos resultados coinciden con lo expuesto por Kollmann y Coté (1.968), donde toda madera que presentan grano inclinado, además de espiralado y entrecruzado, la hace susceptible a desarrollar arqueaduras y torceduras durante el secado. La figura 29, la suma de cada porcentaje en cada tratamiento y de cada variable da el total de todos, permite ver

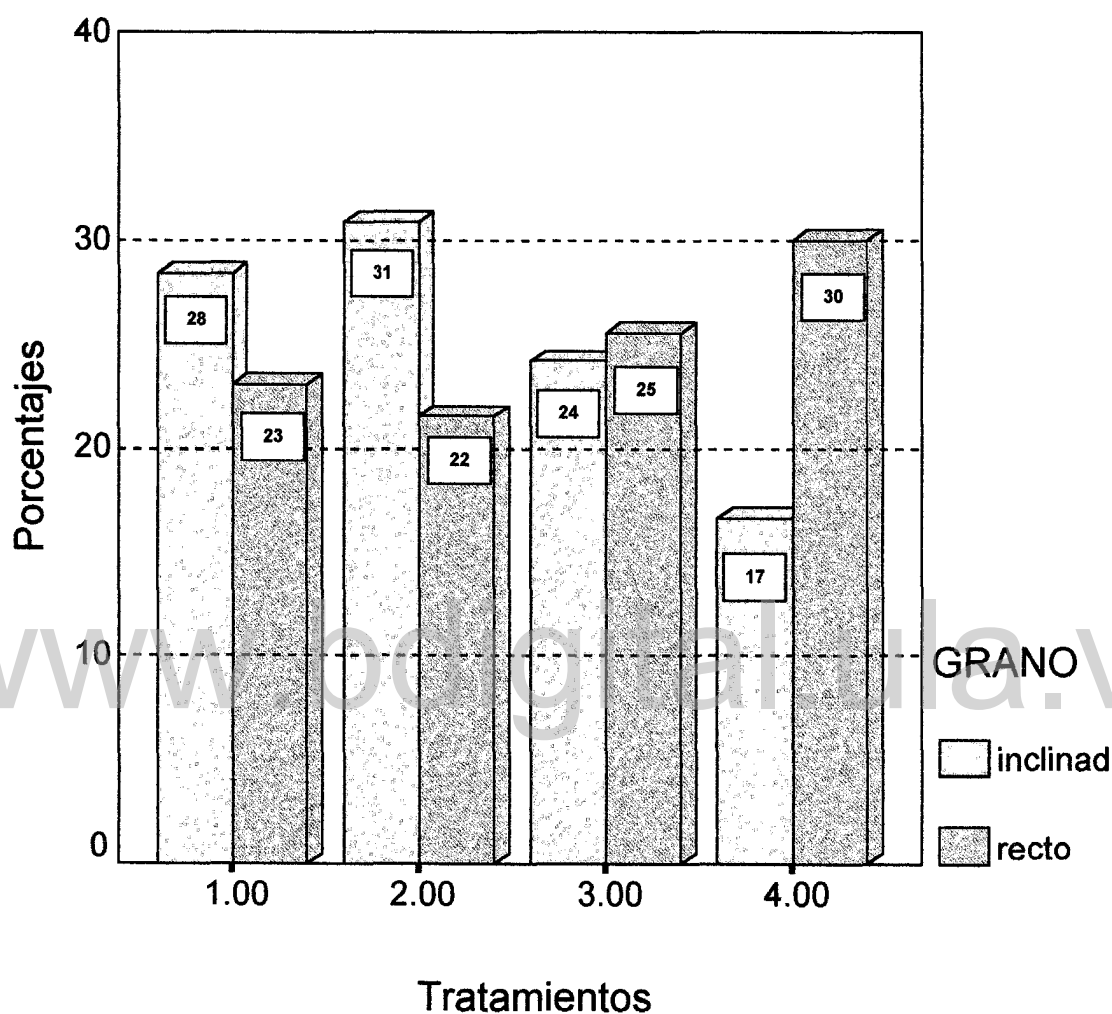


Figura 29. Porcentajes de grano en cada tratamiento.

como están distribuidos los porcentajes de grano inclinado y recto dentro de cada tratamiento.

El mayor porcentaje de grano inclinado lo presenta el tratamiento 2 con un 31 %, y en grano recto el tratamiento 4 con 30 %. El tratamiento 4 tiene el menor porcentaje

de grano inclinado con 17 %, mientras que los tratamientos 2 y 1 presentan porcentajes de grano inclinado entre 24 y 28 %. Respecto al tratamiento 2 con 22 %, es el que tiene la menor proporción de grano recto. Los tratamientos 1 y 3 se encuentran entre 23 y 25 % de grano recto.

XI. Descripción Microscópica de las muestras antes y después del secado de las especie *Gmelina arborea*

La descripción de estas muestras se realizó siguiendo las normativas del IAWA Committee (1.989). Adicionalmente se calculó el porcentaje de tílides presente en cada lámina antes y después del secado.

XI.1. Descripción general de las láminas estudiadas de la especie *Gmelina arborea*:

Al aplicar la metodología IAWA Committee (1.989), se determinó desde el punto de vista anatómico para la madera de melina, lo siguiente:

- Anillos de crecimientos definidos por parénquima marginal, algunas veces acompañado por porosidad con tendencia a semi-circular y reducción del diámetro radial de las fibras. Porosidad difusa, ocasionalmente con tendencia a semi – circular. Poros sin patrón definido de disposición, solitarios, múltiples radiales 2 - 3, diámetro tangencial de (100 -) 147 – 197 (- 230) μm , con 4 - 5 por mm^2 . Platinas de perforación simples. Punteaduras intervasculares alternas, circulares u ovaladas, diámetro de 7,5 – 10 (-12,5) μm . Punteaduras radiovasculares distintas a las intervasculares aparentemente simples y de forma redondeadas. Punteaduras ornadas ausentes. Engrosamientos espiralados ausentes. Tílides presente. Fibras septadas, de paredes delgadas a medianas, engrosamientos espiralados ausentes, punteaduras indistintas areoleadas. Traqueidas ausentes. Parénquima paratraqueal vasicentrico, confluyente, aliforme de ala corta y en bandas marginales, en series de 2 – 4 (- 8). Parénquima no lignificado ausente. Radios homocelulares de células

procumbentes y heterocelulares con 1 (-3) rutas de células marginales, 3 – 4 (-5) radios por mm lineal, radios de (2-) 3 – 4 (-5) células de ancho, altura de (180-) 355 – 488 (-660) μm . Radios de dos tamaños ausentes. Radios agregados ausentes. Células envolventes ausentes. Células tipo baldosa ausentes. Células radiales perforadas ausentes. Parénquima radial disyuntivo ausente. Estructura estratificada ausente. Cristales presentes aciculares en las células de los radios. Sílice ausente. Células oleíferas o mucilaginosas ausentes. Canales intercelulares o tubos ausentes. Floema incluso ausente.

A continuación se pueden resaltar varios de los factores más importantes del presente trabajo, según criterio de los autores, entre la relación propiedades anatómicas de la madera y el proceso de secado:

Se puede apreciar que las características de los elementos vasculares presentes en la madera de *Gmelina arborea*, por ser elementos anatómicos de gran importancia en el flujo de agua, León y Espinoza de Pernía (2.001) y Simpson (1.991), dicen que muchas veces esos elementos vasculares pueden encontrarse obstruidos, según sea la especie de árbol, con sustancias de naturaleza variada, caso del tálides presentes en la madera de *Gmelina arborea*, las cuales hacen que el flujo de líquidos a través de ellas sea muy lento.

El estudio anatómico determinó que la madera de *Gmelina arborea* tienen radios hasta de 5 células anchos, según León y Espinoza de Pernía (2.001), especialmente en estos elementos anatómicos pueden presentarse defectos de rajaduras y grietas, debido a la contracción que sufre la madera al momento de ser sometida a los procesos de secado, por lo que se explica que esta madera tienda a presentar grietas cuando es sometida a un tratamiento de secado, tal como se pareció en la Figura 16.

El presente estudio coincide con lo dicho por Siau (1.984), de que la aplicación de temperaturas muy elevadas (superiores a 50 – 60 ° C) durante las primeras etapas

de secado, lo cual disminuye la resistencia de la madera y la hace más susceptible al colapso, se puede encontrar una segunda causa entre la relación anatomía y proceso de secado de la madera de melina en el tipo de punteaduras presentes, ya que su forma y tamaño relativamente pequeño, puede ser otra de las causas por la cual se presenta el colapso superficial interno y superficial, ya que con punteaduras pequeñas aumenta la tensión capilar resultante y con ello se genera el colapso.

XII. CONCLUSIONES.

1. El tratamiento que presento el mejor comportamiento, de acuerdo a las variables evaluadas fue el tratamiento 4, la combinación de el convencional – alta temperatura al 30 % de contenido de humedad de la madera, usando 115 ° C en el momento de llegar a ese contenido de humedad la madera, debido a que tiene el mejor comportamiento con respecto a los defectos que se producen al aplicarles el horario de secado.
2. En los tratamientos utilizados para el secado de tablonés de la especie ***Gmelina arborea*** con 50 mm de espesor, desde la condición verde hasta alcanzar mas o menos el 10 % de contenido de humedad final, tiene una relación de días de duración desde 6 días con el horario de alta temperatura hasta 24 días con el horario convencional, se incluyen los días las fases de calentamiento de la madera y las de ecualización y acondicionamiento. El porcentaje de ahorro en días de secado desde el de tratamiento 2 con respecto al tratamiento 1 es del 75 %, y en los tratamientos 3 y 4 son de 67 y 29 % respectivamente, esto concuerda con lo dicho por Arganbright, (1.979), que los tiempos de secado se reducen cuando se aplica alta temperatura después del punto de saturación de la fibra.

3. En el caso de la contracción longitudinal y del ancho estadísticamente no presentan diferencias entre los tratamientos aplicados, debido a que estas contracciones no son altamente representativas en los defectos de secado, con respecto a la contracción en el espesor existe diferencias estadísticas entre los tratamientos, ya que el tratamiento 3 presenta la mayor contracción con 8,37 % con el resto de tratamientos. Este tipo de evaluación no se puede tomar con un defecto en la madera, pero sus porcentajes pudieran ser disminuidos al optimizar los programas de secado.
4. El contenido de humedad final de los cuatro tratamientos, presenta un gran porcentaje de sus piezas por debajo del 14 % de contenido de humedad final, sin embargo el tratamiento que tiene el menor porcentaje de piezas por debajo del 14 % de contenido de humedad final es el tratamiento 4 con el 68,75 %, esto pudiera ser debido a una falla técnica de la cámara de secado al final de su proceso, la cual presentó la pérdida de unos de los ventiladores que se encuentran en el centro de la cámara.
5. En los procesos de secado una de las grandes preocupaciones y sobre todo al usar altas temperaturas es el colapso superficial y interno, como se indica el mayor porcentaje de colapso interno lo tiene el tratamiento 2 con el 25 %, con respecto al colapso superficial el mayor porcentaje lo presenta el tratamiento 2 con 27,5 %, pero este defecto se puede corregir cepillado las piezas.
6. Las rajaduras y grietas es uno de los defectos mas comunes en la aplicación de horarios de alta temperatura, esto es ratificado en esta investigación, debido a que el mayor porcentaje de nuevas rajaduras lo tiene el tratamiento 2 con el 8,75 %, en el caso de nuevas grietas el mayor porcentaje lo presenta el tratamiento 3 con el 26,25 %.

7. En el caso de la médula que es una de las causas de los defectos de grietas y rajaduras, al observar la presencia y ausencia de médula nos encontramos que el mayor porcentaje es de ausencia de médula con 51 %, contra un 49 % de presencia en todos los tratamientos, esto puede ser una de las causas de el incremento del porcentaje de nuevas rajaduras y grietas en los tratamientos aplicados.
8. La relación a los tres cortes ortogonales tangencial, radial y oblicuo en todos los tratamientos, estadísticamente los tres tipos de cortes no presenta diferencia significativa entre los tratamientos, igual como lo indica (Shmulsky, 2.001), que el movimiento del agua libre en los cortes radiales y tangenciales no son estadísticamente diferentes, debido a que en el corte longitudinal el flujo de agua es tres veces mas rápida. Indicándonos que cualquier corte utilizado en esta investigación no presenta alguna influencia en los defectos que puedan aparecer después del secado, sin embargo el mayor porcentaje de los tres tipos lo presenta el tangencial con el 55 %.
9. Los tipos de grano encontrados son el inclinado y el recto, estos dos presentan una diferencia significativa en cada tratamiento, sin embargo como el mayor porcentaje de en todos los tratamientos lo tiene el grano recto 63 %, indicándonos que los defectos de abarquillado, arqueadura y torcedura son menos pronunciados en estos tratamientos.
10. La proporción de tílides en la especie **Gmelina arborea** representa una de las causas de lo grandes defectos que se producen en la madera, y sobre todo cuando es sometida a un proceso de secado artificial. De las 36 láminas estudiadas todas presentaban un porcentaje superior al 90 % de tílides. Esta característica de tílides en grandes porcentaje disminuye el movimiento del agua en el sentido longitudinal, debido a que obstruye los vasos, produciendo mayores tiempos de secado y a su vez defectos en la madera (JUNAC, 1.989). Además la presencia de radios 2 – 5 células de ancho, estas se secan

con mayor rapidez por ser células débiles, por lo tanto pueden producir la aparición de nuevas grietas y rajaduras, y el incremento de las ya existentes (Simpson 1.991).

11. La presencia de células parenquimáticas como el parénquima en bandas y radios anchos, tiene una tasa de contracción mayor en comparación con las demás células, llegando a producir defectos de alabeo y agrietamientos, esto se refleja en el tratamiento 2, la cual presenta el mayor valor promedio de contracción de espesor con 3,54 %, reflejándose esta causa en el mayor porcentaje de aparición de nuevas rajaduras con el 8,75 %.

XIII. RECOMENDACIONES.

1. Se recomienda la realización de la aplicación práctica del presente trabajo para la potencialidad de uso y comercialización de la madera de *Gemelina arborea* seca en Venezuela.
2. Se recomienda realizar esta experiencia técnica de determinación de programas de secado para otras especies comerciales de maderas latifoliadas en Venezuela.
3. Además de estudios anatómicos para ver el comportamiento del espesor de las paredes y longitud de la fibras, al aplicarle un horario de secado de alta temperatura.
4. Se recomienda la selección del material al momento del aserrado tratando de obviar las piezas que presentan médula, con el fin de evitar problemas después del secado en esta zona.
5. Se recomienda la implementación de estos horarios de secado, para esta misma especie pero con la selección de diferentes edades o turnos de cortes

para ver su variabilidad y comportamiento con respecto a la presencia de albura y duramen, para ver si hay disminución de los defectos en cualquiera de estas dos fases de crecimiento del árbol.

www.bdigital.ula.ve

XIV.- BIBLIOGRAFÍA.

AITIM. 1.996. El secado de la Madera Aserrada. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho. N° 179. 79-81 p.

AITIM, 1.989. Secado a altas Temperaturas. Asociación de Investigación Técnica de las Industrias de la Madera y el Corcho N° 140;25 p.

Arganbright, D. 1.979. Developmensts in applied drying technology, 1.971-1.977. Forest Products Research Society., Madison, WI.

Boone, S. 1.984. High-temperature Kiln-drying of 4/4 lumber from 12 hardwood species. Forest Products Journal. 34(3):10-18.

Boone, S. 1.986. High-temperature Kiln-drying red maple lumber: Some options. Forest Products Journal. 36(9):19-25.

Boone, R., Charles, J., Paul, J., y Eugene, M. 1.988. Dry Kiln Schedules for Commercial Woods Temperate and Tropical. General Technical Report FPL-GTR-57.USDA. Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison, Wisconsin. 158 p.

Burger, M. y H. Richter. 1.991. Anatomia da Madeira. Libreria Nobel S.A. Sao Paulo.

Burgos, A. 1.995. Secado al horno de Saqui-Saqui aplicando un horario combinado: Convencional Alta Temperatura. Tesis presentada como requisito parcial para optar al grado de Magíster Scientiae. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida - Venezuela.

Canessa, E. 2.000. Ultraestructura de la pared celular en elementos xilemáticos de melina (*Gmelina arborea*) con los defectos de secado en esta especie. Informe Final para la empresa Maderín ECO. Centro de Investigación en Integración Bosque Industria Escuela de Ingeniería Forestal Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 17 p.

CIIBI, 2.001. Características de la madera de melina (*Gmelina arborea*): inclinación de la fibra, duramen y "madera de reacción". Centro de Investigación en integración bosque industria. Costa rica. Año 1., Nº 2.

Contreras, W. 2.001. Eco-viviendas con madera. Construya el calor del hogar verdadero. Junio 11 de 2001. Diario Frontera. C-1.

Córdoba, R. 2.000. Evaluación de proceso de secado de tablitas de melina (*Gmelina arborea*) empleadas para la fabricación de lápices. Informe Final para la empresa Maderín ECO. Centro de Investigación en Integración Bosque Industria Escuela de Ingeniería Forestal Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago. 35 p.

COROTHIE, H. 1967. Estructura Anatómica de 47 Maderas de la Guayana Venezolana y Clave Para su Identificación. Universidad de Los Andes y Ministerio de Agricultura y Cría. Laboratorio Nacional de Productos Forestales. Mérida, Venezuela.

Datta, S. y A, Kumar. 1.987. Histochemical Studies of the Transition from Sapwood to Heartwood in *Tectona grandis*.. IAWA Bull. n.s. 8:363-368.

Duran, J. 2004. Archivos de la planta de secado del Laboratorio Nacional de Productos Forestales, y comunicación personal.

Encinas, O. 1.998. ¿ Por que debe secarse la madera? Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Nota de Extensión. Vol. 1. Nº 1. Mérida, Venezuela. 8p.

Graham, R.D. and R.J. Womack. 1.972. Kiln and Boulton – drying Douglas-fir pole sections at 220 ° F to 290 °F. Forest Products Journal. 22(10):50-55.

Hillis, W. 1.987. Heartwood and Tree Exudates. Springer Verlag Series. New York.

Hoeger, R. 1.996. MELINA (*Gmelina arborea*): Serie Madera Comerciales de Venezuela. Instituto Forestal latinoamericano. Ficha Técnica Nº 45.

Huffman, D.R. 1.974. Kiln schedule aids preservative impregnation of red pine poles. Canadian Forest Industries, February. pp 56-59.

Jerez, M y Rodríguez, R. 1.991. Estudio preliminar del efecto del corte Tangencial y Radial sobre el secado de la Madera de 12 años de edad de *Gmelina arborea* de plantaciones. Tesis para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida - Venezuela.

JUNAC. 1.989. Manual del grupo andino para el secado de maderas. Junta del Acuerdo de Cartagena. PADT- REPORT. Lima, Perú.

Koch, P. 1.974. Serrated Kiln sticks and top load substantially reduce warp in southern pine studs dried at 240°F. Forest Products Journal. 24(11):30-34.

Kollmann, F., Cote, W., 1.968. Principles of wood science and technology. Vol. I. Solid Wood. Springer Verlag. Berlín, 592 pp.

León , W, y N. Espinoza de Pernía. 2.001. Anatomía de la Madera. Universidad de Los Andes. Consejo de Publicaciones y CDCHT. Mérida, Venezuela.

Li-DaGang; G; Li-DG; G. 2.000. Effects of high temperature drying on wood properties of Poplar. Journal-of-Nanjing-Forestry-University. 24: 1, 35 -37;6ref.

Lowery, D. y E. Rasmussen. 1.953. Accelerated drying of lodgepole pine and western larch poles. Forest Products Journal. 8(6):221-226.

McMillen, J. y E. Wengert. 1.978. Drying eastern hardwood lumber. U.S. Dep. Agriculture, Agri. Handb. 528,104 p.

Marquez, K. y Peña, J. 1.993. Informe de Pasantías realizado en las Finca "Santo Tomas y Saltanejas" de la Empresa Smurfit Cartón de Venezuela División Forestal. Informe de Pasantías para optar al título de Ingeniero Forestal. Universidad de Los Andes, Facultad de Ciencias Forestales y Ambientales. Mérida - Venezuela.

Maeglin, R. 1.990. Structural Lumber from aspen : using the saw-dry-rip(SDR) process. In: Proc. of Aspen Symposium. North Central Forest Expt. Sta. Duluth, Minn.

Maeglin, R. y Boone R. 1.983. Manufacture of quality yellow-polar studs using the saw-dry-rip(S-D-R) concept. Forest Products Journal. 42(6):5-10.

Miao-Ping; Gu -LianBai; Miao -P; Gu -LB 2.000. Effects of permeability of masson pine wood on the rate of water transfer during high temperature drying. Journal-of-Nanjing-Forestry-University. 24: 2, 51-54; 12 ref.

Nustsch, W. 1.992. Tecnología de la Madera y del Mueble. Editorial Reverte, S.A. Barcelona – España. pp 509.

Paredes, B. José, M. 1.988. Evaluación de las Plantaciones de Teca (*Tectona grandis*) y Melina (*Gmelina arborea*) en la "Unidad Experimental " de la Reserva Forestal de Ticoporo (Estado Barinas). Cuaderno COMODATO ULA – MARNR. N° 15 Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Mérida – Venezuela.

Price, E. y P. Koch. 1.980. Kiln time and temperature affect shrinkage, warp, and mechanical properties of southern pine lumber. Forest Products Journal. 30(8):41-47.

Puente, C. 1.980. Secado y preservación de las especies Melina (*Gmelina arborea*), Cedro (*Cedrela angustifolia*) y Teca (*Tectona grandis*) Provenientes de la plantación de Caparo - Edo. Barinas. Trabajo especial.

Qinglin, W. y Ramsay , W. 1.998. Effects of Elevated and High- Temperature Schedules on warp in Southern yellow pine lumber. Forest Products Journal. 48(2);52-56.

Rietz, H. 1.969. Influence of initial drying temperature on development of warp in one inch hard maple. Forest Products Journal. 19(7): 37-40.

SEFORVEN. 2.001. Servicio Autónomo Forestal Venezolano. Estadísticas Forestales, año 1999 – 2000. Ministerio del Ambiente y los Recursos Naturales Renovables. Venezuela.

Shmulsky, R. 2.001. High temperature drying from the three primary orthogonal surfaces of loblolly pine. Drying-Technology. 19: 3-4, 653-659; 6 ref.

Siau, J. 1.984. Transport Process in Wood. Springer-Verlag. Springer Series in Wood Science. Berlin, Germany.

Simpson, W. 1.991. Drying Kiln Operator's Manual. Agriculture Handbook 188. USDA – Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison. Wisconsin.

Simpson, W. 1.980. Accelerating the Kiln drying of oak. Res. Pap. FPL-378. USDA- Forest Service. Forest Products Laboratory. Madison. Wisconsin.

Simpson, W, Forsman, J, Ross, R. 1.998. Kiln- drying Maple Structural Lumber from Log Heart Cants. Forest Products Journal. 48(6):70-76.

Simpson, W. 1.996. Method to estimate dry- Kiln Schedules and Species Groupings: Tropical and Temperature Hardwoods. Research Paper FPL- RP-548. Forest Service. Forest Products Laboratory. 58 p.

Thompson, W. y R. Stevens. 1.972. Kiln- drying of southern pine poles; Results of laboratory and field studies. Forest Products Journal. 22(3):27-34.

Thomas, R. 1.981. Wood Anatomy and Ultrastructure. In Wood: It's Structure and Properties. Edited by F. Wangaard. Pennsylvania State University. Pennsylvania.

Viscarra, S. 1.998. Guía para el secado de la madera en hornos. Proyecto BOLFOR. Documento técnico # 69. Santa Cruz – Bolivia. 64 p.

Wolfe, C. 1.979. Problems associated with high temperature kilns In: Proc. High Temperature Drying of Hardwoods. Purdue University. West Lafayette, Ind. PP 41-54.

Ying, H. Chui, Taylor Adam, Cooper Paul. 2.001. Effects of High – Temperature Drying on Bending Strength of Red Pine Poles. Forest Products Journal. 51(7/8):47-50.