



UNIVERSIDAD DEL MAR

Campus Puerto Escondido.

**PROPIEDADES FÍSICAS DE LA MADERA DE *Gmelina arborea* (Roxb.)
PROVENIENTE DE PLANTACIÓN, QUE REPERCUTEN EN SU CALIDAD**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO
PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL**

PRESENTA:

EDGAR FLORENCIO HERNÁNDEZ ESCAMILLA

DIRECTORA DE TESIS:

DRA. JUANA LAURA RIVERA NAVA

Puerto Escondido, San Pedro Mixtepec, Oaxaca, Marzo del 2012.

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad del Mar Campus Puerto Escondido**. Por haberme permitido cursar la carrera.

Al **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP)** Campo Experimental San Martinito, Tlahuapan, Puebla. Por su apoyo.

Al **Dr. José Amador Honorato Salazar**. Gracias por haberme brindado la oportunidad de trabajar en el INIFAP, por su buena disposición en transmitir sus conocimientos y aclarar mis dudas, pero sobre todo gracias por su amistad y la confianza depositada en mí.

A la **Dra. Juana Laura Rivera Nava**. Por brindarme su amistad, su apoyo incondicional, por aclarar mis dudas y por depositar toda su confianza en mí.

Al M. en C. Rolando Galán Larrea. Por su buena disposición en formar parte del comité de tesis y por sus sugerencias que sirvieron para mejorar aún más este trabajo.

A la **M. en C. Gricelda Valera Venegas**. Por formar parte del comité de tesis y por sus sugerencias que ayudo a enriquecer aún más este trabajo.

Al **M. en C. Manuel Alejandro Robles Chavira**. Por formar parte del comité de tesis y por sus valiosas sugerencias.

Al **M en C. Manuel Enrique Ovando Cruz**. Por la donación de los árboles de *Gmelina arborea*.

DEDICATORIA

A mis padres: ***Florencio Hernández Cruz y María Escamilla Silva***, por darme lo más valioso que es la vida, por su apoyo incondicional y esfuerzo para que yo pudiera terminar la universidad, y sobre todo gracias por la confianza depositada en mí.

A mis hermanos: ***Vidala, Rafael, Carmen, Elizabeth, Edith y Obed*** por el apoyo que siempre me han brindado.

A todos mis familiares.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	3
2.1. Objetivo general	3
2.2. Objetivos específicos	3
3. HIPÓTESIS	3
4. REVISIÓN DE LITERATURA	4
4.1. Usos e importancia de la madera.....	4
4.2. Calidad de la madera	5
4.3. Cinco propiedades físicas que influyen en la calidad de la madera.....	7
4.3.1. Densidad.....	7
4.3.2. Contenido de humedad.....	13
4.3.3. Contracción volumétrica, tangencial y radial.....	14
4.3.3.1. Coeficiente de contracción volumétrica	20
4.3.4. Anisotropía y punto de saturación de la fibra	20
4.4. <i>Gmelina arborea</i> (Roxb.).....	22
4.4.1. Características generales	22
4.4.2. Componentes anatómicos y químicos	23
4.4.3. Distribución	24
4.4.4. Usos.....	24
4.4.5. Fenología.....	25
4.4.6. Importancia	26
5. MATERIALES Y MÉTODOS	28
5.1. Localización	28
5.1.1. Clima	30
5.1.2. Hidrología	30
5.1.3. Vegetación y tipo de suelo.....	30
5.2. Elección y colecta de los árboles	30
5.3. Obtención de probetas	32

5.4. Descripción del equipo utilizado.....	33
5.5. Determinación de propiedades físicas.	33
5.5.1. Determinación del contenido de humedad y de las densidades	38
5.5.2. Determinación de las contracciones, la relación de anisotropía, el punto de saturación de la fibra y el coeficiente de contracción volumetrica	39
5.6. Análisis estadístico.....	41
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	43
6.1. Resultados en probetas de 2 x 2 x 2 cm	43
6.1.1. Densidades.....	43
6.1.2. Contracciones.....	51
6.1.2.1. Coeficiente de contraccion volumétrica	60
6.1.3. Punto de saturación de la fibra.	61
6.1.4. Relación de anisotropía	61
6.2. Resultados en probetas de 5 x 5 x 10 cm	62
6.2.1. Densidades.....	62
6.2.2. Contracciones.....	67
6.2.2.1. Coeficiente de contracción volumetrica.....	74
6.2.3. Punto de saturación de la fibra	75
6.2.4. Relación de anisotropía	75
6.3. Usos posibles	76
6.4. Comportamiento de las contracciones	77
7. CONCLUSIONES.....	81
8. RECOMENDACIONES	82
9. LITERATURA CITADA	83
10. ANEXOS	95

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Características dasométricas de los árboles seleccionados para las pruebas físicas.	31
Cuadro 2. Número de probetas por árbol.....	34
Cuadro 3. Densidades promedio para la especie <i>Gmelina arborea</i> en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	46
Cuadro 4. Resultados estadísticos de las densidades promedio de cuatro árboles de la madera de <i>Gmelina arborea</i> en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	46
Cuadro 5. Resultados estadísticos de las densidades promedio de la madera de <i>Gmelina arborea</i> por altura en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	47
Cuadro 6. Resultado estadísticos de las densidades promedio de la madera de <i>Gmelina arborea</i> entre albura y duramen para en probetas de 2 x 2 x 2 cm.....	48
Cuadro 7. Resultados estadísticos de las densidades promedio de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para la altura a 1.30 m en los cuatro árboles en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	49
Cuadro 8. Resultados estadísticos de las densidades promedio de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para la altura a 2.60 m en los cuatro árboles en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	50
Cuadro 9. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de <i>Gmelina arborea</i> a seis diferentes alturas para el árbol 1 en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	51
Cuadro 10. Contracciones promedio de cuatro árboles de <i>Gmelina arborea</i>	53
Cuadro 11. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> en cuatro árboles psra probetas de 2 x 2 x 2 cm.	54
Cuadro 12. Análisis de correlación entre densidades y contracciones en probetas de 2 x 2 x 2 cm	55
Cuadro 13. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> a dos diferentes alturas en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	56
Cuadro 14. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para la albura y duramen de cuatro árboles en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	57

Cuadro 15. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para la altura a 1.30 m de cuatro árboles en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	58
Cuadro 16. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para la altura a 2.60 m de cuatro árboles en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	59
Cuadro 17. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> a seis diferentes alturas para el árbol 1 en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	59
Cuadro 18. Resultados estadísticos promedio del punto de saturación de la fibra y relación de anisotropía en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	61
Cuadro 19. Densidades promedio para <i>Gmelina arborea</i> en probetas de 5 x 5 x 10 cm.....	64
Cuadro 20. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de <i>Gmelina arborea</i> en cuatro árboles para las probetas de 5 x 5 x 10 cm.	64
Cuadro 21. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de <i>Gmelina arborea</i> por altura para las probetas de 5 x 5 x 10 cm.....	65
Cuadro 22. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para la altura a 1.30 m de cuatro árboles para probetas de 5 x 5 x 10 cm.	66
Cuadro 23. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para la altura a 2.60 m de cuatro árboles para probetas de 5 x 5 x 10 cm.	66
Cuadro 24. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para las 6 alturas (en metros) del árbol 1 en probetas de 5 x 5 x 10 cm.	67
Cuadro 25. Contracciones promedio de la madera de <i>Gmelina arborea</i> en probetas de 5 x 5 x 10 cm.	68
Cuadro 26. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> en cuatro árboles para las probetas de 5 x 5 x 10 cm.	69
Cuadro 27. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> a dos diferentes alturas en probetas de 5 x 5 x 10 cm.	70
Cuadro 28. Análisis de correlación entre densidades y contracciones en probetas de 5 x 5 x 10 cm	70

Cuadro 29. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para la altura a 1.30 m de cuatro árboles para probetas de 5 x 5 x 10 cm.	71
Cuadro 30. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para la altura a 2.60 m de cuatro árboles en probetas de 5 x 5 x 10 cm.	72
Cuadro 31. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de <i>Gmelina arborea</i> para las 6 alturas (en metros) del árbol 1 en probetas de 5 x 5 x 10 cm.	72
Cuadro 32. Comparación de los resultados de las pruebas físicas en probetas de 2 x 2 x 2 y 5 x 5 x 10 cm.	73
Cuadro 33. Valores promedio del punto de saturación de la fibra y relación de anisotropía para probetas de 5 x 5 x 10 cm.	75
Cuadro 34. Estimadores y coeficientes de determinación de los valores de contracción ajustados para cada una de las direcciones lineales en probetas de 2 x 2 x 2 cm.	78
Cuadro 35. Estimadores y coeficientes de determinación de los valores de contracción ajustados para cada una de las direcciones lineales para probetas de 5 x 5 x 10 cm.	78

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Direcciones principales de la madera (Forest Products Laboratory, 2010).....	15
Figura 2. Fuste del árbol de <i>Gmelina arborea</i>	23
Figura 3. Rango de distribución natural de <i>Gmelina arborea</i> . (Rojas, <i>et al.</i> , 2004).	24
Figura 4 Mapa de localización del área de estudio.	29
Figura 5. Patrón de corte de los árboles (Zarate <i>et al.</i> , 2001).	31
Figura 6. Obtención de las probetas para las pruebas físicas.....	32
Figura 7. Saturación de las probetas de 2 x 2 x 2 cm mediante las bombas de vacío.....	34
Figura 8 a) Marcado de las probetas, b) Pesado de las probetas, c) Medición de las probetas, d) Secado de las probetas en la estufa	35
Figura 9. Probetas dentro del desecador	36
Figura 10. Medición del volumen.....	37
Figura 11. Determinación del punto de saturación de la fibra y el coeficiente de contracción volumétrica en cubos de 2 x 2 x 2 cm.	60
Figura 12. Determinación del punto de saturación de la fibra y el coeficiente de contracción volumétrica en probetas de 5 x 5 x 10 cm.....	74
Figura 13. Relación entre el contenido de humedad y las contracciones para los cubos de 2 x 2 x 2 cm. Los símbolos representan los valores experimentales y las líneas continuas los valores ajustados.....	79
Figura 14. Relación entre el contenido de humedad y las contracciones para las probetas de 5 x 5 x 10 cm. Los símbolos representan los valores experimentales y las líneas continuas los valores ajustados.	80

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar cinco propiedades físicas de la madera de *Gmelina arborea* (Roxb.) proveniente de plantación en Río Grande, Oaxaca. Las características que se determinaron fueron las densidades, contracciones, contenido de humedad, anisotropía y punto de saturación de la fibra.

Los resultados indicaron que existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre árboles, entre alturas, entre albura y duramen, entre tamaños de probetas. Los resultados de las propiedades físicas en probetas de 2 x 2 x 2 cm presentaron una densidad básica de 0.43 g/cm³, las contracciones total tangencial, radial, longitudinal y volumétrica fue de 5.75 %, 3.32 %, 0.62 % y 9.44 % respectivamente, con un valor de 24.65% del punto de saturación de la fibra y de 1.73 de la relación de anisotropía. En probetas de 5 x 5 x 10 cm presentó una densidad básica de 0.44 g/cm³, la contracción total tangencial, radial, longitudinal y volumétrica respectiva fue de 4.29 %, 2.33 %, 0.32 % y 6.87 % , punto de saturación de la fibra de 17.41 y relación de anisotropía de 1.84.

Con base en los resultados obtenidos de las propiedades físicas, la madera de *Gmelina arborea* presentó las características para ser empleada en: construcción de viviendas, muebles, pisos, contrachapado, vigas laminadas, tableros de fibra y de partículas y tarimas.

Palabras clave: calidad, contracción, densidad, anisotropía, punto de saturación de la fibra, contenido de humedad.

ABSTRACT

The objective of the current research was to determine five physical properties of *Gmelina arborea* (Roxb.) wood, from a plantation of Rio Grande, Oaxaca. The determined traits were densities, shrinkage, moisture content, the ratio of tangential to radial shrinkage (T/R) and fiber saturation point.

The results indicated significant differences ($p \leq 0.05$) among trees, heights, sapwood and heartwood, including size specimen. The results of physical wood properties in specimens 2 x 2 x 2 cm showed a basic density of 0.43 g/cm³, tangential, radial longitudinal and volumetric shrinkage was 5.75 %, 3.32 %, 0.62 % and 9.44 % respectively, with a value of 24.65 for the fiber saturation point and 1.73 for the T/R ratio. Specimens of 5 x 5 x 10 cm presented a basic density of 0.44 g/cm³, respective tangential, radial longitudinal and volumetric shrinkage of 4.29%, 2.33%, 0.32% and 6.87%, fiber saturation point of 17.41% and T/R ratio of 1.84.

Based on the obtained results of physical properties, *Gmelina arborea* wood showed the characteristics to be used in housing construction, furniture, flooring, plywood, glulam beams, particle and fiber boards and pallets.

Keywords: wood quality, shrinkage, density, T/R ratio, fiber saturation point, moisture content

1. INTRODUCCIÓN

La madera gracias a su diversidad y características propias se utiliza para la construcción de casas, elaboración de muebles, vehículos, herramientas y objetos decorativos, entre otros (Forest Products Laboratory, 2010).

En el año 2000, de la mayor parte de los bosques de latifoliadas y coníferas, que estaban en producción, se obtuvo madera de baja calidad debido al manejo utilizado; utilizándose trozas, que al ser procesadas en las industrias daban como resultado madera con nudos, incrustaciones de ramas, bolsas de resina o de gomas. Sin embargo, en las plantaciones de empresas o productores, que incorporaron los tratamientos de poda y aclareo, en tiempo y forma, se obtuvieron productos de excelente calidad y con altos rendimientos industriales (Kurtz y Ferruchi, 2000).

Los usos y aplicaciones de la madera dependen de sus propiedades físicas como son: densidad, contracción e hinchamiento, punto de saturación de la fibra, anisotropía, entre otras (Fuentes, 1990). Panshin y De Zeeuw (1980) reportan que entre las propiedades físicas, la densidad es universalmente utilizada como índice de calidad de madera en relación a sus usos.

El uso maderable de la especie *Gmelina arborea* (Roxb.) como materia prima para el proceso industrial, depende entre otros factores de las propiedades físicas de la madera.

Gmelina arborea es una especie de rápido crecimiento que por su facilidad de manejo, sus propiedades físicas y mecánicas, así como de los diversos usos de su

madera, ofrece posibilidades para el desarrollo de esta especie en reforestaciones y producción maderable (Rojas *et al.*, 2004).

El árbol de *Gmelina arborea* comúnmente se conoce como melina, se encuentra distribuida naturalmente en áreas tropicales y subtropicales de Asia (González y Serrano, 2004). En el Sur-Sureste de México, de 1993 al 2003, se establecieron varias plantaciones comerciales en una superficie aproximada de 24 489 ha, de las cuales el 75 % ha sido con especies introducidas como: *Gmelina arborea*, *Pinus caribaea*, *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus grandis* y *Eucalyptus urograndis* y el 25% con especies nativas como: *Cedrela odorata* y *Swietenia macrophylla* (Vera, 2003).

Debido a que en México existen pocas investigaciones o estudios tecnológicos de la madera de *Gmelina arborea*, no se tiene un amplio conocimiento sobre el uso y calidad de la misma; por tal motivo el objetivo de este trabajo es determinar algunas propiedades físicas de muestras de madera provenientes de una plantación de 12 años situada en Río Grande, Oaxaca. Con base en los resultados obtenidos y comparándolos con lo reportado en la literatura, se plantea determinar si la madera de plantación de 12 años de *Gmelina arborea*, ha alcanzado o no las características físicas deseables para su aprovechamiento. El presente trabajo contribuye al conocimiento tecnológico de esta especie de interés comercial en el ámbito forestal.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo general

Determinar cinco propiedades físicas de la madera de *Gmelina arborea* (Roxb.) proveniente de una plantación de 12 años establecida en Río Grande, Oaxaca, que influyen en su calidad.

2.2. Objetivos específicos

- Determinar la contracción volumétrica, radial y tangencial, la anisotropía, la densidad básica y anhidra, el contenido de humedad en equilibrio y el punto de saturación de la fibra, en cuatro árboles de *Gmelina arborea* de una plantación de doce años.
- Determinar la variación de las propiedades físicas que hay dentro y entre árboles.
- Determinar la variación de las propiedades físicas entre dos tamaños de probetas.

3. HIPÓTESIS

Ho: Existe diferencia en la contracción, anisotropía, densidad, contenido de humedad en equilibrio y punto de saturación de la fibra de la madera dentro, por tamaños de probetas y entre árboles de una plantación de doce años de edad de *Gmelina arborea*.

Ha: No existe diferencia en la contracción, anisotropía, densidad, contenido de humedad en equilibrio y punto de saturación de la fibra de la madera dentro, por tamaños de probetas y entre árboles de una plantación de doce años de edad de *Gmelina arborea*.

4. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Usos e importancia de la madera

Las características propias de la madera permiten que de esta se puedan elaborar productos primarios o secundarios. La madera es considerada como uno de los materiales de mayor uso industrial y doméstico. Sus usos más comunes son: la elaboración de chapas, tableros contrachapados, aglomerados o de partículas, elaboración de muebles rústicos y finos, piezas para muebles, molduras, pisos livianos, instrumentos musicales de resonancia y artesanías. También las tablas, tablones y vigas procedentes de madera de aserrío son aptas para la construcción estructural. Se utiliza también como fuente de celulosa para papel (Obregón, S/F). A nivel mundial es utilizada como materia prima para la obtención de postes, leña, madera en rollo, carbón vegetal, para la elaboración de objetos decorativos y artesanales y como fuente de celulosa para papel (Vera, 2003).

Díaz *et al.* (1986), reportan que en el año de 1986, en México se mantenía una alta producción de madera aserrada y un alto consumo, también existía una gran tendencia a utilizar la madera como materia prima en la producción de tableros tanto de fibras de partículas como contrachapados y en la producción de pasta para papel. Estas dos industrias crecen y aumentan su producción anual de forma considerable debido a la utilidad tan variada de sus productos.

Echenique-Manrique y Robles (1993) reportan que en México el uso más importante que tiene la madera es para leña y carbón vegetal, representando el 74.4% de la producción total. Otro de los usos más comunes de la madera es la

fabricación de papel y cartón, mientras que el consumo de madera aserrada es bajo, ya que, a diferencia de lo que sucede en muchos países industrializados, se usa poco para la construcción de viviendas y estructuras diversas.

4.2. Calidad de la madera

Mitchell (1961) define a la calidad de la madera como el resultado de las características físicas y químicas que posee un árbol o una parte de un árbol que le permiten cumplir con los requisitos de propiedad para los productos finales. Sin embargo; no puede aplicarse a la gestión de los bosques, fabricación y cadena de clientes. Por tal motivo Zhang (2003), define a la calidad de la madera como todas las características de la madera que afectan a la cadena de valor de recuperación y el mantenimiento de los productos finales.

Se puede definir la calidad de la madera como una serie de atributos que la hacen apropiada para ciertos usos. Algunas características de la madera son necesarias para ciertos usos, pero indeseables para otros. Por ejemplo, para la fabricación de mangos de cacerola se emplea madera de baja masa volumétrica, debido a que este tipo de madera presenta una baja conductividad térmica. La madera rígida, que presente una buena resistencia mecánica asociada a nudos de pequeño tamaño es usada en construcciones. Las maderas estables de masa volumétrica homogénea son recomendadas para elaborar esculturas. Para pisos se buscan maderas duras y de color vistoso. Para la fabricación de papel se emplea madera que posea fibras largas y de paredes celulares delgadas, esto permite obtener un

papel menos poroso, pero más resistente mecánicamente. Para la fabricación de muebles se busca madera resistente a los golpes y al desgaste, que presenten una buena estabilidad dimensional, pocos nudos y un color adecuado. Las principales propiedades tomadas en cuenta para evaluar la calidad de la madera, considerando un uso determinado, son las propiedades físicas y mecánicas (Kurtz y Ferruchi, 2000).

Mientras que la industria de la construcción se interesa por la resistencia, rigidez y estabilidad dimensional de la madera, muchos forestales toman a la densidad de la madera y longitud de la fibra como la calidad de la madera sin tomar en cuenta el uso final del producto (Kliger *et al.*, 1994).

Cada producto final tiene un conjunto único de requisitos (Johansson *et al.*, 1990). Como por ejemplo, el transporte es más costoso en la madera con mayor densidad y el contenido de humedad afecta los costos de extracción; en el almacenamiento prolongado puede causar la biodegradación afectando las propiedades de la madera, el contenido de humedad y las características de la corteza afectan los costos de descortezado, los costos del secado de la madera están relacionados con el contenido de humedad en la madera, además toma más tiempo secar madera de alta densidad (Zhang, 2003).

Para aplicaciones estructurales, la resistencia, rigidez, estabilidad dimensional y durabilidad, son consideraciones importantes para los clientes. Para la fabricación de muebles, en el proceso de maquinado la estabilidad dimensional y la apariencia en la madera son importantes. Los atributos de calidad son determinados por las

características básicas de la madera y son importantes para los clientes y los fabricantes. La durabilidad se ve afectada por extractivos, la apariencia está determinada por las características anatómicas y químicas (Zhang, 2003).

De acuerdo con los usos finales las características que se consideran para productos de madera de calidad en la industria de la construcción son los siguientes: la forma del tronco y la conicidad del fuste, la albura y el duramen, las propiedades físicas, mecánicas, térmicas y acústicas (Zhang, 2003).

Kurtz y Ferruchi (2000) determinaron que son varios los factores que influyen en la calidad de la madera de plantaciones, entre los cuales están: la elección de la especie en función del sitio, el uso del material genético mejorado, las técnicas silviculturales, los tratamientos silvícolas, poda y aclareo, el cuidado necesario de la masa remanente durante la explotación y la capacitación de todos los actores del sector. No se puede obtener madera de calidad considerando individualmente algunos de estos factores.

4.3. Cinco propiedades físicas que influyen en la calidad de la madera

4.3.1. Densidad

Karsulovic (1982), Pérez (1983) definen a la densidad como la relación entre la masa y el volumen de la madera, la cual varía con la humedad, es decir, cuando la humedad aumenta, la densidad también se incrementa, de acuerdo con el contenido de humedad en que se determine recibe una definición específica, siendo la más utilizada la densidad básica. De la densidad depende el

comportamiento de la madera, su adaptabilidad a tratamientos y modificaciones, así como al uso que se le pretende dar.

La densidad al contenido de humedad en equilibrio es la relación entre el peso al 12% y el volumen al 12%, estos valores son importantes cuando la madera es secada al aire libre o en estufa, ya que la madera es comúnmente utilizada en un contenido de humedad en equilibrio (Fuentes, 1990).

La densidad en verde es la relación entre el peso en verde y el volumen verde, es útil cuando se desea conocer cuánto pesará cierto volumen de madera, sobre todo en las operaciones de transporte con la finalidad de utilizar el equipo y la maquinaria adecuada (Fuentes, 1990).

La densidad anhidra es la relación entre el peso anhidro y el volumen anhidro, esta es importante en estudios tecnológicos ya que se elimina la influencia del agua de la madera, la relación está dada entre el volumen seco y el peso seco (Fuentes 1990). La densidad anhidra en la especie *Tectona grandis* tiende a ser mayor en la base del árbol que a la altura de 7.5 m (Moya, 2000; Pérez y Kanninen, 2002).

La densidad básica es la relación entre el peso anhidro y el volumen verde, es una propiedad física que depende de varios factores: componentes anatómicos y químicos, edad y condiciones edáficas y climáticas. Esta varía a lo largo del fuste y en sentido radial (Panshin y De Zeeuw, 1970; Shimoyama, 1990; Silva, 1991).

Williams *et al.* (2000) consideran que la densidad de la madera es uno de los factores más importantes que varía de acuerdo a la especie, conocer la densidad

de la madera es importante porque las maderas de alta densidad se contraen e hinchan, tendiendo a deformarse y a agrietarse más que las maderas de baja densidad. La cantidad de deformaciones y grietas que ocurren en la madera generalmente son causadas por una contracción o hinchamiento, pero también están directamente relacionadas a la densidad de la madera.

Hans y Burley (1972), realizaron un estudio sobre la calidad de la madera de 8 especies de *Eucalyptus* tomando en cuenta la densidad y el tamaño de las fibras encontrando una densidad de 0.4890 g/cm³ para *E. camaldulensis*, 0.6136 g/cm³ para *E. citriodora*, 0.5560 g/cm³ para *E. cloeziana*, 0.4986 g/cm³ para *E. phaeotricha*, 0.4930 g/cm³ para *E. pilularis*, 0.5210 g/cm³ para *E. resinifera*, 0.4873 g/cm³ para *E. saligna* y 0.5293 g/cm³ para *E. tereticornis*. Todas las especies mostraron un aumento en densidad, desde la médula a la periferia hasta un 17.5 % excepto *E. phaeotricha* que presentó muy poco aumento.

Otro de los trabajos sobre maderas tropicales es el de Rico (1974), quien determinó algunas características tecnológicas de tres especies tropicales encontrando una densidad básica de 0.476 g/cm³ para *Hura crepitans* L., 0.71g/cm³ para *Brosimum costarricanum* (Liebm.) y 0.275 g/cm³ para *Ceiba pentandra* (L) Gaertn.

En un árbol la densidad puede variar durante la temporada de crecimiento, esta variación depende de las especies y las condiciones de crecimiento. Muchos árboles presentan un cambio en la densidad cuando se presenta el cambio de madera temprana a madera tardía. En algunas especies las diferencias de densidad no son muy grandes y en otras la diferencia es muy notoria. Sin embargo, para las especies de clima templado el cambio en la densidad del final

de una temporada de crecimiento y al comienzo de la siguiente es siempre repentino (Williams *et al.*, 2000).

García (2001) evaluó las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Conzattia multiflora* (Rob.) Standl., encontrando que su densidad básica fue de 0.370 g/cm³, anhidra de 0.406 g/cm³, al 12 % de contenido de humedad de 0.435 g/cm³ y en verde de 1.090 g/cm³.

Downs (2003) presenta información de propiedades físicas y mecánicas de la especie de *Gmelina arborea* en tres diferentes edades, encontrando una densidad básica de 0.3374 g/cm³, normal (12 % de humedad) de 0.3707 g/cm³ y anhidra de 0.5501 g/cm³ para árboles de 4 años de edad, una densidad básica de 0.3170 g/cm³, normal de 0.3361 g/cm³ y anhidra de 0.5777 g/cm³ para árboles de 3 años de edad, una densidad básica de 0.2915 g/cm³, normal de 0.3775 g/cm³ y anhidra de 0.6300 g/cm³ para árboles de 2 años de edad.

Dvorak (2004) realizó un estudio donde encontró que la especie de *Gmelina arborea* a 8 años de edad presenta una densidad de 410 kg/m³ la cual es muy baja en comparación con la de *Acacia mangium* con un valor de 470 kg/m³. La baja densidad en la madera afecta los rendimientos de pulpa y resistencia del producto, sin embargo el rango de densidad de melina es de 242 hasta 538 kg/m³, la gran variación es muy importante porque se puede hacer selección y mejorar genéticamente a la especie.

Espinoza (2004) evaluó los gradientes de densidad a diferentes alturas en la madera de *Gmelina arborea* de 5 años de edad, encontrando que a los 14.5 m presenta una variación de densidad promedio de 0.390 a 0.500 g/cm³, a 10.68 m varía de 0.377 a 0.467 g/cm³, a los 7.12 m presenta una diferencia en densidad

promedio de 0.346 a 0.464 g/cm³, a 1.30 m varía de 0.382 a 0.473 g/cm³ y a 0.10 m varía de 0.394 a 0.468 g/cm³.

Rivero (2004), da a conocer las propiedades físicas y químicas de las especies de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*; encontrando para la especie *Gmelina arborea* una densidad básica de 0.38 g/cm³, verde de 1.09 g/cm³, al 12 % de 0.46 g/cm³, anhidro de 0.43 g/cm³. La especie *Tectona grandis* presentó una densidad básica de 0.50 g/cm³, verde de 1.03 g/cm³, al 12 % de 0.58 g/cm³, anhidro de 0.54 g/cm³.

Díaz (2005), evaluó las propiedades físicas y mecánicas de la especie de *Nothofagus glauca* en cuatro clases diamétricas 15, 25, 35 y 45 cm (DAP sin corteza) encontrando una densidad básica de 0.524 g/cm³ para árboles de 15 cm, 0.532 g/cm³ para árboles de 25 cm, 0.562 g/cm³ en árboles de 35 cm y 0.587 g/cm³ en árboles de 45 cm.

Styles *et al.* (2005), estudiaron las propiedades físico-mecánicas de la especie de *Tectona grandis* en una plantación de 20 años de edad, dicha especie presentó un valor de densidad promedio de 0.63 g/cm³. De acuerdo a los resultados obtenidos, dicha especie, puede ser usada para la construcción de viviendas tanto en forma rolliza, en puertas, ventanas, parquet, vigas estructurales, carpintería en general, mesas, sillas, etc.

Moya y Arce (2006), estudiaron el efecto del espaciamiento sobre el peso específico básico y contracciones en la madera de *Tectona grandis* proveniente de plantaciones, no encontraron diferencias significativas entre estas variables a un espaciamiento de 3 x 3 y 6 x 2 m. Sin embargo, en la plantación con espaciamiento de 3 x 3 m el peso específico básico disminuye en el periodo de 6 a

8 años y la contracción tangencial es significativamente mayor entre los 3 y 7 años.

Paz (2008) realizó un estudio sobre la composición química de la madera de *Gmelina arborea* donde presenta un valor de densidad básica de 0.37 g/cm^3 , con un rango de 0.29 a 0.44 g/cm^3 de densidad básica para dicha especie.

Moya y Tomazello (2009) dan a conocer la densidad básica de la madera de *Gmelina arborea* en diferentes condiciones de humedad y en diferentes condiciones de manejo, encontrando que en condiciones secas (con una precipitación media anual de 1500 a 2000 mm por año, con una temperatura media anual de 25 a 28°C) presenta un rango de densidades de 0.505 - 0.637 g/cm^3 para árboles de 1 a 12 años de edad, mientras que en condiciones húmedas (con una precipitación media anual de 3000 a 5000 mm por año, con una temperatura media anual de 20 a 25°C), presenta un rango de densidad de 0.454 - 0.570 g/cm^3 para árboles de 1 a 12 años de edad. En plantación con manejo intensivo (menos de 350 árboles por ha) dicha especie presentó rango de densidad básica de 0.497 - 0.629 g/cm^3 para árboles de 1 a 11 años de edad, en plantaciones con un manejo intermedio (350 a 700 árboles por ha) dicha especie presenta un rango de densidad de 0.533 - 0.687 g/cm^3 para árboles de 1 a 11 años de edad, en plantaciones donde no se llevó a cabo ningún manejo (más de 700 árboles por ha) la especie *Gmelina arborea* presentó un rango de densidad de 0.483 - 0.686 g/cm^3 para árboles de 1 a 11 años de edad.

Tenorio *et al.*, (2011) presentan información sobre las características físicas y mecánicas de la madera de chapa laminada y paneles de contrachapado de la

especie *Gmelina arborea*, encontrando valores de densidad promedio de 0.516 g/cm³ en paneles contrachapados y 0.523 g/cm³ en chapas laminadas.

4.3.2. Contenido de humedad

Pérez (1983) define el contenido de humedad como la masa de agua contenida en una pieza de madera, expresada como porcentaje de la masa de la pieza anhidra.

El contenido de humedad en la madera es importante ya que altera las propiedades físicas, influye en la resistencia al ataque de hongos, peso, y en los cambios dimensionales que sufre la madera (Fuentes s/f).

Para utilizar la madera en forma adecuada se debe de conocer su contenido de humedad, entender su localización y el movimiento del agua a través de ella (Arroyo, 1983).

Según Vargas (1987), las maderas pueden llegar a tener entre 30 y 300% de contenido de humedad, en relación a su peso total, lo cual depende de la especie.

El contenido de humedad y las dimensiones de la madera varían dependiendo de las condiciones atmosféricas que la rodean, específicamente varía con los cambios en la humedad relativa (Williams *et al.* 1996; Arroyo, 1983).

La especie *Gmelina arborea* tiene un alto contenido de humedad del 160 % (Sattar *et al.* 1991). El alto contenido de humedad de la madera aumenta los costos de transporte y alarga el tiempo de espera de secado de la madera en comparación con especies de los géneros *Eucaliptus* y *Acacia*, sin embargo el alto contenido de humedad de la madera le proporciona características como la alta resistencia al

fuego. La madera de melina se puede almacenar por más de 6 meses ya que es una especie de lento deterioro sin presentar pérdidas en el rendimiento de la pulpa (Dvorak, 2004).

Rivero (2004) evaluó las propiedades físicas y mecánicas de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis* los resultados obtenidos muestran que la especie *Gmelina arborea* presenta un contenido de humedad en verde de 182 % y la especie de *Tectona grandis* presentó un contenido de humedad en verde de 106.68 %.

Martínez y Ramírez (2007) reportan que para la especie de *Quercus rugosa* se estableció un 34.12% de contenido de humedad, lo que indica que este es el punto inicial para que esta madera presente contracciones con la pérdida de humedad, o cambios dimensionales por efecto del hinchamiento.

4.3.3. Contracción volumétrica, tangencial y radial

Fuentes (s/f) establece que la contracción es la disminución de dimensiones y/o volumen de la madera expresada en términos de porcentaje correspondiente al estado verde.

La madera es un material anisotrópico, es decir, sus dimensiones cambian en forma diferente en sus tres direcciones: tangencial, radial y longitudinal (Vignote, 1996) (Figura 1).

Las contracciones lineales (longitudinal, tangencial y radial) son el resultado que existe entre la medida de la misma dirección en estado verde y anhidro, expresada en porcentaje. La contracción volumétrica es el resultado de sumar las contracciones lineales (Kollmann, 1959 y Fuentes, s/f).

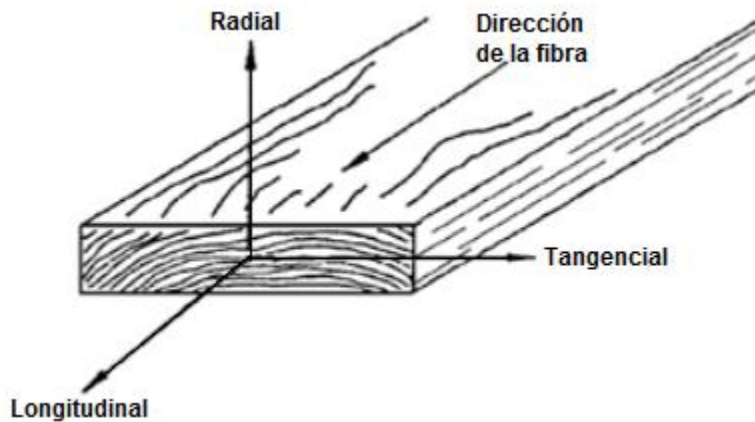


Figura 1. Direcciones principales de la madera (Forest Products Laboratory, 2010).

Cartelle (2009) reporta que la contracción volumétrica total mide la contracción entre los estados de saturación (30 % humedad relativa) y anhidro de la madera (0 % humedad relativa).

La contracción varía según el tipo de madera, se pueden mencionar valores promedio de 14 % volumétrica; 7 % tangencial y de 4 % radial. La contracción se determina linealmente en las direcciones tangencial y radial. Este cálculo se realiza desde el estado verde hasta el anhidro (Fuentes s/f).

La contracción se produce cuando el contenido de humedad en la madera baja a partir del punto de saturación de la fibra (PSF), disminuye el volumen como consecuencia del adelgazamiento de las paredes celulares. La contracción es proporcional a la disminución del contenido de humedad por debajo del PSF (Torres, 1971; Cuevas, 2003).

Rico (1974) realizó una caracterización tecnológica de tres especies tropicales donde encontró que la especie de *Hura crepitans* (L.) presenta una contracción total de 2.4 % radial, 4.3 % tangencial y 7.4 % volumétrica, una contracción normal (12 % contenido de humedad) de 1.0 % radial, 2.4 % tangencial. La especie de *Brosimum costarricanum* (Liebm.), presenta una contracción total de 4.7 % radial, 7.8 % tangencial y 12.3 % volumétrica, una contracción normal (12 % contenido de humedad) de 2.6 % radial, 4.9 % tangencial. La especie *Ceiba pentandra* (L) Gaertn., presenta una contracción total de 3.2 % radial, 6.3 % tangencial y 11.3 % volumétrica, una contracción normal (12 % contenido de humedad) de 1.3 % radial, 3.4 % tangencial.

Los factores que pueden influir en las contracciones pueden ser la longitud de las células y el ángulo fibrilar de la pared celular, de acuerdo con lo reportado por Panshin y De Zeeuw (1980), así como la estructura y dimensión de las fibrillas, espacio entre ellas y el grosor de la pared celular (Tang y Smith, 1975).

En la mayoría de las especies la contracción radial sólo representa el 50 % del valor de la contracción tangencial. La contracción en las tres direcciones (tangencial, radial, longitudinal) tiene una razón de 100:50:1 aproximadamente (Pérez, 1983).

Bárcenas (1995) da a conocer que tanto en México como en Estados Unidos, la madera de angiospermas templadas, presenta contracciones mayores que las angiospermas tropicales y que las coníferas.

García (2001) determinó las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Conzattia multiflora* (Rob.) Standl., encontrando que la contracción al 12 % de

humedad fue de 1.695 % radial, 3.289 % tangencial y 5.103 % volumétrica, su contracción total fue de 8.985 % volumétrica, tangencial 5.677 %, radial 3.122 %.

Downs (2003) realizó un estudio sobre las de propiedades físicas y mecánicas de la especie de *Gmelina arborea* en tres diferentes edades, encontrando una contracción total de 2.84 % radial, 6.71 % tangencial, 1.09 % longitudinal y 10.71 % volumétrica, una contracción normal (12 % de humedad) de 0.86 % radial, 2.81 % tangencial, 0.64 % longitudinal y 6.58 % volumétrica, para el árbol de 4 años. La contracción total de 3.03 % radial, 5.67 % tangencial, 1 % longitudinal y 10.71 % volumétrica, una contracción normal (12 % de humedad) de 0.72 % radial, 2.49 % tangencial, 0.64 % longitudinal y 5.27 % volumétrica, para el árbol de 3 años. La contracción total que presentó el árbol de 2 años es de 3.03 % radial, 6.00 % tangencial, 1.01 % longitudinal y 9.72 % volumétrica, una contracción normal (12 % de humedad) de 0.97 % radial, 2.49 % tangencial, 0.49 % longitudinal y 4.61 % volumétrica.

Moya y Arce (2003) reportaron que para la especie de *Tectona grandis* a una edad de 5 años a un espaciamiento de 3 x 3 m presentan valores de contracción total de 5.51 % tangencial, 2.57 % radial, 7.07 % volumétrica a una altura de 2.5 m, una contracción total de 5.66 % tangencial, 2.87 % radial, 7.79 % volumétrica a una altura de 5 m, una contracción total de 5.64 % tangencial, 2.88 % radial, 7.69 % volumétrica a una altura de 10 m, superiores a los encontrados para la madera de plantación a espaciamientos de 6 x 2 m, en la que a los 2.5 m se registró una contracción total de 4.50 % tangencial, 2.19 % radial, 6.33 % volumétrica, a los 5 m presentó una contracción de 4.83 % tangencial, 2.45 % radial, 6.63 %

volumétrica, a los 10 m se registró una contracción de 4.68 % tangencial, 2.55 % radial, 6.50 % volumétrica.

González y Serrano (2004) determinaron que la madera de *Gmelina arborea* de una plantación de Costa Rica presenta una contracción total de 5.9 % tangencial, 3.1 % radial, mayor comparada con la madera de melina de bosque natural de la India que presenta valores de contracción total de 4.9 % tangencial, 2.4 % radial. El valor de contracción radial de 3.1 y 2.4 %, pueden considerarse como valores medios de acuerdo Fuentes (s/f) pero favorables, porque a menor contracción en la madera menores serán los problemas relacionados con la aparición de rajaduras, torceduras y otros defectos durante el periodo de secado.

Rivero (2004) estudió las propiedades físicas y químicas de las especies de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*, reporta una contracción total para la especie de *Gmelina arborea* de 3.02 % radial, 7.62 % tangencial, 0.35 % longitudinal y 10.41 % volumétrica, una contracción al 12 % de humedad de 2.09 % radial, 5.29 % tangencial, 0.17 % longitudinal y 7.27 % volumétrica. La especie *Tectona grandis*, presentó una contracción total de 2.57 % radial, 5.33 % tangencial, 0.27 % longitudinal y 8.01 % volumétrica, una contracción al 12 % de humedad de 1.28 % radial, 2.91 % tangencial, 0.12 % longitudinal y 4.35 % volumétrica.

Díaz (2005) evaluó las propiedades físicas y mecánicas de la especie de *Nothofagus glauca* en cuatro clases diamétricas 15, 35, 45 y 55 cm de (DAP sin corteza) encontrando que dicha especie presenta a los 15 cm una contracción total de 8.01 % radial y 10 % tangencial. A los 25 cm presenta una contracción total de 6.52 % radial y 9.69 % tangencial. En la clase diamétrica de 35 cm

presenta una contracción total de 6.14 % radial y 9.42 % tangencial. Para la clase diamétrica de 45 cm encontró una contracción total de 5.99 % radial y 10.63 % tangencial. La contracción tangencial es mayor que la contracción radial, esto se debe a que en sentido tangencial el diámetro de las células verticales se contrae sin obstáculos.

Muñoz y Berrocal (2005) realizaron un estudio sobre el secado experimental y las propiedades físicas en la especie *Gmelina arborea* en árboles de 7 años de edad, encontrando que dicha especie presenta una contracción total de 2.314 % radial, 5.858 % tangencial y 7.706 % volumétrica. La contracción normal (12 % de humedad) fue de 1.254 % radial, 3.658 % tangencial y 3.235 % volumétrica.

Styles *et al.* (2005) al estudiar las propiedades físico-mecánicas de 5 árboles de la especie de teca (*Tectona grandis*) de una plantación experimental de 20 años encontraron que los valores promedios para las contracciones al contenido de humedad en equilibrio son: contracción radial 0.743 %, contracción tangencial 1.552 %, y contracción volumétrica 2.418 %; sin embargo, para las contracciones totales dicha especie presenta una contracción radial promedio de 2.486 %, contracción tangencial con un valor promedio 3.378 %, y la contracción volumétrica con un valor promedio 0.180 %, califican a la madera como de contracción baja.

4.3.3.1. Coeficiente de contracción volumétrica

El coeficiente de contracción volumétrica (V_c) es el valor que indica el porcentaje de contracción que experimenta la madera por cada 1% de humedad que esta pierde por debajo del punto de saturación de la fibra (Fuentes, 1998). El valor de coeficiente de contracción volumétrica es importante ya que a menor contracción en la madera menor serán los problemas relacionados con la aparición de rajaduras y torceduras. García (2001) reporta valores de 0.0033 para la especie de *Conzattia multiflora*, dicho valor clasifica a esta especie como poco contráctil.

4.3.4. Anisotropía y punto de saturación de la fibra

Oliveira y Silva (2003) reportan que la relación de anisotropía (RAN) se refiere a la magnitud con que se presenta la contracción en la madera en las direcciones tangencial y radial. La relación de estas contracciones generalmente varía de 1.5 a 2.5. El índice es muy importante en los estudios de contracción de maderas ya que entre mayor sea esa relación, mayor será la cantidad de rajaduras y agrietamientos durante el proceso de secado, los valores favorables deben estar lo más cercano a la unidad, ya que las maderas que presenten valores más altos o más bajos son tendientes a presentar deformaciones.

Tarkow (1979) define el punto de saturación de la fibra (PSF) como el contenido de humedad en el cual las paredes celulares o fibras están saturadas con agua higroscópica pero los lúmenes y espacios libres entre fibras no tienen agua libre o líquida. El PSF es considerado como el contenido de humedad crítico porque a

partir de este cambian drásticamente las características físicas de la madera, tales como contracción, hinchamiento y rigidez. Los valores del punto de saturación de la fibra (PSF) varían del 18 al 36 % de contenido de humedad, estableciéndose en 30 % el valor medio de ésta relación. Asimismo, Kollmann (1959) y Flamand (1963) establecen que el PSF, es considerado como el punto en donde inician las contracciones y el punto máximo de hinchamiento.

Rico (1974) presenta valores de anisotropía para tres especies tropicales, *Hura crepitans* (L.) con un valor de 0.55, *Brosimum costarricanum* (Liebm.), presenta un valor de 0.59. La especie *Ceiba pentandra* (L) Gaertn., con un valor de 0.53.

García (2001) evaluó las propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Conzattia multiflora* (Rob.) Standl., encontrando un valor de 24.28 % como punto de saturación de la fibra y un valor de anisotropía de 1.818.

Downs (2003) reporta que la especie de *Gmelina arborea* presenta un valor de relación de anisotropía de 1.98 en 2 años, 1.87 en 3 años y 2.36 a los 4 años, dichos valores clasifican a la madera como una relación de anisotropía alta por lo que se considera una madera de baja estabilidad dimensional. Dicha especie presenta un valor de punto de saturación de la fibra de 33.65 para el árbol de 2 años, 31.37 en árboles de 3 años, 31.78 en árboles de 4 años.

Rivero (2004) estudió las propiedades físicas y químicas de las especie de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis* reportando una relación de anisotropía total de 2.56 y al 12 % de contenido de humedad de 2.57, un punto de saturación de la fibra de 26.98 % para la especie de *Gmelina arborea*. La especie *Tectona grandis* presentó una relación de anisotropía total de 2.12 y al 12 % de contenido de humedad de 2.31, con un valor de punto de saturación de la fibra de 26.40 %.

Muñoz y Berrocal (2005) realizaron un estudio sobre el secado experimental y las propiedades físicas en la especie *Gmelina arborea* encontrando un valor de anisotropía de 2.601; dicha razón entre la contracción tangencial total y radial total es muy alta por lo que ésta madera puede llegar a presentar distorsiones y rajaduras durante el proceso de secado.

4.4. *Gmelina arborea* (Roxb.)

4.4.1. Características generales

Nombre científico: *Gmelina arborea* (Roxb.)

Familia: Verbenaceae

Sinónimos: *Gmelina arborea* Linn

Nombres comunes: yemane, gamari o gumadi, gmelina, gumhar, melina.

González y Serrano (2004) indican que la madera de *G. arborea* es una especie maderable decidua de rápido crecimiento, que en sitios buenos y en plantaciones bien manejadas, tiene un fuste largo, recto y claro. La corteza es lisa, corchosa y de color café claro o grisáceo (Figura 2), con un espesor de alrededor de 10 mm. La madera presenta un color amarillento pálido, en ocasiones con tonalidades blancas cremas y rosadas, un olor no característico y un sabor no distintivo, existe poca diferencia entre albura y duramen lo que hace que el color sea uniforme.



Figura 2. Fuste del árbol de *Gmelina arborea*.

4.4.2. Componentes anatómicos y químicos

Presenta un promedio del número de vasos de 3–6 por mm^2 , con fibras de paredes finas, o paredes de espesor medio, con un promedio del largo de 700–1500 μm . Presenta radios multiseriados con un número de 5–13 por mm.

El contenido de celulosa va de 56.04 a 60.39 %, el contenido de lignina va de 19.9 a 28.7 %. Los Cristales se encuentran de forma acicular (en forma de agujas), localizados en las células de los radios.

4.4.3. Distribución

La especie *G. arborea* se encuentra naturalmente en áreas tropicales y subtropicales de Asia, que presentan una estación seca marcada (González y Serrano, 2004; Alfaro, 2000). Esta especie se ha plantado en las tierras bajas de varios países de África y América Tropical (Alfaro, 2000).

Rojas, *et al.* (2004) y Obregón (S/F), indican que su distribución natural abarca el noroeste de Pakistán hasta el sudeste de Camboya, India, Sri Lanka y el sur de China; en donde se conoce por los nombres comunes de so-maeo, kumhar (Figura 3).

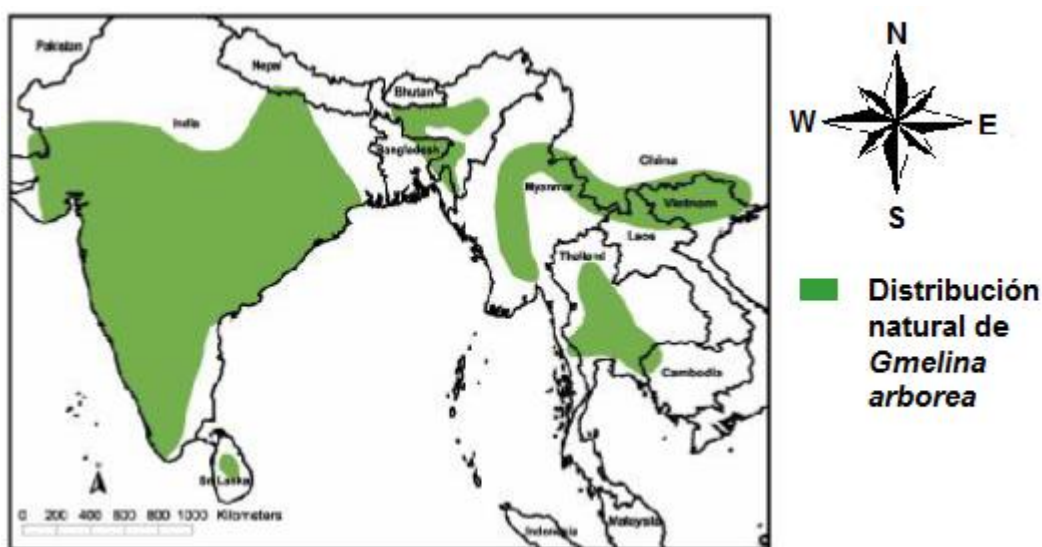


Figura 3. Rango de distribución natural de *Gmelina arborea*. (Rojas, *et al.*, 2004)

4.4.4. Usos

Sus usos más comunes son: la elaboración de chapas decorativas, tableros contrachapados, aglomerados o de partículas. Por su capacidad y resistencia al fuego se emplea para decorar interiores de casas y edificios (tablas, tablillas o

paneles de madera sólida) y en estructuras internas de edificaciones (Obregón, S/F). Para construcción es utilizada como columnas sólidas, pisos, molduras, puertas, vigas sólidas, tablillas, vigas laminadas, columnas laminadas, tableros laminados, tarimas, mesas, sillas, sillones, marco de puertas y ventanas, y contrachapado (Moya, 2004; Rojas *et al.* 2004).

En carpintería se usa para elaborar muebles rústicos y finos, armarios, bancas, camas, mesas, sillas, sillones, archivadores y molduras, pisos livianos, tarimas, instrumentos musicales de resonancia, artesanías, moldes, juguetes, embalajes, mangos para herramientas, canoas y guacales (Moya, 2004; Obregón, S/F).

Obregón (S/F) menciona que el follaje, los frutos y la corteza son utilizados como alimento para el ganado, es una especie recomendada para el cultivo del gusano de seda. En Costa Rica las astillas de *G. arborea* se han utilizado para la producción de pulpa para papel (González y Serrano, 2004).

4.4.5. Fenología

Las hojas son grandes (10-20 cm de largo), simples, opuestas, dentadas. Sus flores son de color amarillo-anaranjadas, monoicas cuya inflorescencia es un racimo. Su fruto es carnoso tipo drupa, de forma ovoide, carnoso, con pericarpo coriáceo y endocarpo óseo, de color verde, tornándose amarillo brillante al madurar, momento en el que caen al suelo. Las semillas de esta especie se encuentran formando parte del endocarpo del fruto, son de forma elipsoidal, de 7-9 mm de largo; testa color café, lisa, opaca, membranosa, muy delgada; el embrión

es de color amarillo-crema y ocupa toda la cavidad de la semilla (Rojas *et al.*, 2004).

4.4.6. Importancia

En América Central se reportó un total de 225, 000 ha de plantaciones forestales, de las cuales 52,000 ha (23 %) fueron plantadas con melina (*Gmelina arborea*). Las plantaciones en Costa Rica y Guatemala han sido establecidas con propósitos comerciales (Alfaro y de Camino, 2002).

La madera de melina en América Central, no compite con las especies nativas de bosque. Sin embargo, el aumento en las restricciones en el uso del bosque nativo ha provocado una reducción de la disposición de esa materia prima, originando la necesidad de buscar fuentes de maderas alternativas y la melina podría ser una posibilidad (Rojas *et al.*, 2004).

El consumo de madera en rollo a nivel mundial es de aproximadamente 3,335 millones de m³ por año, el aporte de madera de melina proveniente de plantaciones es bajo, se reportan 14 mil m³ por año (Rojas *et al.*, 2004).

El 20 % de las plantaciones de *Gmelina arborea* a nivel mundial están dirigidas a la producción de leña y el restante 80 % al aprovechamiento industrial, siendo la producción de pulpa para papel y madera aserrada su principal objetivo (Rojas *et al.*, 2004).

La madera de *Gmelina arborea* generalmente está orientada a la producción de productos de bajo valor agregado, pero con alto consumo de madera en troza,

entre las que destaca la producción de pulpa para papel y la producción de tableros (Rojas *et al.*, 2004).

En Costa Rica se ha presentado una clara preferencia por usar melina en proyectos de reforestación por presentar una rotación corta (10 - 12 años) que se traduce en un período corto de tiempo para recuperar la inversión inicial (Alfaro y de Camino, 2002).

En el año de 1996 se realizaron plantaciones comerciales en Escarcega, Campeche, donde se estableció una plantación de *Gmelina arborea*, en una superficie de 323 ha, con el propósito de iniciar un programa de mejoramiento genético (Balcorta y Vargas, 2004)

En el año de 2004 se plantaron en el estado de Campeche 1,300 ha con la especie *Gmelina arborea* en áreas cubiertas con pastizales degradados, donde se ha realizado mejoramiento genético seleccionando los mejores árboles con una intensidad de 1 en 10,000, con el objetivo de que los mejores árboles se propaguen clonalmente para mejorar aún más la calidad y uniformidad (Sánchez y Romero, 2004).

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Localización

Los árboles se colectaron en la plantación experimental del Instituto Nacional de Investigaciones Forestal, Agrícola y Pecuaria (INIFAP), Campo Experimental Río Grande, Oaxaca. Dichos árboles se plantaron en el año de 1997, con un distanciamiento de 3 x 3 m.

La localidad de Río Grande se encuentra entre los 97° 26' 05.340" longitud Oeste y 16° 00' 34.910" latitud Norte, en el municipio de Villa de Tututepec de Melchor Ocampo, estado de Oaxaca (Figura 4), el cual limita al Sur con el océano pacífico, al Norte con el municipio de Panixtlahuaca y Santa María Tataltepec al Este con el municipio de Jamiltepec, y al Oeste con el municipio de Santo Reyes Nopala y San Pedro Mixtepec (CONABIO, 1998).

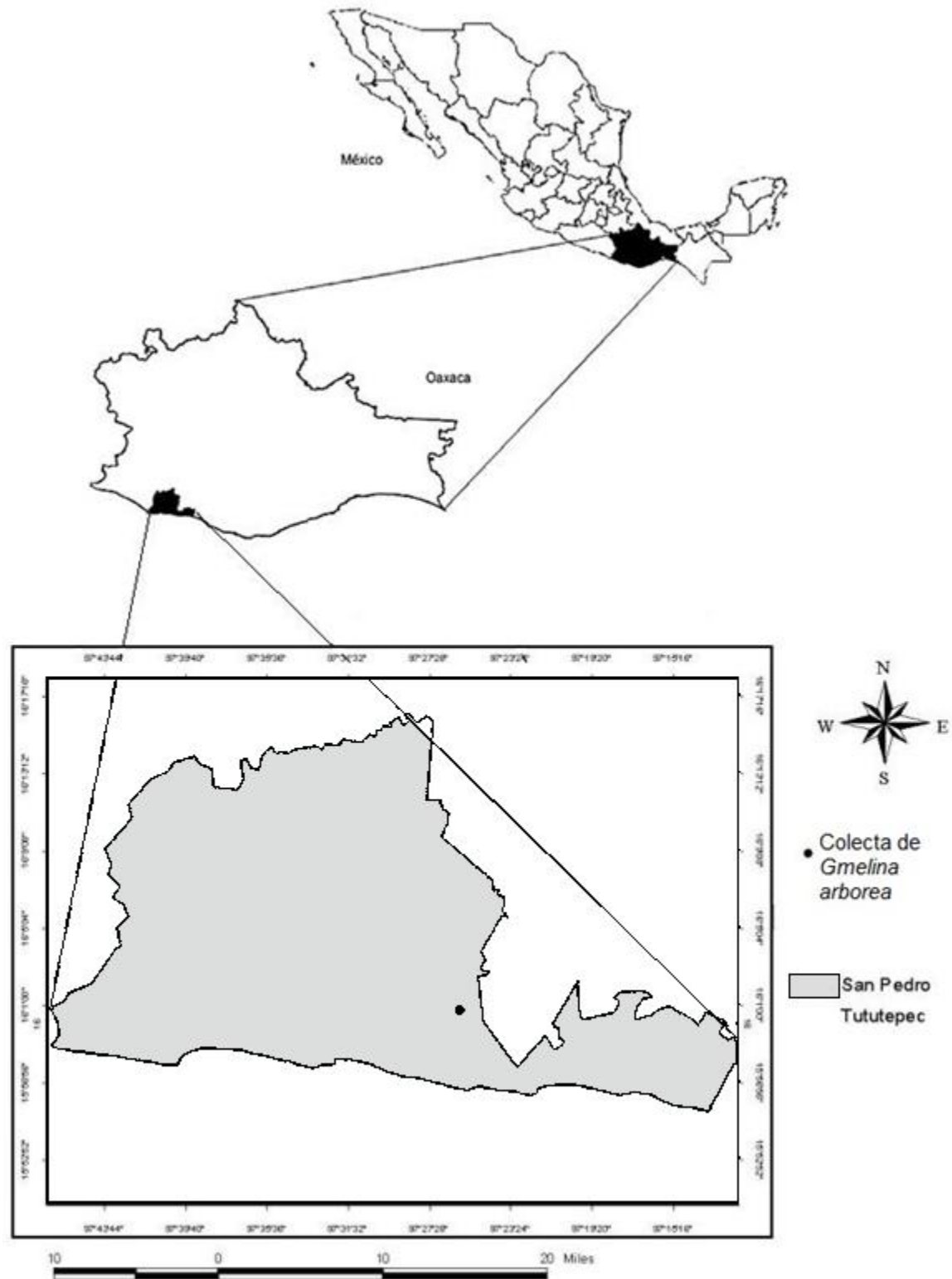


Figura 4. Mapa de localización del área de estudio.

5.1.1. Clima

El tipo de clima que se encuentra en la localidad es cálido subhúmedo con lluvias en verano (Aw). La temperatura media anual es mayor de 22°C y la temperatura del mes más frío es mayor de 18 °C. La precipitación media anual es de 1300 mm (CONABIO, 1998).

5.1.2. Hidrología

Río Grande pertenece a la región Hidrológica RH21 Pacífico Sur (CNA, 1998); a la cuenca del Río Grande la cual pasa por la localidad (Maderey y Torres-Ruata, 1990).

5.1.3. Vegetación y tipo de suelo

De acuerdo con el INEGI (1996), el uso potencial de suelo es pastizal cultivado y el tipo de suelo donde se encuentra la plantación es regosol eutrico (Re).

5.2. Elección y colecta de los árboles

Se colectaron cuatro árboles de 12 años en la plantación forestal experimental de *G. arborea* del Campo Experimental-INIFAP localizado en la comunidad de Río Grande, municipio de San Pedro Tututepec, Oaxaca.

A cada árbol seleccionado se le midieron sus características dasométricas (Cuadro 1). Dichos árboles presentaron fuste cónico libre de plagas y enfermedades, con poca poda natural, con nudos a lo largo del fuste limpio. Posteriormente fueron derribados.

Cuadro 1. Características dasométricas de los árboles colectados para las pruebas físicas.

Árbol (n)	Diámetro normal (cm)	Altura total (m)	Altura de fuste limpio (m)
1	32.6	15.6	8.7
2	21.5	8.2	2.6
3	23.0	10.8	2.7
4	34.0	11.0	2.3

Cada fuste se cortó siguiendo el patrón de corte propuesto por Zarate *et al.* (2001), como se muestra en la Figura 5, el cual fue modificado para cada árbol por la presencia de nudos en el fuste, las piezas se enumeraron con una clave para su control e identificación.

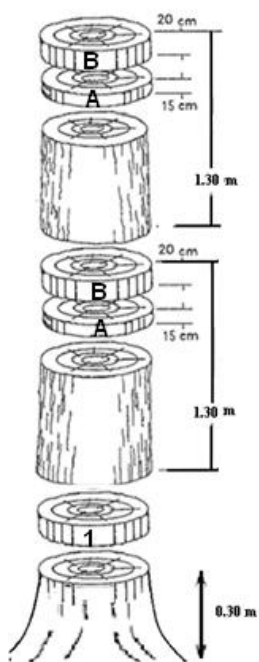


Figura 5: Patrón de corte de los árboles (Zarate *et al.*, 2001).

El trabajo de las propiedades físicas se realizó en el Laboratorio del campo experimental del INIFAP, San Martinito Tlahuapan, Puebla.

5.3. Obtención de probetas

Las rodajas para la obtención de las probetas de las pruebas físicas se aserraron en la carpintería localizada en la comunidad de Hidalgo, Tututepec, Juquila, Oaxaca.

De acuerdo a la figura 5, en cada árbol para cada una de las alturas se obtuvieron dos rodajas (de 15 y 20 cm de diámetro) de las cuales se sacaron las probetas para densidad y contenido de humedad, contracción tangencial, radial y axial.

De la rodaja “a” se obtuvieron 4 probetas de 5 x 5 x 10 cm (Figura 6a) y de la rodaja “b” 6 probetas: 2 de 5 x 5 x 10 cm y 4 con un tamaño de 2 x 2 x 2 cm de las cuales el 50 % pertenece a madera de albura y el 50 % de duramen (Figura 6b).

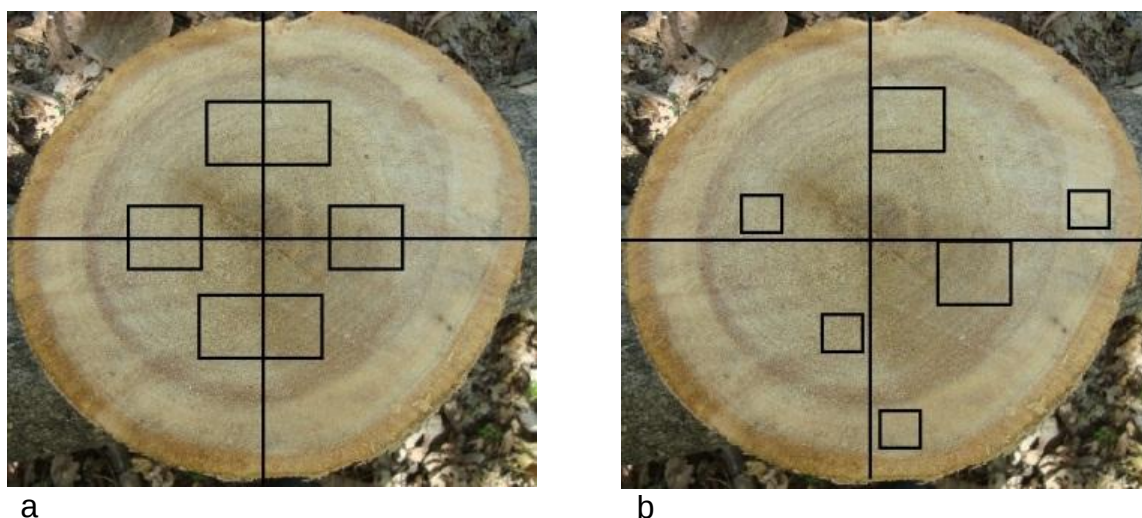


Figura 6. Obtención de las probetas para las pruebas físicas.

5.4. Descripción del equipo utilizado.

El equipo utilizado para la realización de las pruebas físicas fue un vernier digital con aproximación de décimas de milímetro marca Mitutoyo, con el cual se tomaron las medidas correspondientes para cada probeta, una balanza analítica digital con una capacidad de 210 g marca ADA en la cual se pesaron las probetas pequeñas, una balanza digital con una capacidad de 600 g marca Scout Pro en la cual se pesaron las probetas grandes, un vaso blanco transparente, con el cual se determinó el volumen de cada probeta, una estufa de secado marca Tecsa en la cual se mantuvieron los cubos por más de 48 horas.

5.5. Determinación de propiedades físicas.

El número de probetas elaboradas para determinar las propiedades físicas fue de 149 repartidas de la siguiente manera:

- 81 probetas de 2 x 2 x 2 cm para determinar densidades, contracciones, punto de saturación de la fibra y relación de anisotropía (Cuadro 2), 40 de albura y 40 de duramen. La metodología para obtención de las probetas para la evaluación de las propiedades físicas fue adaptada de varios autores: Choong y Fogg (1989), Keith y Chauret (1988), Gartner y Milota (1997).
- 68 probetas de 5 x 5 x 10 cm para determinar densidades, contracciones, punto de saturación de la fibra y relación de anisotropía (Cuadro 2) como lo indica la metodología de COPANT (1992).

Cuadro 2. Número de probetas por árbol.

Árbol	Probetas de 2 x 2 x 2 cm	Probetas de 5 x 5 x 10 cm
1	38	36
2	10	8
3	12	11
4	21	13

Todas las probetas se sumergieron en agua para que alcanzaran su contenido de humedad máximo. A las de 2 x 2 x 2 cm se les aplicó vacío por más de 120 horas para acelerar su saturación máxima (Figura 7).



Figura 7. Saturación de las probetas de 2 x 2 x 2 cm mediante las bombas de vacío.

Una vez que todas las probetas se saturaron, a cada una se le marcó la dirección tangencial, radial y longitudinal para tomar las lecturas en el mismo punto (Figura

8 a), para después determinar su volumen saturado, su peso y las dimensiones en cada una de las direcciones. Las probetas se colocaron al aire libre, determinando el peso (Figura 8 b) y tomando las mediciones en las tres direcciones marcadas en cada probeta (Figura 8 c), cada 24 horas, por nueve días. Posteriormente se colocaron en la estufa de secado a una temperatura de 103 ± 2 °C por periodos de tiempo determinados que fueron: 3 periodos de 15 minutos, 2 de media hora, 2 de 1 hora, 1 de 2 horas, 1 de 24 horas y 1 de 48 horas o más hasta que las probetas llegaran a un peso contante (Figura 8 d).



a



b



c



d

Figura 8. Marcado de las probetas (a), pesado de las probetas (b), medición de las probetas (c), secado de las probetas en la estufa (d).

Después de cada lapso de tiempo considerado, las probetas se sacaron de la estufa se colocaron en un desecador con silica gel (Figura 9) donde se mantuvieron por 15 minutos para enfriarlas y después pesarlas y medirlas (Figura 8 b).



Figura 9. Probetas dentro del desecador.

El volumen en probetas de 2 x 2 x 2 cm en condición saturada se determinó mediante el método de desplazamiento de agua, como lo indica la norma ASTM D 2395 (ASTM, 2005), el cual consistió en registrar el peso de un vaso con un volumen de agua conocido en una balanza analítica y sumergir completamente en este, cada probeta sostenida con una aguja de disección de tal forma que no tocara el fondo y las orillas del vaso con agua (Figura 10), se registró el peso que representa el volumen del agua y la probeta. El volumen real de la probeta se obtuvo mediante la diferencia de pesos del vaso con agua y el peso del vaso con

agua y la probeta. En condición anhidra el volumen se determinó con las medidas de la dirección radial, tangencial y longitudinal.

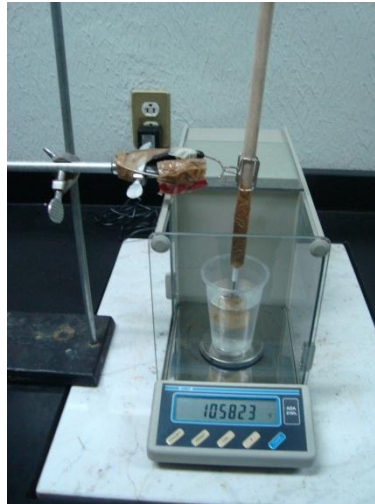


Figura 10. Medición del volumen

En las probetas de 5 x 5 x 10 cm el volumen se determinó con las medidas de la dirección radial, tangencial y longitudinal para cada una de las probetas.

Los valores permitieron determinar el contenido de humedad, densidades, contracciones lineales y volumétricas, relación de anisotropía y punto de saturación de la fibra.

Las fórmulas para la determinación del contenido de humedad, las diferentes densidades, las contracciones, la relación de anisotropía y el punto de saturación de la fibra, se realizó según lo indicado por Kollmann (1959) y Fuentes (s/f).

5.5.1. Determinación del contenido de humedad y de las densidades

Para la determinación del contenido de humedad y las diferentes densidades se utilizaron las fórmulas que se presentan a continuación.

Contenido de humedad (CH):

$$CH (\%) = \frac{P_i - P_o}{P_o} (100) \quad (1)$$

P_i = Peso inicial; P_o = Peso anhidro

Densidad.

$$\text{Densidad anhidra (Do):} \quad D_o = \frac{P_o}{V_o} \quad (2)$$

P_o = Peso anhidro; V_o = Volumen anhidro.

$$\text{Densidad verde (Dv):} \quad D_v = \frac{P_v}{V_v} \quad (3)$$

P_v = Peso verde; V_v = Volumen verde.

$$\text{Densidad al contenido de humedad en equilibrio (Dh):} \quad D_h = \frac{P_h}{V_h} \quad (4)$$

P_h = Peso al contenido de humedad en equilibrio.

V_h = Volumen al contenido de humedad en equilibrio.

$$\text{Densidad básica (Db):} \quad D_b = \frac{P_o}{V_v} \quad (5)$$

P_o = Peso anhidro; V_v = Volumen verde.

5.5.2. Determinación de las contracciones, la relación de anisotropía, el punto de saturación de la fibra y el coeficiente de contracción volumétrica

Las contracciones lineales y volumétricas, la relación de anisotropía y el punto de saturación de la fibra (PSF), se determinaron con las fórmulas siguientes

Contracción.

Contracción tangencial al contenido de humedad en equilibrio

(β_{Th}):

$$\beta_{Th} = \frac{T_v - T_h}{T_v} (100) \quad (6)$$

T_v = Longitud tangencial en estado verde.

T_h = Longitud tangencial al contenido de humedad en equilibrio.

$$\text{Contracción tangencial total } (\beta_{Tt}): \beta_{Tt} = \frac{T_v - T_o}{T_v} (100) \quad (7)$$

T_v = Longitud tangencial en estado verde.

T_o = Longitud tangencial en estado anhidro.

Contracción radial al contenido de humedad en equilibrio (β_{Rh}):

$$\beta_{Rh} = \frac{R_v - R_h}{R_v} (100) \quad (8)$$

R_v = Longitud radial en estado verde.

R_h = Longitud radial al contenido de humedad en equilibrio. (9)

Contracción radial total (β_{Rt}):
$$\beta_{Rt} = \frac{R_v - R_o}{R_v} (100)$$

R_v = Longitud radial en estado verde.

R_o = Longitud radial en estado anhidro.

Contracción longitudinal al contenido de humedad en equilibrio

(β_{Lh}):
$$\beta_{Lh} = \frac{L_v - L_h}{L_v} (100)$$
 (10)

L_v = Longitud en estado verde.

L_h = Longitud al contenido de humedad en equilibrio.

Contracción longitudinal total (β_{Lt}):
$$\beta_{Lt} = \frac{L_v - L_o}{L_v} (100)$$
 (11)

L_v = Longitud en estado verde.

L_o = Longitud en estado anhidro.

Contracción volumétrica al contenido de humedad en equilibrio

(β_{Vh}):
$$\beta_{Vh} = \frac{V_v - V_h}{V_v} (100)$$
 (12)

V_v = Volumen en estado verde.

V_h = Volumen al contenido de humedad en equilibrio.

$$\text{Contracción volumétrica total } (\beta V_t): \quad \beta V_t = \frac{V_v - V_o}{V_v} (100) \quad (13)$$

V_v = Volumen en estado verde.

V_o = Volumen en estado anhidro.

$$\text{Relación de anisotropía (A):} \quad A = \frac{\beta T_t}{\beta R_t} \quad (14)$$

βT_t = Contracción tangencial total.

βR_t = Contracción radial total.

El punto de saturación de la fibra y el coeficiente de contracción volumétrica se determinaron mediante la gráfica de contracción volumétrica total donde se realizó una extrapolación solo de la parte lineal hasta cero contracciones (Stamm, 1971).

5.6. Análisis estadístico

Los datos se analizaron con respecto a la media, desviación estándar y coeficiente de variación y se realizó un análisis de varianza, así como pruebas de comparación de medias con el método de Duncan Waller, estimándose el error de muestreo considerando una confiabilidad del 95%, utilizando el programa de computo estadístico SAS (SAS, 2002). Los resultados obtenidos permitieron analizar y conocer cinco propiedades físicas de la madera de *Gmelina arborea*, y por medio de la comparación de medias se llegó a conocer la variación que existe

dentro y entre árboles, además de proponer usos para la madera en base a los resultados del análisis estadístico.

Asimismo, los valores de las contracciones se graficaron y ajustaron con respecto al contenido de humedad por medio de regresión no lineal, usando el programa estadístico SAS[®] de acuerdo al modelo siguiente:

$$CLP = b_0 e^{(-b_1 CHP)} \quad (15)$$

Donde:

b_0 y b_1 = Estimadores del modelo

C= Contracción lineal o volumétrica (%)

CH= Contenido de humedad

b_0 representa la contracción total y b_1 indica el cambio exponencial por cada 1% de cambio en el contenido de humedad.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. Resultados en probetas de 2 x 2 x 2 cm

6.1.1. Densidades

El valor medio encontrado en la densidad básica fue de 0.43 g/cm^3 (Cuadro 3), el cual es mayor a lo reportado por Downs (2003) quien señala un valor de densidad básica de 0.34 g/cm^3 , 0.22 g/cm^3 y 0.29 g/cm^3 para árboles de 4, 3 y 2 años respectivamente de la especie de *Gmelina arborea*. Sin embargo, el valor encontrado es menor a los que reportan Moya y Tomazello (2009) para la misma especie de 1 a 12 años de edad, de 0.454 a 0.570 g/cm^3 en árboles creciendo en condiciones húmedas y de 0.505 a 0.637 g/cm^3 para árboles creciendo en condiciones secas, o bien de 0.555 g/cm^3 en promedio para árboles colectados una plantación de 350 árboles por ha, de 0.603 g/cm^3 para árboles colectados de una plantación de 350 a 700 árboles por ha y de 0.578 g/cm^3 para árboles colectados con más de 700 árboles por ha. La diferencia entre los valores de densidad se puede atribuir a la edad de los árboles, condiciones climáticas y la intensidad de manejo.

El valor obtenido de densidad básica es similar a lo reportado por Muñoz (1998) en árboles de *Gmelina arborea* de 8 años de edad con 0.45 g/cm^3 , pero diferente en árboles de 10 años con un valor de 0.34 g/cm^3 . Rivero (2004) reporta un valor de 0.38 g/cm^3 para árboles de *Gmelina arborea*, lo cual es menor al obtenido en este estudio. Dicha variación se puede deber a la variabilidad entre especies (Downs, 2003) entre árboles y piezas de la misma especie, el contenido de

humedad y la proporción de espacios vacíos (Haygreen y Bowyer, 1994). El resultado promedio de 0.43 g/cm³ de densidad básica coincide con lo reportado por Dvorak (2003); Lauridsen y Kjaer (2002); Zeaser (1998) y Akachuku (1984) quienes señalan que la densidad de la madera de melina se encuentra en un rango de 0.242 a 0.540 g/cm³ en las edades de 3 a 15 años con un promedio general de 0.380 a 0.430 g/cm³ a la edad de 8 años. La densidad de la madera de esta especie se considera baja cuando se compara con otras especies de madera dura como la *Acacia mangium* (0.47 g/cm³) y el *Eucalyptus urograndis* (0.50 g/cm³) de aproximadamente 6 a 8 años de edad (Dvorak, 2003).

Al comparar la densidad básica de la especie de estudio con otras hojosas, esta presenta valores mayores a lo reportado por García (2001) para la especie de *Conzattia multiflora* con un valor de 0.37 g/cm³. Rico (1974) presenta valores de 0.48 g/cm³ y 0.28 g/cm³ para *Hura crepitans* L. y *Ceiba pentandra* respectivamente. Dicha diferencia se puede atribuir a que la densidad de la madera es la expresión de los elementos celulares que la componen como: vasos, traqueidas, fibras, células de parénquima (Zobel y Talbert, 1984), considerando que las propiedades físicas varían de una especie a otra, incluso en una misma especie (Haygreen y Bowyer, 1994).

El valor promedio de densidad en contenido de humedad en equilibrio es 0.49 g/cm³ (Cuadro 2). Styles *et al.* (2005) obtuvieron valores mayores con 0.63 g/cm³ en árboles de 20 años para *Tectona grandis*; mientras que Downs (2003) reporta valores de 0.37 g/cm³, 0.34 g/cm³, 0.38 g/cm³, para árboles de 4, 3 y 2 años de edad de la especie *Gmelina arborea*. Rivero (2004) obtuvo valores menores quien reporta una densidad al 12 % de 0.46 g/cm³ para la especie *Gmelina arborea*.

El valor promedio de densidad en verde es de 1.05 g/cm^3 (Cuadro 2), valores similares obtuvo Muñoz (1998) con 0.91 g/cm^3 y 1.01 g/cm^3 para árboles de 10 y 8 años de edad de *Gmelina arborea*, Rivero (2004) encontró valores de 1.09 g/cm^3 para la misma especie y 1.03 g/cm^3 para *Tectona grandis*. Panshin y De Zeeuw (1980) atribuyen la variación de densidad al espesor de la pared celular, el ancho de los anillos de crecimiento y la proporción de madera temprana y tardía.

El valor promedio de la densidad anhidra es de 0.47 g/cm^3 . Downs (2003) presenta valores de 0.55 g/cm^3 , 0.58 g/cm^3 , 0.68 g/cm^3 para árboles de 4, 3 y 2 años de edad de la misma especie. Muñoz (1998) obtuvo valores de 0.45 g/cm^3 y 0.37 g/cm^3 para árboles de 8 y 10 años de edad de la misma especie. Rivero (2004) presenta valores de 0.43 g/cm^3 y 0.54 g/cm^3 para árboles de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis* respectivamente.

De acuerdo a Torelli (1981); Echenique y Plumptre (1994), el valor promedio obtenido de 0.43 g/cm^3 de densidad básica de la madera de *Gmelina arborea* de 12 años de edad se clasifica como de media densidad. De acuerdo con Kollmann (1959) se clasifica como una madera moderadamente pesada, ligera (Vignote y Jiménez, 1996) y liviana (Bianchet, s/f). Se recomienda aplicar la clasificación propuesta por Vignote y Jiménez (1996) esta clasificación presenta los valores que llegan a manifestar las maderas mexicanas (Salinas, 2000).

Cuadro 3. Densidades promedio para le especie *Gmelina arborea* en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Anhidra (gr./cm3)	Básica (gr./cm3)	En CHE (gr./cm3)	Verde (gr./cm3)
0.47	0.43	0.49	1.05

Los resultados encontrados en el presente estudio mostraron diferencia significativa ($p < 0.05$) entre árboles para las variables: densidad básica, densidad anhidra, densidad al contenido de humedad en equilibrio y densidad en verde (Cuadro 4). Las diferencias que se presentaron se puede atribuir a el contenido de humedad, la competencia entre árboles, la variabilidad natural que existe entre árboles de la misma especie (García, 2001).

Por efecto de la densidad básica, se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre árboles. La media del árbol 3 fue superior en un 4 % al árbol 2 y al 4; en un 7 % para el árbol 1. Dicha variación se puede atribuir a la calidad de sitio y la variabilidad natural (García, 2001).

Cuadro 4. Resultados estadísticos de las densidades promedio de la madera de cuatro árboles de *Gmelina arborea* en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CHE	9.78±0.606 ^a	7.26±0.157 ^b	7.82±0.314 ^b	7.83±0.190 ^b
Db	0.43±0.006 ^b	0.44±0.006 ^b	0.46±0.006 ^a	0.44±0.005 ^b
Do	0.47±0.008 ^b	0.46±0.008 ^b	0.49±0.006 ^a	0.47±0.005 ^b
DCHE	0.50±0.008 ^{ab}	0.48±0.008 ^b	0.51±0.006 ^a	0.49±0.005 ^b
Dv	1.03±0.023 ^c	1.15±0.002 ^a	1.08±0.010 ^b	1.11±0.011 ^b

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$)

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

Los valores encontrados en el presente estudio mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre alturas para las variables densidad básica, densidad anhidra, densidad al contenido de humedad en equilibrio. La densidad en verde no fue afectada por la altura. Sin embargo, se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los valores promedio de la altura a 1.30 m siendo superior en un 5 % a la altura a 2.60 m (Cuadro 5), dicha variación se puede deber a las prácticas silvícolas que afectan la densidad básica de la madera (Brown *et al.*, 1952; Panshin y De Zeeuw, 1980), la altura y sección del árbol donde se toma la muestra (Zobel, 1964).

Cuadro 5. Resultados estadísticos de las densidades promedio de la madera de *Gmelina arborea* por altura en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Altura a 1.30	Altura a 2.60
CHE	8.06±0.321 ^a	8.37±0.301 ^a
Db	0.45±0.004 ^a	0.43±0.004 ^b
Do	0.48±0.004 ^a	0.46±0.004 ^b
DCHE	0.51±0.005 ^a	0.49±0.004 ^b
Dv	1.09±0.012 ^a	1.08±0.013 ^a

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$)

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la madera de albura y duramen (Cuadro 6) para la densidad en verde. No se encontró diferencia significativa ($p > 0.05$) entre la madera de albura y duramen para la densidad básica, la densidad anhidra y la densidad al contenido de humedad en equilibrio. Sin embargo, las densidades anhidra y al contenido de humedad en equilibrio en

madera de duramen fue superior en un 2.1 y 2.0 % respectivamente, que en la madera de albura. Tal variación se puede atribuir a la longitud de las fibras que incrementan de la médula hacia el cambium, lo cual puede afectar la densidad (Valero *et al.*, s/f).

Cuadro 6. Resultados estadísticos de las densidades promedio de la madera de *Gmelina arborea* entre albura y duramen en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Albura	Duramen
CHE	7.44±0.174 ^b	9.26±0.378 ^a
Db	0.44±0.004 ^a	0.44±0.005 ^a
Do	0.47±0.004 ^a	0.48±0.006 ^a
DCHE	0.49±0.004 ^a	0.50±0.006 ^a
Dv	1.12±0.007 ^a	1.05±0.016 ^b

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

Los resultados encontrados en el presente estudio mostraron diferencias significativas ($p<0.05$) entre la altura a 1.30 m en los cuatro árboles para las densidades básica, anhidra, al contenido de humedad en equilibrio y verde (Cuadro 7). Por efecto de densidad básica se encontró diferencia significativa ($p<0.05$) entre la media de la altura 1 del árbol 3 siendo superior en un 4 % al árbol 1 y 2, y en un 9 % al árbol 4; esta variación se puede deber a la cantidad de extractivos y la variabilidad natural que existe entre individuos de la misma especie (García, 2001).

Cuadro 7. Resultados estadísticos de las densidades promedio de la madera de *Gmelina arborea* para la altura a 1.30 m en los cuatro árboles en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CHE	8.77± 0.867 ^a	7.11±0.050 ^a	7.94±0.578 ^a	8.04±0.377 ^a
Db	0.45± 0.009 ^a	0.45±0.003 ^a	0.47±0.005 ^b	0.43±0.005 ^a
Do	0.49± 0.010 ^{ab}	0.48±0.002 ^{bc}	0.51±0.005 ^a	0.47±0.004 ^c
DCHE	0.51± 0.012 ^{ab}	0.50±0.002 ^b	0.53±0.005 ^a	0.49±0.005 ^b
Dv	1.07±0.029 ^b	1.15±0.002 ^a	1.06±0.014 ^b	1.10±0.020 ^{ab}

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05)

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre la altura a 2.60 m en los cuatro árboles (Cuadro 8) para las densidades anhidra, al contenido de humedad en equilibrio y verde. La densidad básica no fue afectada por altura, así para la altura 2, en los cuatro árboles, se encuentra en el rango de 0.13 a 1.40 g/cm³ de densidad básica, de acuerdo con lo establecido por Richter y Burger (1978).

Se encontró diferencia significativa entre la altura a 2.60 m en los cuatro árboles para la densidad al contenido de humedad en equilibrio; el árbol 1 fue superior en un 32.2, 29.6 y 29.4% al árbol 2, 3 y 4, respectivamente. Esta diferencia se puede la forma del árbol, diferencias genéticas (Zobel y Talbert, 1984), además, el contenido de humedad (Arroyo, 1983).

Cuadro 8. Resultados estadísticos de las densidades promedio de la madera de *Gmelina arborea* para la altura a 2.60 m en los cuatro árboles en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CHE	10.93±0.646 ^a	7.41±0.311 ^b	7.70±0.306 ^b	7.72±0.218 ^b
Db	0.42±0.004 ^a	0.43±0.009 ^a	0.44±0.003 ^a	0.44±0.007 ^a
Do	0.45±0.004 ^{ab}	0.45±0.011 ^b	0.47±0.004 ^a	0.47±0.007 ^a
DCHE	0.48±0.004 ^{ab}	0.46±0.011 ^b	0.50±0.005 ^a	0.49±0.007 ^a
Dv	0.99±0.027 ^b	1.14±0.002 ^a	1.10±0.011 ^b	1.11±0.014 ^{ab}

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05)

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

Al comparar las probetas por altura en el árbol 1 se encontró diferencia significativa ($p<0.05$) para las densidades básica, anhidra, al contenido de humedad en equilibrio y en verde. Las probetas de la altura a 1.30 y 7.80 m presentaron los valores más altos en densidad básica siendo superior en un 7 % 2 %, 5 % y 10 % a la altura a 2.60, 3.90, 5.20 y 6.50 m, respectivamente (Cuadro 9). Esto coincide con lo reportado por Panshin y De Zeeuw, (1970), Shimoyama; (1990) y Silva, (1991), quienes señalan que la densidad básica varía a lo largo del fuste, dicha variación se puede atribuir a los componentes anatómicos y químicos de la madera, condiciones edáficas y climáticas.

Cuadro 9. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de *Gmelina arborea* a seis diferentes alturas para el árbol 1 en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Altura 1.30	Altura 2.60	Altura 3.90	Altura 5.20	Altura 6.50	Altura 7.80
CHE	8.77±0.867 ^a	10.93±0.646 ^a	8.70±0.954 ^a	10.07±0.945 ^a	8.40±0.967 ^a	8.01±0.726 ^a
Db	0.45±0.009 ^a	0.42±0.004 ^{bc}	0.44±0.006 ^a	0.43±0.001 ^{ab}	0.41±0.015 ^c	0.45±0.010 ^a
Do	0.49±0.010 ^a	0.45±0.004 ^c	0.47±0.008 ^{ab}	0.46±0.001 ^{bc}	0.44±0.014 ^c	0.48±0.011 ^{ab}
DCHE	0.51±0.012 ^a	0.48±0.004 ^c	0.50±0.008 ^{ab}	0.49±0.003 ^{abc}	0.46±0.012 ^c	0.50±0.010 ^{ab}
Dv	1.07±0.029 ^{ab}	0.99±0.027 ^b	1.06±0.036 ^{ab}	1.04±0.030 ^{ab}	1.05±0.012 ^{ab}	1.10±0.022 ^a

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

6.1.2. Contracciones

Las contracciones que sufre la madera de *Gmelina arborea* por la pérdida de humedad, según la clasificación propuesta por Fuentes (s/f), se ubican en la siguiente categoría: contracción radial total y al 12 % como mediana, la contracción tangencial total como mediana y al 12 % como baja, la contracción volumétrica total se ubica como baja, al 12% como mediana. De acuerdo con Pérez (1983) y Novelo (1964), presenta una contracción volumétrica baja. Díaz (1960) clasifica a esta especie como una madera con contracción débil por lo cual es apta para ebanistería, chapa desenrollada y usos donde se requiera estabilidad. Negrete (1970), clasifica a esta especie como de contracción tangencial y radial baja. Para las contracciones lineales se recomienda aplicar la clasificación propuesta por Fuentes (s/f) ya que esta clasificación es más explícita, equitativa y presenta los valores que llegan a manifestar las maderas mexicanas (Salinas 2000).

El valor promedio de contracción tangencial total es de 5.75 % (Cuadro 10). Muñoz y Berrocal (2005) presenta datos mayores de 5.86% para la misma especie, mientras que Downs (2003) reporta valores de 6.71 %, 5.67 % y 6.00 % para árboles de 4, 3 y 2 años de edad de *Gmelina arborea*. Rivero (2004) reporta valores de 7.62 % y 5.33 % para la especie *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*, respectivamente. El valor promedio de la contracción tangencial total obtenido en el presente estudio es menor al reportado por García (2001) para *Conzattia multiflora* de 5.68 %.

El valor promedio de contracción radial total es de 3.32 % (Cuadro 10), el cual es mayor al reportado por diferentes autores. Downs (2003) reporta valores de 2.84 %, 3.03 %, 3.03 % para árboles de 4, 3 y 2 años de edad de *Gmelina arborea*. Rivero (2004) presenta valores de 3.02 % y 2.57 % para las especies de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*. Muñoz y Berrocal (2005) reportan valores de 2.31% para melina. García (2001) reporta 3.12 % para la especie *Conzattia multiflora*.

El valor obtenido de contracción longitudinal total para la especie de estudio es de 0.62 % (Cuadro 9). Rivero (2004) reporta datos menores de 0.35 % y 0.27 % para la especie de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis* respectivamente. Downs (2003) presenta valores de 1.09 %, 1.00 % y 1.01 % para árboles de 4, 3 y 2 años de edad respectivamente de *Gmelina arborea*.

Si se compara la contracción volumétrica total de 9.44 % que presenta *Gmelina arborea* de 12 años de edad (Cuadro 10) con las contracciones volumétricas totales de la madera de *Gmelina arborea* de 4, 3, y 2 años de edad que presenta valores de 10.71 %, 10.71 % y 9.72 % respectivamente (Downs, 2003), se observa un comportamiento similar al de la especie de estudio, clasificadas como de

contracción alta de acuerdo a Fuentes (s/f). Datos menores reporta Muñoz y Berrocal (2005) de 7.71 % para árboles de *Gmelina arborea*. Rivero (2004) presenta valores de 10.41% y 8.01 % para árboles de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*.

El valor promedio de la contracción volumétrica total obtenido en el presente estudio es mayor al reportado por García (2001) para *Conzattia multiflora* de 5.68 %.

Los resultados de 0.35 % de contracción longitudinal parcial y 0.62 % de contracción longitudinal total, se encuentran en el rango establecido por Fuentes (s/f) de 0.1 a 0.9 % para la contracción longitudinal.

Cuadro 10. Contracciones promedio de cuatro árboles de *Gmelina arborea*.

Parcial (%)				Total (%)			
Tangencial	Radial	Axial	Volumétrica	Tangencial	Radial	Axial	Volumétrica
3.91	2.22	0.35	6.37	5.75	3.32	0.62	9.44
Coeficiente de contracción volumétrica.							
0.3395							

Los resultados encontrados en el presente estudio muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre árboles para las contracciones volumétrica parcial y volumétrica total (Cuadro 11), a pesar de que los árboles son de la misma edad y fueron colectados en la misma plantación, dicha diferencia se puede deber a la

densidad básica, el contenido de extractivos, diferencias entre albura y duramen, presencia y dimensiones de los añillos de crecimiento, porcentaje de madera temprana y tardía, presencia de madera juvenil, longitud de las fibras, contenido de lignina y porcentaje de radios presentes (Panshin y de Zeeuw, 1980; Wiedenbeck *et al.*, 1990).

Cuadro 11. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* en cuatro árboles para probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CT	3.56±0.313 ^a	4.14±0.185 ^a	3.98±0.239 ^a	4.26±0.244 ^a
CR	1.96±0.129 ^a	2.39±0.229 ^a	2.28±0.174 ^a	2.23±0.128 ^a
CL	0.32±0.035 ^a	0.43±0.084 ^a	0.42±0.046 ^a	0.38±0.034 ^a
Cvp	4.00±0.378 ^a	2.77±0.498 ^b	3.61±0.302 ^{ab}	4.01±0.219 ^a
CTT	5.73±0.246 ^a	5.64±0.158 ^a	5.77±0.153 ^a	6.00±0.182 ^a
CTR	3.26±0.062 ^a	3.26±0.201 ^a	3.32±0.189 ^a	3.21±0.119 ^a
CTL	0.62±0.038 ^a	0.72±0.091 ^a	0.69±0.053 ^a	0.66±0.042 ^a
CVT	7.69±0.270 ^a	5.42±0.395 ^c	6.67±0.343 ^b	6.96±0.185 ^{ab}

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

No se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre árboles para las contracciones parciales: tangencial, radial y longitudinal; así como también para las contracciones totales: tangencial, radial y longitudinal (Cuadro 12). Tampoco se encontró relación entre las diferentes densidades y las contracciones (Cuadro 12).

Cuadro 12. Análisis de correlación entre densidades y contracciones en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

variable	Db	Do	DCHE	Dv	CTT	CTR	CTL	CVT
		0.97283	0.98107	0.11375	0.19194	-0.03058	0.19649	0.16644
Db	1	<.0001	<.0001	0.3119	0.0861	0.7864	0.0787	0.1375
			0.97692	0.19539	0.35804	0.10158	0.19595	0.35373
Do		1	<.0001	0.0804	0.0010	0.3669	0.0796	0.0012
				0.09169	0.24537	0.0491	0.17393	0.23756
DCHE			1	0.4156	0.0273	0.6634	0.1204	0.0327
					0.55095	0.13863	0.29976	0.51506
Dv				1	<.0001	0.2171	0.0066	<.0001
						0.22863	0.07523	0.88256
CTT					1	0.0401	0.5045	<.0001
							-0.19345	0.63592
CTR						1	0.0836	<.0001
								0.03747
CTL							1	0.7398
CVT								1

Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde, CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

Los resultados encontrados en el presente estudio mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre alturas para las contracciones radial parcial, volumétrica parcial, longitudinal total y volumétrica total (Cuadro 13). Las diferencias se pueden atribuir a la densidad presente en la madera (García, 2001), y la cantidad de extractivos depositados en las paredes celulares (Stamm y Loughborough, 1942).

Las contracciones tangencial y longitudinal parcial, tangencial y radial total no fueron afectadas por la altura (Cuadro 13).

Cuadro 13. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* a dos diferentes alturas en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Altura a 1.30 m	Altura a 2.60 m
CT	4.11±0.178 ^a	3.92±0.200 ^a
CR	2.32±0.130 ^a	2.10±0.094 ^b
CL	0.34±0.031 ^a	0.41±0.033 ^a
Cvp	4.10±0.258 ^a	3.39±0.215 ^b
CTT	5.98±0.122 ^a	5.69±0.150 ^a
CTR	3.34±0.110 ^a	3.18±0.084 ^a
CTL	0.60±0.035 ^b	0.72±0.036 ^a
CVT	7.20±0.247 ^a	6.51±0.212 ^b

^{a,b,c}.-Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05)

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre albura y duramen para las contracciones parciales radial, volumétrica y tangencial, contracciones totales radial y volumétrica (Cuadro 14). En el presente estudio se encontró que la contracción longitudinal parcial y total en duramen es más alta que la contracción parcial y total de albura.

Cuadro 14. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* para albura y duramen de cuatro árboles en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Albura	Duramen
CT	4.60±0.129 ^a	3.25±0.167 ^b
CR	2.53±0.091 ^a	1.78±0.080 ^b
CL	0.37±0.033 ^a	0.41±0.032 ^a
Cvp	3.83±0.233 ^a	3.63±0.251 ^a
CTT	6.16±0.125 ^a	5.37±0.119 ^b
CTR	3.46±0.091 ^a	2.98±0.077 ^b
CTL	0.66±0.038 ^a	0.69±0.033 ^a
CVT	6.58±0.230 ^b	7.16±0.235 ^a

^{a,b,c}.-Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05)

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

En la altura a 1.30 m de los cuatro árboles se encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) para las variables contracción volumétrica parcial, contracción tangencial total, contracción volumétrica total. Sin embargo no se encontró diferencia significativa ($p<0.05$) entre la altura a 1.30 m para los cuatro árboles en las variables contracción radial, tangencial y longitudinal (parcial) y las contracciones radial y longitudinal (total) (Cuadro 15).

Entre la altura a 2.60 m en los cuatro árboles se encontró diferencia significativa ($p<0.05$) para las contracciones volumétrica parcial, tangencial y volumétrica total (Cuadro 16). No se encontró diferencia significativa ($p<0.05$) entre la altura a 2.60

m para los cuatro árboles en las contracciones parciales radial, tangencial y longitudinal y las contracciones total radial y longitudinal (Cuadro 16).

Existe diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las alturas del árbol 1 para las contracciones parciales tangencial, radial, volumétrica y las contracciones totales volumétrica, radial y tangencial. No hay diferencia significativa ($p < 0.05$) por efecto de altura para la contracción longitudinal parcial y total (Cuadro 17). Considerando que las contracciones volumétricas y lineales varían con relación a su posición en el árbol, (Panshin y De Zeeuw, 1980).

Cuadro 15. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* para la altura a 1.30 m de cuatro árboles en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CT	4.39±0.356 ^a	4.22±0.123 ^a	3.63±0.332 ^a	4.11±0.431 ^a
CR	2.15±0.190 ^a	2.86±0.325 ^a	2.16±0.326 ^a	2.26±0.208 ^a
CL	0.35±0.056 ^a	0.25±0.035 ^a	0.39±0.084 ^a	0.36±0.065 ^a
Cvp	4.81±0.527 ^a	4.09±0.248 ^{ab}	2.88±0.244 ^b	4.34±0.521 ^{ab}
CTT	6.56±0.120 ^a	5.53±0.127 ^b	5.59±0.069 ^b	5.98±0.302 ^b
CTR	3.28±0.081 ^a	3.63±0.296 ^a	3.23±0.366 ^a	3.31±0.171 ^a
CTL	0.66±0.066 ^a	0.51±0.058 ^a	0.63±0.079 ^a	0.59±0.071 ^a
CVT	8.33±0.277 ^a	6.40±0.210 ^{bc}	6.11±0.553 ^c	7.42±0.320 ^{ab}

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

Cuadro 16. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* para la altura a 2.60 m de cuatro árboles en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CT	2.62±0.211 ^a	4.06±0.367 ^a	4.33±0.303 ^a	4.34±0.306 ^a
CR	1.74±0.143 ^a	1.93±0.147 ^a	2.41±0.146 ^a	2.21±0.167 ^a
CL	0.28±0.042 ^a	0.61±0.118 ^a	0.45±0.043 ^a	0.39±0.041 ^a
Cvp	3.07±0.273 ^a	1.44±0.427 ^{ab}	4.34±0.362 ^b	4.84±0.203 ^{ab}
CTT	4.79±0.068 ^a	5.75±0.302 ^b	5.95±0.291 ^b	6.01±0.236 ^b
CTR	3.24±0.100 ^a	2.90±0.168 ^a	3.42±0.140 ^a	3.16±0.160 ^a
CTL	0.58±0.025 ^a	0.92±0.112 ^a	0.76±0.066 ^a	0.70±0.051 ^a
CVT	6.95±0.305 ^a	4.44±0.424 ^{bc}	7.22±0.299 ^c	6.73±0.208 ^{ab}

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

Cuadro 17. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* a seis diferentes alturas para el árbol 1 en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Variables	Altura a 1.30	Altura a 2.60	Altura a 3.90	Altura a 5.20	Altura a 6.50	Altura 7.80
CT	4.39±0.356 ^a	2.62±0.211 ^b	3.87±0.419 ^{ab}	3.33±0.437 ^{ab}	3.50±0.383 ^{ab}	4.02±0.488 ^a
CR	2.15±0.190 ^{bc}	1.73±0.143 ^c	2.63±0.264 ^{ab}	2.01±0.234 ^{bc}	2.84±0.218 ^a	2.02±0.120 ^{bc}
CL	0.35±0.056 ^a	0.28±0.042 ^a	0.26±0.034 ^a	0.26±0.064 ^a	0.44±0.138 ^a	0.42±0.068 ^a
Cvp	4.81±0.527 ^a	3.07±0.273 ^{bc}	3.36±0.537 ^{bc}	2.24±0.268 ^c	3.77±0.305 ^{ab}	3.57±0.449 ^{ab}
CTT	6.56±0.120 ^a	4.79±0.068 ^c	5.70±0.335 ^b	5.64±0.206 ^{ab}	4.93±0.257 ^c	5.79±0.415 ^b
CTR	3.28±0.081 ^b	3.24±0.100 ^b	3.86±0.230 ^a	3.39±0.112 ^b	4.05±0.127 ^a	3.06±0.052 ^b
CTL	0.66±0.066 ^a	0.58±0.025 ^a	0.45±0.047 ^a	0.51±0.075 ^a	0.67±0.138 ^a	0.70±0.095 ^a
CVT	8.33±0.277 ^a	6.95±0.305 ^b	6.58±0.339 ^b	6.14±0.219 ^b	6.60±0.597 ^b	6.61±0.360 ^b

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

6.1.2.1. Coeficiente de contracción volumétrica

El valor de coeficiente de contracción volumétrica (V_c) es de 0.3395 (Figura 11) este valor nos indica el porcentaje de contracción que experimenta la madera por cada 1 % de humedad que esta pierde por abajo del punto de saturación de la fibra (Cuadro 18).

De acuerdo a la clasificación propuesta por Novelo (1964), Pérez (1983) y Díaz (2005) melina es una madera poco contráctil. Clasificada por Vignote y Jiménez (1996) como una madera estable y para Fuentes (1998) es una madera de contracción baja. Se recomienda aplicar la clasificación propuesta por Fuentes (1998) ya que esta clasificación es más explícita (Salinas 2000).

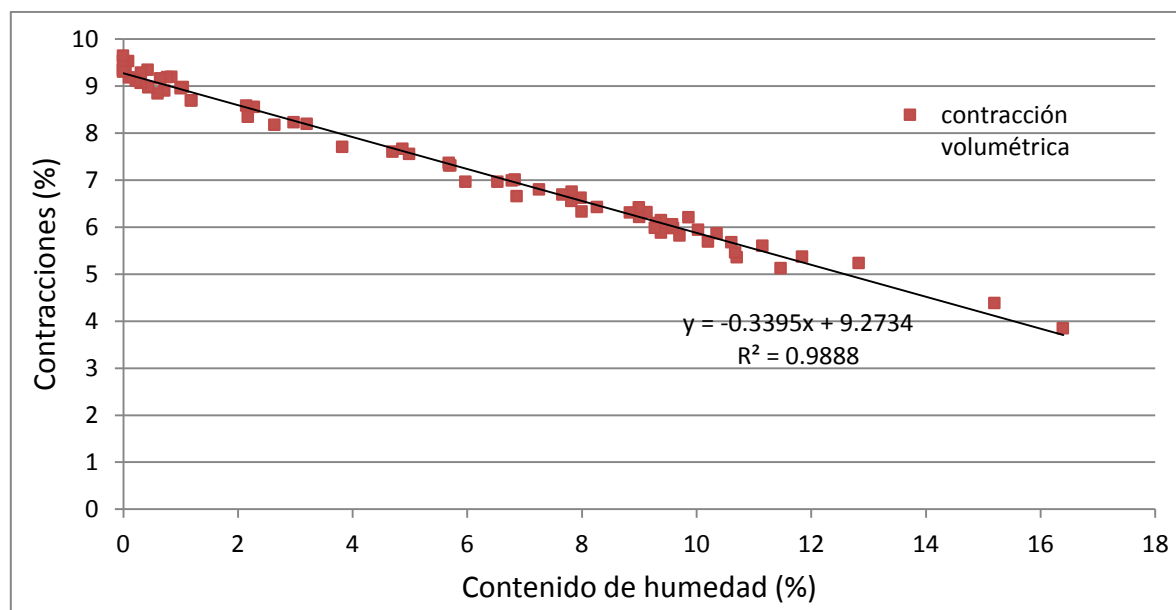


Figura 11. Determinación del punto de saturación de la fibra y el coeficiente de contracción volumétrica en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

6.1.3. Punto de saturación de la fibra.

El valor promedio de punto de saturación de la fibra para la especie de estudio es de 27.32 (Cuadro 18). De acuerdo a la clasificación propuesta por Kollmann (1959) presenta un punto de saturación de la fibra medio, clasificado por Novelo (1964) como normal. Se recomienda aplicar la clasificación propuesta por Novelo (1964) ya que esta clasificación presenta los valores que llegan a manifestar las maderas mexicanas (Salinas 2000). Downs (2003) reporta valores mayores de 33.65, 31.37 y 31.78 para árboles de 2, 3, 4 años de edad de *Gmelina arborea*. Rivero (2004) reporta valores semejantes de 26.98 y 26.40 para árboles de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*. Datos menores presenta García (2001) de 24.28 para *Conzattia Multiflora*.

El valor de 27.32 de punto de saturación de la fibra para la especie en estudio se encuentra dentro de la clasificación propuesta por Tarkow (1979) y Fuentes (s/f) de 18 a 36 % de contenido de humedad en la madera.

Cuadro 18. Resultados estadísticos promedio del punto de saturación de la fibra y relación de anisotropía en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Punto de saturación de la fibra (PSF)	Relación de anisotropía (RAN)
27.32	1.73

6.1.4. Relación de anisotropía.

El valor promedio de la relación de anisotropía para la especie es de 1.73 (Cuadro 18) que de acuerdo con la clasificación propuesta por Novelo (1964) es una relación de anisotropía alta. Según Ordoñez *et al.* (1990) sería estable y de

acuerdo con Fuentes (1998) sería media. Se recomienda aplicar la clasificación propuesta por Ordoñez *et al.* (1990) ya que esta clasificación es más explícita, equitativa y presenta los valores que llegan a manifestar las maderas mexicanas (Salinas 2000). Downs (2003), señala un valor de anisotropía de 1.87, 2.36 y 2.60 para árboles de 2, 3 y 4 años de edad de *Gmelina arborea*. Rivero (2004) reporta valores de 2.56 y 2.12 para *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*. Muñoz y Berrocal (2005) reporta el valor de 2.60 para *Gmelina arborea* y García (2001) de 1.81 para *Conzattia multiflora*.

6.2. Resultados en probetas de 5 x 5 x 10 cm

6.2.1. Densidades

Al comparar los resultados de densidades entre el tamaño de probetas de 2 x 2 x 2 y 5 x 5 x 10 cm, los primeros son superiores en un 35 % para densidad en verde, pero inferior en un 2 % para densidad básica y un 6 % para densidad anhidra. Haygreen y Bowyer (1994) indican que en una misma especie pueden existir diferencias entre árboles o entre piezas, esto se debe a la proporción de espacios vacíos, el contenido de humedad y la organización de la estructura celular que influye sobre la microestructura de las paredes celulares y sobre la variedad.

El valor promedio de densidad básica es de 0.44 g/cm³ (Cuadro 19). Datos menores presenta Paz (2008) quien reporta un valor de 0.37 g/cm³ para *Gmelina arborea*, Muñoz (1998) con 0.37 g/cm³ y 0.45 g/cm³ para árboles de 10 y 8 años de edad de la misma especie; sin embargo, el valor de 0.44 g/cm³ de densidad básica se encuentra en el rango de 0.29 a 0.44 g/cm³ propuesto por Paz (2008) para esta especie. El valor promedio de 0.44 g/cm³ de densidad básica coincide

con lo reportado por Dvorak (2003), Lauridsen y Kjaer (2002), Zeaser (1998) y Akachuku (1984) quienes señalan que la densidad de la madera de melina se encuentra en un rango de 0.242 a 0.540 g/cm³ en las edades de 3 a 15 años con un promedio general de 0.380 a 0.430 g/cm³ a la edad de 8 años. Espinoza (2003) encontró que la densidad de la madera de melina de 5 años de edad varía de 0.35 a 0.5 g/cm³, con una tendencia de incrementar de la base a la altura del árbol.

Tenorio *et al.* (2011), encontraron una densidad promedio de 0.516 g/cm³ para paneles contrachapados y 0.523 g/cm³ en chapas laminadas de la especie *Gmelina arborea*.

El valor de 0.44 g/cm³ de densidad básica promedio es similar a lo reportado por Espinoza (2004) quien encontró valores de densidad de 0.442 g/cm³ a la altura de 0.10 m, 0.432 g/cm³ a la altura de 1.30m, 0.419 g/cm³ a la altura de 7.12 m, 0.430 g/cm³ a la altura de 10.68 m y 0.441 g/cm³ a la altura de 14.44 m, para árboles de 5 años de edad de *Gmelina arborea* provenientes de Venezuela.

De acuerdo con el valor promedio obtenido de 0.44 g/cm³ de densidad básica, la madera de *Gmelina arborea* de 12 años de edad se clasifica como de media densidad (Torelli, 1981; Echenique y Plumptre, 1994), pero también se clasifica como una madera moderadamente pesada (Kollmann, 1959), ligera (Vignote y Jiménez ,1996) y liviana Blanchet (s/f). Se recomienda aplicar la clasificación propuesta por (Vignote y Jiménez ,1996) ya que esta clasificación es más explícita, equitativa y presenta los valores que llegan a manifestar las maderas mexicanas (Salinas 2000).

Cuadro 19. Densidades promedio para *Gmelina arborea* en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Anhidra (g/cm ³)	Básica (g/cm ³)	En CHE (g/cm ³)	Verde (g/cm ³)
0.47	0.44	0.52	0.78

Los resultados encontrados en el presente estudio mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre árboles para las densidades básica, anhidra, al contenido de humedad en equilibrio y en verde. La densidad básica promedio del árbol 3 fue superior en un 4 %, 9 % y 14 % al árbol 4, 1 y 2, respectivamente (Cuadro 20). Los resultados son aceptables considerando que la densidad es diferente entre árboles de la misma especie, por altura y sección del árbol donde se toma la muestra (Zobel, 1964). Dicha variación se puede atribuir al contenido de humedad presente en cada árbol (Ricalde y Bárcenas, 1989), la variación en la pared celular y del lumen así como de los espacios intercelulares (Zobel y Talbert, 1984).

Cuadro 20. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de *Gmelina arborea* en cuatro árboles para las probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CHE	15.20±0.298 ^b	14.91±0.254 ^b	15.96±0.410 ^a	16.97±0.754 ^a
Db	0.43±0.004 ^c	0.41±0.002 ^d	0.47±0.001 ^a	0.45±0.003 ^b
Do	0.47±0.004 ^c	0.45±0.002 ^d	0.50±0.001 ^a	0.48±0.003 ^b
DCHE	0.51±0.004 ^c	0.49±0.002 ^d	0.56±0.002 ^a	0.54±0.004 ^b
Dv	0.74±0.010 ^c	0.75±0.011 ^c	0.84±0.010 ^a	0.82±0.005 ^b

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

Entre alturas se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) para las densidades básica, anhidra, al contenido de humedad en equilibrio y en verde. Las mediciones a la altura a 1.30 m presentaron valores más altos, siendo mayor en un 2 % en densidad básica, 2 % densidad anhidra, 2 % densidad al contenido de humedad en equilibrio, y 3 % densidad en verde, en comparación con las medias de la altura 2 (Cuadro 21).

Cuadro 21. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de *Gmelina arborea* por altura para las probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Altura a 1.30	Altura a 2.60
CHE	16.30±0.456 ^a	15.93±0.372 ^a
Db	0.45±0.004 ^a	0.44±0.005 ^b
Do	0.48±0.004 ^a	0.47±0.005 ^b
DCHE	0.53±0.005 ^a	0.52±0.006 ^b
Dv	0.80±0.010 ^a	0.78±0.011 ^b

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

Los resultados encontrados en el presente estudio mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la altura a 1.30 y 2.60 m en los cuatro árboles (Cuadros 22 y 23) para densidades básica, anhidra, al contenido de humedad en equilibrio y en verde. El árbol 3 presentó los valores de media más altos en la altura a 1.30 y 2.60 m en las cuatro densidades, el árbol 2 presentó los valores de

media más bajos para las densidades básica, anhidra y al contenido de humedad en equilibrio.

Cuadro 22. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de *Gmelina arborea* para la altura a 1.30 m de cuatro árboles en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CHE	15.00±0.484 ^a	14.80±0.272 ^a	17.30±0.340 ^a	17.19±1.164 ^a
Db	0.44±0.004 ^b	0.42±0.004 ^c	0.47±0.001 ^a	0.45±0.005 ^b
Do	0.47±0.004 ^b	0.45±0.004 ^c	0.50±0.001 ^a	0.48±0.006 ^b
DCHE	0.52±0.003 ^c	0.49±0.004 ^d	0.56±0.001 ^a	0.53±0.004 ^b
Dv	0.74±0.014 ^c	0.78±0.014 ^b	0.84±0.014 ^a	0.82±0.009 ^{ab}

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

Cuadro 23. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de *Gmelina arborea* para la altura a 2.60 m de cuatro árboles en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CHE	15.39±0.377 ^a	14.98±0.395 ^a	16.54±0.820 ^a	16.74±1.019 ^a
Db	0.43±0.005 ^c	0.41±0.002 ^d	0.47±0.002 ^a	0.45±0.003 ^b
Do	0.46±0.006 ^c	0.44±0.002 ^d	0.50±0.002 ^a	0.49±0.002 ^b
DCHE	0.50±0.006 ^c	0.49±0.002 ^d	0.55±0.003 ^a	0.54±0.006 ^b
Dv	0.74±0.015 ^b	0.74±0.010 ^b	0.82±0.013 ^a	0.82±0.005 ^a

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

Se encontró diferencia significativa ($p < 0.05$) entre las 6 alturas del árbol 1 para las densidades básica, anhidra y al contenido de humedad en equilibrio (Cuadro 24). Las alturas a 1.30 y 7.80 m mostraron la mayor densidad básica siendo superior en un 2.3 % a la altura de 2.60, 5.20 y 6.50 m y en un 4.8 % a la altura a 3.90 m.

Cuadro 24. Resultados estadísticos de las densidades de la madera de *Gmelina arborea* para las 6 alturas (en metros) del árbol 1 en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Altura a 1.30	Altura a 2.60	Altura a 3.90	Altura a 5.20	Altura a 6.50	Altura 7.80
CHE	15.00±0.484 ^a	15.39±0.377 ^a	16.26±0.667 ^a	16.48±0.507 ^a	15.93±0.441 ^a	15.62±0.510 ^a
Db	0.44±0.004 ^a	0.43±0.005 ^{bc}	0.42±0.004 ^c	0.43±0.001 ^c	0.43±0.002 ^{abc}	0.44±0.006 ^{ab}
Do	0.47±0.004 ^a	0.46±0.006 ^b	0.45±0.004 ^b	0.46±0.002 ^b	0.46±0.002 ^{ab}	0.47±0.006 ^a
DCHE	0.52±0.004 ^{ab}	0.50±0.006 ^{bc}	0.50±0.003 ^c	0.50±0.003 ^{bc}	0.51±0.003 ^{abc}	0.52±0.007 ^a
Dv	0.74±0.014 ^a	0.74±0.015 ^a	0.74±0.015 ^a	0.74±0.012 ^a	0.75±0.013 ^a	0.78±0.010 ^a

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde.

6.2.2. Contracciones

La máxima contracción lineal al contenido de humedad en equilibrio, la experimentó el plano tangencial siendo 44 y 88 % superior a la contracción radial y longitudinal respectivamente, en la contracción lineal total el plano tangencial fue superior en un 45.7 y 92.5 % a la contracción radial y longitudinal respectivamente (Cuadro 25). Las diferencias entre las contracciones lineales se explican por la cantidad y anchura de los rayos medulares y la orientación de las fibrillas en la pared celular y las fibras (Kollman y Coté, 1968), la menor contracción en plano radial se debe a que los radios restringen los movimientos dimensionales en esa dirección (Boyd, 1974).

El resultado de 0.13 % de contracción longitudinal parcial y 0.32 % de contracción longitudinal total se encuentra en el rango establecido por Fuentes (s/f) de 0.1 a 0.9 % para la contracción longitudinal.

La contracción tangencial parcial y total fue superior en un 44 y 45.7 % mayor que la contracción radial parcial y total respectivamente, dicha diferencia se puede atribuir a que en la dirección radial se encuentran algunas fibras con su eje axial en esta dirección (Células de radio leñoso), como estos se contraen poco a lo largo, influyen en aminorar la contracción. En el sentido tangencial la contracción de elementos axiales se realiza transversalmente en forma libre (Fuentes, s/f).

Cuadro 25. Contracciones promedio de la madera de *Gmelina arborea* en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Parciales %				Totales %			
tangencial	radial	axial	volumétrica	tangencial	radial	axial	volumétrica
1.09	0.61	0.13	1.82	4.29	2.33	0.32	6.87
Coeficiente de contracción volumétrica							
0.3037							

Los resultados encontrados en el presente estudio muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre árboles para las contracciones tangencial, radial, longitudinal y volumétrica, tanto parciales como totales, siendo el árbol 2 el que presentó los valores más altos en comparación con el árbol 1, 3, 4 para cada una de las contracciones; sin embargo, el árbol 3 presentó los valores más bajos de

contracciones parciales y el árbol 4 presentó los valores más bajos de contracciones totales (Cuadro 26).

Cuadro 26. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* en cuatro árboles para las probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CT	1.15±0.120 ^b	1.79±0.115 ^a	0.72±0.050 ^c	0.86±0.122 ^c
CR	0.62±0.056 ^b	0.96±0.092 ^a	0.50±0.064 ^b	0.51±0.051 ^b
CL	0.16±0.021 ^{ab}	0.17±0.045 ^a	0.10±0.015 ^b	0.12±0.013 ^{ab}
Cvp	1.91±0.146 ^b	2.90±0.110 ^a	1.31±0.084 ^c	1.48±0.139 ^c
CTT	4.37±0.140 ^a	4.65±0.158 ^a	3.98±0.064 ^b	3.90±0.155 ^b
CTR	2.27±0.061 ^b	2.80±0.082 ^a	2.19±0.108 ^b	2.14±0.076 ^b
CTL	0.34±0.030 ^b	0.44±0.062 ^a	0.31±0.074 ^b	0.29±0.017 ^b
CVT	7.01±0.167 ^b	7.73±0.117 ^a	6.36±0.152 ^c	6.32±0.208 ^c

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

Se encontraron diferencias significativas ($p<0.05$) entre alturas para las contracciones parciales tangencial y volumétrica, contracciones totales radial, tangencial y volumétrica. La contracción radial y longitudinal parcial no fueron afectadas por la altura. Las medias de la altura a 2.60 m presentaron valores más altos en todas las contracciones en comparación con las medias de la altura a 1.30 m (Cuadro 27). Sin embargo, se encontró una relación negativa entre las diferentes densidades y contracciones, es decir a mayor densidad menor contracción (Cuadro 28).

Cuadro 27. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* a dos diferentes alturas en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Altura a 1.30	Altura a 2.60
CT	0.93±0.103 ^b	1.22±0.110 ^a
CR	0.56±0.046 ^a	0.68±0.063 ^a
CL	0.12±0.013 ^a	0.15±0.020 ^a
Cvp	1.60±0.131 ^b	2.03±0.156 ^a
CTT	4.01±0.100 ^b	4.36±0.113 ^a
CTR	2.18±0.074 ^b	2.43±0.071 ^a
CTL	0.32±0.020 ^a	0.35±0.029 ^a
CVT	6.55±0.174 ^b	7.01±0.147 ^a

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

Cuadro 28. Análisis de correlación entre densidades y contracciones en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variable	Db	Do	DCHE	Dv	CTT	CTR	CTL	CVT
Db	1	0.98763 <.0001	0.96324 <.0001	0.77933 <.0001	-0.53762 <.0001	-0.45490 <.0001	-0.13127 0.2859	-0.56579 <.0001
Do		1	0.95541 <.0001	0.75635 <.0001	-0.44726 0.0001	-0.35683 0.0028	-0.09528 0.4396	-0.44734 0.0001
DCHE			1	0.73799 <.0001	-0.51765 <.0001	-0.37936 0.0014	-0.03302 0.7892	-0.53121 <.0001
Dv				1	-0.37947 0.0014	-0.43784 0.0002	-0.21640 0.0763	-0.46322 <.0001
CTT					1	0.43291 0.0002	0.06810 0.5811	0.76707 <.0001
CTR						1	0.33683 0.0050	0.76700 <.0001
CTL							1	0.27152 0.0251
CVT								1

Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde, CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

Los valores encontrados en el presente estudio muestran diferencias significativas ($p < 0.05$) entre la altura a 1.30 y 2.60 m en los cuatro árboles (Cuadros 29 y 30) para las contracciones parciales tangencial, radial y volumétrica, así como para las contracciones totales radial y volumétrica. No hay efecto significativo ($p < 0.05$) por efecto de la altura para la contracción longitudinal parcial para cada uno de los árboles.

Cuadro 29. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* para la altura a 1.30 m de cuatro árboles para probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CT	0.98±0.175 ^b	1.88±0.146 ^a	0.73±0.073 ^b	0.65±0.063 ^b
CR	0.56±0.073 ^{ab}	0.82±0.086 ^a	0.51±0.111 ^b	0.49±0.060 ^b
CL	0.14±0.024 ^a	0.13±0.064 ^a	0.12±0.025 ^a	0.11±0.014 ^a
Cvp	1.67±0.202 ^b	2.81±0.114 ^a	1.35±0.132 ^b	1.24±0.094 ^b
CTT	4.12±0.129 ^b	4.82±0.083 ^a	4.01±0.083 ^b	3.56±0.103 ^c
CTR	2.12±0.063 ^b	2.65±0.072 ^a	2.15±0.173 ^b	2.06±0.126 ^b
CTL	0.32±0.043 ^{ab}	0.43±0.077 ^a	0.31±0.028 ^{ab}	0.29±0.021 ^b
CVT	6.77±0.217 ^b	7.75±0.074 ^a	6.36±0.256 ^b	6.00±0.291 ^b

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes ($P < 0.05$).

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

Se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre las 6 alturas del árbol 1 para las contracciones parciales tangencial y volumétrica. Sin embargo, las contracciones parciales radial y longitudinal, las contracciones totales tangencial, radial, longitudinal y volumétrica no presentaron diferencias significativas ($p < 0.05$) por efecto de la altura (Cuadro 31).

Cuadro 30. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* para la altura a 2.60 m de cuatro árboles en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 4
CT	1.31±0.146 ^{ab}	1.74±0.171 ^a	0.70±0.073 ^c	1.11±0.222 ^{bc}
CR	0.68±0.084 ^b	1.04±0.130 ^a	0.49±0.066 ^b	0.53±0.092 ^b
CL	0.18±0.034 ^a	0.20±0.063 ^a	0.08±0.013 ^a	0.12±0.025 ^a
Cvp	2.15±0.173 ^b	2.96±0.168 ^a	1.27±0.110 ^c	1.76±0.241 ^{bc}
CTT	4.62±0.212 ^a	4.55±0.246 ^a	3.94±0.109 ^a	4.29±0.231 ^a
CTR	2.41±0.065 ^b	2.89±0.108 ^a	2.24±0.134 ^b	2.24±0.068 ^b
CTL	0.36±0.045 ^a	0.45±0.095 ^a	0.32±0.040 ^a	0.29±0.029 ^a
CVT	7.25±0.230 ^{ab}	7.73±0.191 ^a	6.38±0.171 ^c	6.70±0.233 ^{bc}

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

Cuadro 31. Resultados estadísticos de las contracciones de la madera de *Gmelina arborea* para las 6 alturas (en metros) del árbol 1 en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Altura a 1.30	Altura a 2.60	Altura a 3.90	Altura a 5.20	Altura a 6.50	Altura 7.80
CT	0.98±0.175 ^{ab}	1.31±0.146 ^{ab}	1.17±0.182 ^{ab}	0.95±0.076 ^b	0.89±0.097 ^b	1.41±0.101 ^a
CR	0.56±0.073 ^a	0.68±0.084 ^a	0.64±0.112 ^a	0.44±0.118 ^a	0.67±0.085 ^a	0.67±0.092 ^a
CL	0.14±0.024 ^a	0.18±0.034 ^a	0.10±0.024 ^a	0.12±0.035 ^a	0.07±0.013 ^a	0.15±0.045 ^a
Cvp	1.67±0.202 ^{bc}	2.15±0.173 ^{ab}	1.90±0.204 ^{abc}	1.50±0.152 ^c	1.62±0.132 ^{bc}	2.25±0.141 ^a
CTT	4.12±0.129 ^a	4.62±0.212 ^a	4.63±0.317 ^a	4.35±0.087 ^a	4.29±0.115 ^a	4.65±0.160 ^a
CTR	2.12±0.063 ^a	2.41±0.065 ^a	2.25±0.136 ^a	2.42±0.191 ^a	2.34±0.107 ^a	2.50±0.105 ^a
CTL	0.32±0.043 ^a	0.36±0.045 ^a	0.25±0.029 ^a	0.35±0.051 ^a	0.24±0.020 ^a	0.36±0.060 ^a
CVT	6.77±0.217 ^a	7.25±0.230 ^a	7.00±0.358 ^a	6.99±0.203 ^a	6.76±0.187 ^a	7.41±0.300 ^a

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

Se encontraron diferencias significativas (p<0.05) por el tamaño de probetas para las densidades al contenido de humedad en equilibrio y en verde, contracciones

parciales tangencial, radial, longitudinal y volumétrica, contracciones totales tangencial, radial y longitudinal, coincidiendo con lo reportado por García (2001) quien reporta diferencias entre medias por tamaño de probetas. Las contracciones totales y parciales son mayores en probetas de 2 x 2 x 2 cm (Cuadro 32), que en las de 5 x 5 x 10 cm. Un comportamiento similar obtuvo Luquin (1982) quien reporta que la contracción tiende a disminuir cuando aumenta el tamaño de la probeta. Considerando que la densidad puede variar entre árboles diferentes o piezas de un mismo árbol, debido a la proporción de espacios vacíos, el contenido de humedad y la organización de la estructura celular (Haygreen y Bowyer, 1994).

Cuadro 32. Comparación de los resultados de las pruebas físicas en probetas de 2 x 2 x 2 y 5 x 5 x 10 cm.

Variables	Probetas de 2 x 2 x 2 cm	Probetas de 5 x 5 x 10 cm
CHE	8.23±0.219 ^b	16.11±0.646 ^a
Db	0.44±0.003 ^a	0.44±0.004 ^a
Do	0.47±0.003 ^a	0.48±0.004 ^a
DCHE	0.49±0.004 ^b	0.53±0.004 ^a
Dv	1.09±0.009 ^a	0.79±0.027 ^b
CT	4.00±0.136 ^a	1.07±0.211 ^b
CR	2.20±0.079 ^a	0.62±0.143 ^b
CL	0.38±0.023 ^a	0.13±0.042 ^b
Cvp	3.71±0.171 ^a	1.82±0.273 ^b
CTT	5.82±0.100 ^a	4.18±0.068 ^b
CTR	3.25±0.068 ^a	2.31±0.100 ^b
CTL	0.66±0.026 ^a	0.34±0.017 ^b
CVT	6.82±0.166 ^a	6.78±0.118 ^a

^{a,b,c}: Valores en la misma hilera con diferente literal son estadísticamente diferentes (P< 0.05).

CHE: contenido de humedad en equilibrio, Db: densidad básica, Do: densidad anhidra, DCHE: densidad al contenido de humedad, Dv: densidad en verde. CT: contracción tangencial parcial, CR: contracción radial parcial, CL: contracción longitudinal parcial, Cvp: contracción volumétrica parcial, CTT: contracción tangencial total, CTR: contracción radial total, CTL: contracción longitudinal total; CVT: contracción volumétrica total.

6.2.2.1 Coeficiente de contracción volumétrica

El valor de coeficiente de contracción volumétrica (V_c) en probetas de 5 x 5 x 10 cm es de 0.3037 (Figura 12), similar a lo obtenido en probetas de 2 x 2 x 2 cm con un valor de 0.3395. Ambos tamaños de probetas presentan un comportamiento similar en el porcentaje de contracción que experimenta la madera por cada un porciento de humedad que esta pierde por abajo del punto de saturación de la fibra.

De acuerdo a la clasificación propuesta por Novelo (1964), Pérez (1983) y Díaz (1960) es una madera poco contráctil. Clasificada por Vignote y Jiménez (1996) como estable y para Fuentes (1998) es una madera de contracción baja. Se recomienda aplicar la clasificación propuesta por Fuentes (1998) ya que esta clasificación es más explícita, equitativa y presenta los valores que llegan a manifestar las maderas mexicanas (Salinas 2000).

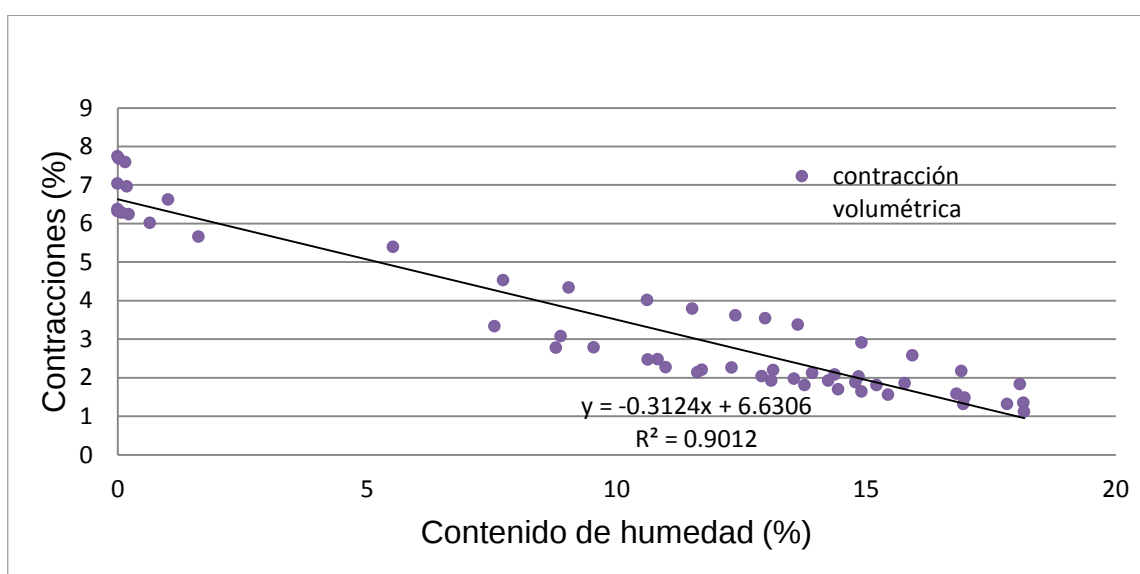


Figura 12. Determinación del punto de saturación de la fibra y el coeficiente de contracción volumétrica en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

6.2.3. Punto de saturación de la fibra.

El valor promedio del punto de saturación de la fibra para la especie de estudio en probetas de 5 x 5 x 10 cm es de 21.65, menor a lo encontrado en probetas de 2 x 2 x 2 cm de 27.32; sin embargo, el valor de 21.65 de acuerdo a la clasificación propuesta por Novelo (1964) corresponde a un punto de saturación de la fibra bajo.

Downs (2003) reporta valores mayores de 33.65, 31.37 y 31.78 para árboles de 2, 3, 4 años de edad de *Gmelina arborea*, Rivero (2004) reporta 26.98 y 26.40 para árboles de *Gmelina arborea* y *Tectona grandis*, García (2001) reporta 24. 28 para *Conzattia multiflora*.

El valor de 21.65 de punto de saturación de la fibra para la especie en estudio se encuentra dentro de la clasificación propuesta por Tarkow (1979) y Fuentes (s/f) de 18 a 36 % de contenido de humedad en la madera.

Cuadro 33. Valores promedio del punto de saturación de la fibra y relación de anisotropía para probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Punto de saturación de la fibra (PSF)	Relación de anisotropía (RAN)
21.65	1.84

6.2.4. Relación de anisotropía

El valor promedio de relación de anisotropía para la especie en probetas de 5 x 5 x 10 cm es de 1.84 (Cuadro 33), que es mayor a la de 1.73 que es el valor promedio obtenido en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

De acuerdo con la clasificación propuesta por Novelo (1964), la madera de la especie de este estudio presenta una relación de anisotropía alta; de acuerdo con los rangos propuestos por Ordoñez (1990) sería estable y según la clasificación de Fuentes (1998) se tomaría como media. Se recomienda aplicar la clasificación propuesta Ordoñez (1990) ya que esta clasificación es más explícita (Salinas 2000).

El valor promedio de relación de anisotropía de 1.84 (Cuadro 33) es muy aproximado a lo que reporta Downs (2003) para árboles de *Gmelina arborea* de dos años de edad con un valor de 1.87; sin embargo, para árboles de la misma especie de 3 y 4 años reporta valores más altos de 2.36 y 2.60, respectivamente. Rivero (2004) presenta valores de 2.56 y 2.12 para árboles de 15 años de *Gmelina arborea* y árboles de 8 años de *Tectona grandis* respectivamente. Muñoz y Berrocal (2005) reporta un valor de 2.60 para árboles de 7 años de *Gmelina arborea* y García (2001) con 1.81 para *Conzattia multiflora*.

6.3 Usos posibles

Con base en dichos resultados de las pruebas físicas la madera de *Gmelina arborea* presentó las características para ser empleada en la construcción de viviendas, muebles (mesas, sillas sillones, juegos de comedor, juego de sala, puertas, bancas y camas), pisos, contrachapado, vigas laminadas, tableros de partículas, tableros de fibras, usos donde se requiera estabilidad, productos secundarios como: tarimas, palos de escoba, cajas de empaque, hasta productos menores como son los, palillos de dientes, palillos planos, cuadrados, redondos,

además también es útil como mangos de herramientas. Considerando que en la región costa no existe la maquinaria necesaria para la elaboración de vigas laminadas, contrachapado, tableros de fibras y de partículas, la madera de *Gmelina arborea* de la plantación de Rio Grande puede ser utilizada en la construcción de viviendas, elaboración de muebles, pisos, productos secundarios, productos menores y como mangos para herramientas.

6.4. Comportamiento de las contracciones

Los datos experimentales se ajustaron con el modelo (15) y los resultados se presentan en los cuadros y graficas siguientes.

Los resultados (Cuadros 35 y 36, Figura 13 y 14) muestran que las contracciones presentan una tendencia similar a lo reportado por Fuentes (s/f) quien menciona valores promedio de 14 % volumétrica; 7 % tangencial, 4 % radial y de 0.1 a 0.9 % para la contracción longitudinal, siendo la contracción volumétrica la suma de la contracción tangencial, radial y longitudinal. La diferencia entre las contracciones lineales se puede atribuir a que en la dirección radial se encuentran algunas fibras con su eje axial en esta dirección (Células de radio leñoso), como estos se contraen poco a lo largo, influyen en aminorar la contracción. En el sentido tangencial la contracción de elementos axiales se realiza transversalmente en forma libre (Fuentes, s/f).

Cuadro 34. Estimadores y coeficientes de determinación de los valores de contracción ajustados para cada una de las direcciones lineales en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Tipo de contracción	b_0	b_1	R^2	Ecuación
C1	5.71363	0.044769	0.9896	$C1=5.71363*EXP(-0.044769*CH)$
C2	3.283535	0.047822	0.9912	$C2=3.283535*EXP(-0.047822*CH)$
C3	0.616618	0.066392	0.9232	$C2=0.616618*EXP(-0.066392*CH)$
C4	9.371006	0.04611	0.9950	$C2=9.371006*EXP(-0.04611*CH)$

C1: contracción en dirección tangencial, C2: contracción en dirección radial, C3: contracción en dirección longitudinal, C4: contracción volumétrica.

Cuadro 35. Estimadores y coeficientes de determinación de los valores de contracción ajustados para cada una de las direcciones lineales para probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Tipo de contracción	b_0	b_1	R^2	Ecuación
C1	4.321965	0.087289	0.9510	$C1=4.321965*EXP(-0.087289*CH)$
C2	2.387248	0.082855	0.9558	$C2=2.387248*EXP(-0.082855*CH)$
C3	0.342033	0.05561	0.9031	$C2=0.342033*EXP(-0.05561*CH)$
C4	6.959762	0.083334	0.9550	$C2=6.959762*EXP(-0.083334*CH)$

C1: contracción en dirección tangencial, C2: contracción en dirección radial, C3: contracción en dirección longitudinal, C4: contracción volumétrica.

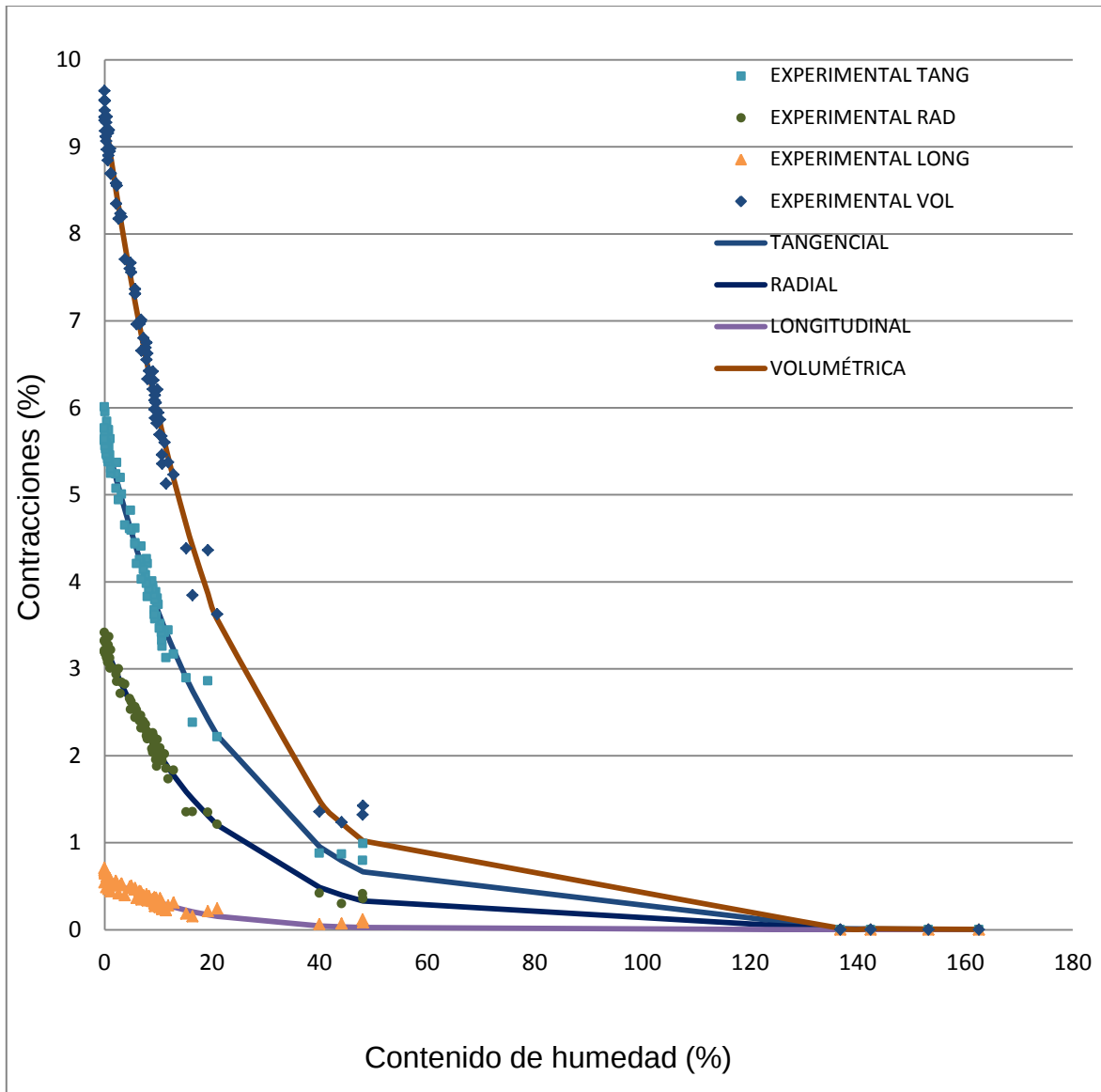


Figura 13. Relación entre el contenido de humedad y las contracciones para las probetas de 2 x 2 x 2 cm. Los símbolos representan los valores experimentales y las líneas continuas los valores ajustados.

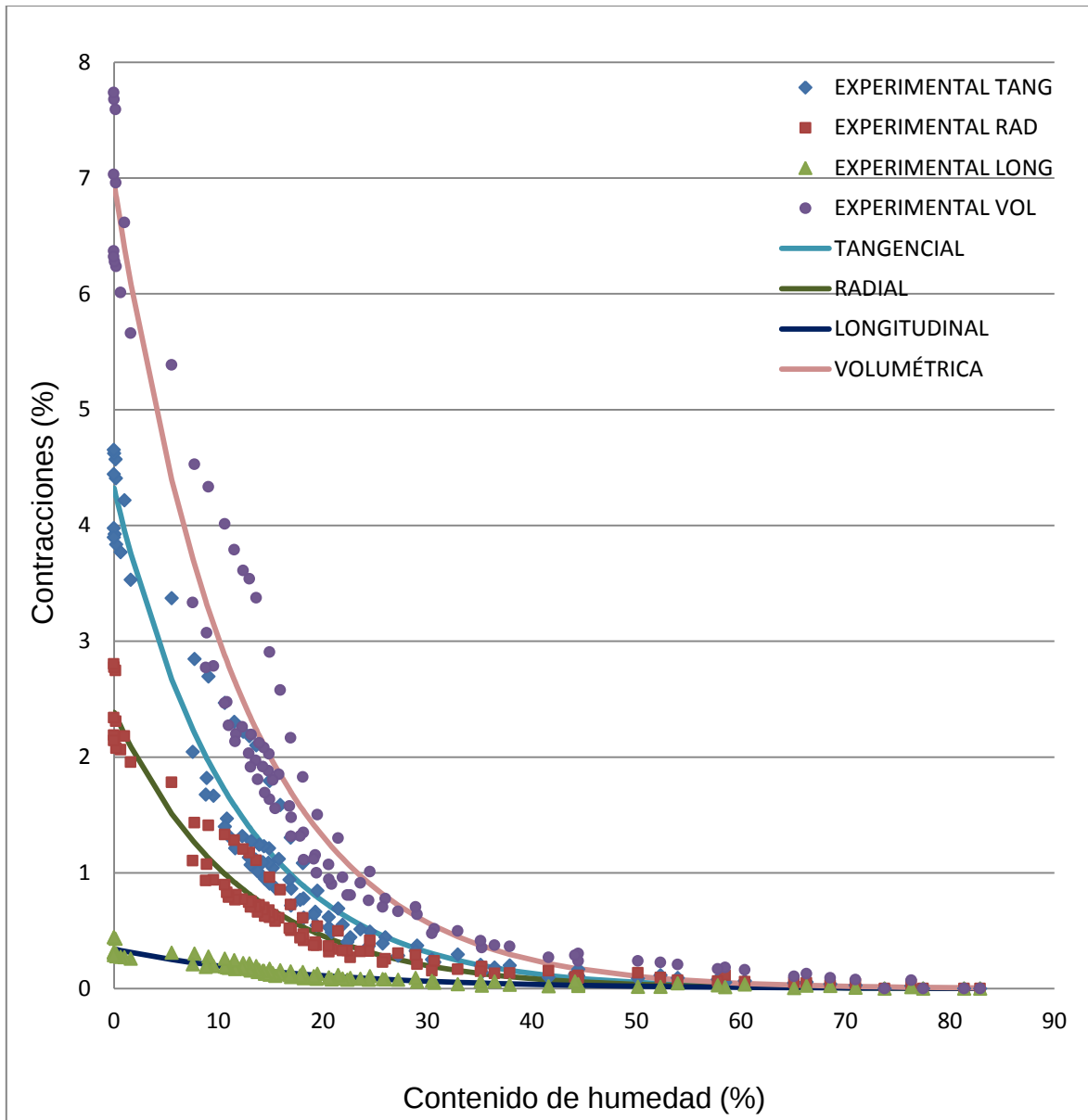


Figura 14. Relación entre el contenido de humedad y las contracciones para las probetas de 5 x 5 x 10 cm. Los símbolos representan los valores experimentales y las líneas continuas los valores ajustados.

7. CONCLUSIONES

Gmelina arborea presenta un valor promedio de 0.44 g/cm^3 de densidad básica y es considerada como una madera ligera o moderadamente pesada, con una contracción mediana en su dirección radial y tangencial presentando valores promedios de 2.83 % y 5.02 % respectivamente, una contracción volumétrica baja con un valor promedio de 8.16 %, presenta un punto de saturación de la fibra bajo con un valor promedio de 21.03 %. Una relación de anisotropía estable con un valor promedio de 1.79 y un coeficiente de contracción volumétrica estable con un valor promedio de 0.32.

Se encontraron diferencias estadísticas ($p < 0.05$) entre árboles, entre alturas, entre albura y duramen, entre las 6 diferentes alturas del árbol 1 y entre tamaños de probetas.

8. RECOMENDACIONES

Es importante obtener muestras de madera de *Gmelina arborea* de diferentes plantaciones, para generar más información y poder establecer un rango de la variabilidad de sus propiedades físicas.

Se recomienda la ejecución de los ensayos, utilizando normas y métodos estadísticos que permitan obtener resultados confiables y comparables.

Se recomienda realizar estudios tecnológicos de *Gmelina arborea* para proponer usos en base a estos resultados.

Se recomienda aumentar el número de muestras para generar información aún más precisa.

Es recomendable realizar estudios tecnológicos de la madera en especies forestales desconocidas y poco aprovechadas.

9. LITERATURA CITADA

- Akachuku, A. E. 1984. The possibility of tree selection and breeding for genetic improvement of wood properties in *Gmelina arborea*. For. Sci 30: 275 – 283.
- Alfaro, M. 2000. Melina: la madera del futuro. Revista Forestal Centroamericana 29:34-38.
- Alfaro, M y R. de Camino. 2002. Melina (*Gmelina arborea*) in Central América. Editado por M. Varmola. FAO, Working Paper FP/20. Roma, Italia 18 p.
- American Society for Testing and Materials (ASTM). 2005. Standard Test Methods for specific gravity of wood and wood-Based Materials. ASMT 2395, Annual Book of ASMT Standards, Vol. 4.10 Wood, pp. 357-364.
- Arroyo, J. 1983. Propiedades físicas y mecánicas de la madera. Universidad de los Andes, Facultad de Ciencias Forestales. Mérida, Venezuela. En Martinez R., V. y A. M., Ramírez S. 2007. Estudio tecnológico en la madera de dos especies de encino de la región de El Salto, Durango. Instituto Tecnológico de el Salto. 107 p.
- Balcorta, M., H. C. Y J. J. Vargas H. 2004. Variación fenotípica y selección de árboles en una plantación de melina (*Gmelina arborea* Linn., Roxb.) de tres años de edad. Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente. Universidad Autónoma Chapingo. México.10 (1): 13-19.
- Bárcenas, P., G. M. 1995. Caracterización tecnológica de 20 especies maderables de la Selva Lacandona, Chiapas, México. Madera y Bosques 1(1): 9-38.
- Bianchet J., M. (s/f). Ensayos físico- mecánicos en madera de coníferas. Folleto Técnico Forestal N° 58. Instituto Forestal Nacional. Argentina. 23 p.

- Boyd, J. D. 1974. Anisotropic shrinkage of wood: Identification of the dominant determinants. *Mokuzai Gakkaishi* 20:473-482.
- Brown, H. P. Panshin, A. J y C. C. Forsaith. 1952. Textbook of wood technology. Vol. II. The physical, mechanical, and chemical properties of the commercial woods of the United States. McGraw-Hill Book Company, Inc. New York. 783 p.
- Cartelle, J. 2009. Caracterización de las propiedades físico mecánicas de madera de *Juglans nigra* del banco de clones de EccoWood. Análisis de resultados. 9 p.
- Choong, E. T. y P. J. Fogg. 1989. Differences in moisture content and shrinkage between innerwood and outerwood of two shortleaf pine trees. *Forest Prod. J.* 39 (3):13-18
- Comisión Nacional del Agua (CNA). 1998. Regiones Hidrológicas de México. México.
- Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad (CONABIO). 1998. Climas (Clasificación de Koppen, modificado por García). México.
- COPANT (Comisión Panamericana de Normas Técnicas). 1972. (458, 459, 461, 462, 555, 464, 466, 742, y 743). Buenos Aires, Argentina.
- Cuevas, E. 2003. Propiedades físicas y mecánicas de la madera. En: Díaz M., P. P. 2005. Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Nothofagus Glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Talca. Talca, Chile. 179 p.

- Díaz G., V. 1960. Métodos de ensayo para determinar las propiedades físicas y mecánicas de la madera. Unidad y enseñanza e investigaciones en bosques. Escuela Nacional de Agricultura. Chapingo, Texcoco, México. 119 p.
- Díaz, A. A., R. Rivery, D. Álvarez L., C. Hernández del B., A. Ibáñez D., I. Carballo A., J. Pastor B. y M. Corona H. 1986. Ciencia de la madera. ENPES. La Habana. 195 p.
- Díaz, M., P. P. 2005. Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de madera de *Nothofagus glauca* (Haulo) proveniente de la zona de Cauquenes. Universidad de Talca. Talca, Chile. 179 p.
- Downs, R., G. 2003. Estudio tecnológico de la madera de *Gmelina arborea* Roxb., proveniente de plantaciones jóvenes del estado de Campeche. Tesis profesional. Chapingo, Texcoco, Edo. de México. 72 p.
- Dvorak, W. S. 2003. World view of *Gmelina arborea*: Opportunities and Challenges. In *Recent advances with Gmelina arborea* (eds. W. S. Dvorak, G. R. Hodge, W. C. Woodbridge and J. L. Romero). CAMCORE, North Carolina State University, Raleigh, NC. USA.
- Dvorak, W.S. 2004. World view of *Gmelina arborea*: opportunities and challenges. CAMCORE Cooperative, Grinnells Laboratory, North Carolina State University. New Forest 28: 111–126.
- Echenique-Manrique, R. y F. Robles F. 1993. Ciencia y tecnología de la madera I. Universidad Veracruzana. Xalapa. 137 p.
- Echenique M. y R. A. Plumptre. 1994. Guía para el uso de maderas de Belice y México. Universidad de Guadalajara, Guadalajara, Jal. 196 p.

- Espinoza J. A. 2003. Genetic variation in wood density of *Gmelina arborea* planted on different sites in western Venezuela. Faculty of North Carolina State University. 78 p.
- Espinoza J. A. 2004. Within-tree density gradients in *Gmelina arborea* in Venezuela. Netherlands. New Forest 28: 309–317.
- Flamand, J. 1963. Propiedades de la madera. México y sus Bosques 7: 24-27.
- Forest Products Laboratory. 2010. Wood handbook: Wood as an engineering material. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. U.S. 463 p.
- Fuentes, L. M. E. 1990. Propiedades físico-mecánicas de cinco especies de encino (*Quercus spp.*) del Estado de Puebla. Tesis Profesional. División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo. 54 p.
- Fuentes, S., M. (S/F). Apuntes para el curso de tecnología de la madera (I). Serie de apoyo académico N° 33. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, Edo. de México. 99 p.
- Fuentes S., M. 1998. Propiedades tecnológicas de las maderas mexicanas, de importancia en la construcción. Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente 4 (1): 221-229.
- García G., N. 2001. Propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Conzattia multiflora* (Rob.) Standl. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Texcoco, Edo. De México. 56 p.
- Gartner, B. L., H. Lei y M. R. Milota. 1997. Variation in the anatomy and specific gravity of wood within and between trees of red alder (*Alnus rubra* Bong.). Wood and Fiber Science. 1(29):10-20.

- González, T. G. y R. Serrano M. 2004. Propiedades y utilizaciones de la madera de melina *Gmelina arborea* (Roxb.) procedente de árboles plantados en Costa Rica. Kurú: Revista Forestal 1(1): 1-9.
- Hans, A. S. y J. Burley. 1972. Wood Quality of Eight *Eucalyptus* Species in Zambia. Kitwe (Zambia); and Commonwealth Forestry Institute, Oxford (England). Specialia: 1378-1380.
- Haygreen, G. J. y J. L. Bowyer. 1994. Forest products and Wood Science: an Introduction. Second Edition. Iowa State University Press. United State of America.
- Instituto Nacional de Estadística, Geografía e Informática (INEGI).1996. Uso de suelo y vegetación. México.
- Johansson, G., R. Kliger y M. Perstorper. 1990. Timber quality and its definition: an interdisciplinary communication problem. IUFRO Timber Engineering Meeting, Saint-John, NB.
- Karsulovic, J. 1982. Propiedades mecánicas de la madera. Santiago, Chile, Editorial Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agrarias, Veterinarias y Forestales, departamento de Tecnología de la Madera. 101 p.
- Keith, C. T. y G. Chauret. 1988. Basic wood properties of European larch from fast-growth plantations in eastern Canada. *Can. J. For. Res.* 18: 1325-1331.
- Kliger, I. R., G. Johansson, M. Perstorper y D. Engström. 1994. Formulation of requirements for the quality of wood properties used by the construction industry. Chalmers Univ. Technol., Göteborg, Sweden.
- Kollmann, F. 1959. Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Tomo 1º. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera. 675 p.

- Kollmann, F. y W. A. Côté. 1968. Principles of Wood Science and Technology: Solid Wood. New York. USA. 592 p.
- Kurtz, V. D. y R. Ferruchi. 2000. La poda como parte de la estrategia para la obtención de madera de calidad. Publicada en: XV Jornadas Forestales de entre Ríos 1-22.
- Lauridsen, E. B. y E. D. Kjaer. 2002. Provenance research in *Gmelina arborea* Linn., Roxb. A summary of results from three decades of research and a discussion of how to use them. International Forestry Review 4(1): 15 p.
- Luquin, D. 1982. Etude de l'influence de la forme et de la taille des échantillons de bois sur le retrait. DEA Sciences du bois.
- Martínez, R. V. y A. M. Ramírez S. 2007. Estudio tecnológico en la madera de dos especies de encino de la región del Salto, Durango. 107 p.
- Maderey, R. L. y C. Torres-Ruata. 1990. Cuencas hidrológicas en hidrogeografía e hidrometría. Atlas Nacional de México. Instituto de Geografía, UNAM. México.
- Mitchell, H.L. 1961. A concept of intrinsic wood quality and nondestructive methods for determining quality in standing timber. Report No. 2233, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin.
- Moya, R. 2000. Características de la Madera de teca de 5, 7 y 9 años de edad creciendo en el Atlántico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. Boletín Kurú 29: 5-6.
- Moya R., R. y V. Arce L. 2003. Efecto del espaciamiento en plantación sobre dos propiedades físicas de la madera de teca a lo largo del fuste. Xalapa, México. Madera y Bosques 9 (2): 15 – 27.

- Moya, R., R. 2004. *Gmelina arborea* en Costa Rica. Bois et Forêts des Tropiques 279(1): 47-57.
- Moya, R., R. y V. Arce L. 2006. Estudio del efecto del espaciamiento sobre el peso específico básico y contracciones en plantaciones de teca (*Tectona grandis* L.f.) de 10 años en Guanacaste, Costa Rica. Kurú: Revista Forestal Costa Rica 3(7): 11p.
- Moya, R. y M. Tomazello F. 2009. Wood density variation and tree ring demarcation in *Gmelina arborea* trees using x-ray densitometry. Universidade Federal de Lavras. Brazil 15(1): 92–100.
- Muñoz, F., y A. Berrocal. 2005. Secado experimental de *Gmelina arborea* Roxb. proveniente de la Zona Atlántica de Costa Rica. Kurú: Revista Forestal. Costa Rica 2(4): 1-22.
- Muñoz, U., F. de M. 1998. propiedades y usos de las maderas de jaúl y melina. Editorial de la Universidad de Costa Rica. San José, Costa Rica. 25 p.
- Negrete, L., J. 1970. Algunas características físicas y anatómicas de la madera de cuatro especies de encino del estado de Michoacán. Tesis de licenciatura. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de bosques. Chapingo, Texcoco, México. 65 p.
- Novelo, G., G. 1964. Aplicaciones de la madera de cuatro especies tropicales en base a sus propiedades físicas y mecánicas. Tesis Profesional. Escuela Nacional de Agricultura. Departamento de Bosques. Chapingo, Texcoco, México.
- Obregón, S., C. (S/F). *Gmelina arborea* versatilidad, renovación y productividad sostenible para el futuro. Especie 14-20.

- Oliveira, J., T. S. y C. Silva, J. 2003. Variacao radial de retratabilidade e densidades básica da madeira de *Eucalyptus saligna* Sm. Revista Árvore, Vicososa- MG 27(3): 381-385.
- Ordoñez, V., G. Bárcenas y A. Quiróz. 1990. Características físico- mecánicas de la madera de diez especies de San Pablo Macualtianguis Oaxaca. Bol. Tec. N° 21 (LACITEMA). Instituto de Ecología A. C. Xalapa, Veracruz, 29 p.
- Panshin, A. J. y De Zeeuw. 1970. Textbook of wood technology. 3a. edición. McGraw-Hill. New York.1: 705 p.
- Panshin, A. J. y De Zeeuw. 1980. Textbook of wood technology. 4th edition. McGraw-Hill. New York. U.S.A. 202-204.
- Paz, F., F. J. 2008. Determinación de la composición química de la madera obtenida del primer aclareo en árboles de melina (*Gmelina arborea* Roxb.), de una plantación proveniente del departamento de Izabal. Universidad de San Carlos de Guatemala. 122 p.
- Pérez, V. 1983. Manual de propiedades físicas y mecánicas de maderas chilenas. En: Díaz M., P. P. 2005. Evaluación de propiedades físicas y mecánicas de la madera de *Nothofagus glauca* (Hualo) proveniente de la zona de Cauquenes. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad de Talca. Talca, Chile. 179 p.
- Pérez, D. y M. Kanninen. 2002. Heartwood, sapwood bark content and specific gravity of young and mature *Tectona grandis* trees in Costa Rica. Silva Fennica 37(1): 45-54.
- Richter, H. G. y Burger, L. M. 1978. Anatomía de Madeira. 2a.edición. Curitiba: Universidade Federal do Paraná-UFPR. 78 p.

- Ricalde, C. M y Bárcenas, P. G. 1989. Manual para diseño de estructuras de madera: Recursos forestales; características y propiedades de la madera. LACITEMA, Instituto de Ecología, A. C. Xalapa, Ver. 38 p.
- Rico, C., J. E. 1974. Estudio tecnológico de tres especies maderables del trópico americano, *Hura crepitans* L., *Brosimum costarricanum* Liebm., *Ceiba pentandra* (L) Gaertn. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas de la OEA. Departamento de ciencias forestales tropicales. Turrialba, Costa Rica. 118 p.
- Rivero, M., J. G. 2004. Propiedades Físico-Mecánicas de *Gmelina arborea* Roxb. y *Tectona grandis* Linn. F. Cochoamba, Bolivia. 73 p.
- Rojas, R. F., D. Arias A., R. Moya R., A. Meza M., O. Murillo G., M. Arguedas. 2004. Manual para productores de melina *Gmelina arborea* en Costa Rica. Cartago. 314 p.
- Salinas, H., S. 2000. Sistemas de clasificación de las características, propiedades y procesos de transformación primaria de las maderas. Universidad Autonoma de Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, Texcoco, Edo. México. 195 p.
- Sánchez, R., L. A. y J. L. Romero. 2004. Plantations of *Gmelina arborea* in southern Mexico. CAMCORE Cooperative, Grinnells Laboratory, North Carolina State University, New Forest 28: 293–297.
- Sattar, A., S. B. Sarkar, Y. A. Taukdar. 1991. Kiln drying of gamar (*Gmelina arborea*) using varying sticker thicknesses and drying schedules. Bangladesh J. Forest Sci. 20: 1–2.

- Shimoyama, V. R. 1990. Variación de la densidad básica y características anatómicas y químicas de la madera de *Eucaliptos spp.* Piracicaba, ESALQ. 93 p.
- Silva, J. A. 1991. Estimación de volumen do tronco e da copa, densidade básica. Factor de empilhamento de madeira serrada de eucalipto. Dissertação de Mestrado. Viosa, UFV. 93 p.
- Stamm, A. J. y W. K. Loughborough. 1942. Variation in shrinking and swelling of wood. Trans. Am. Soc. Mech. Eng. 64: 379-386.
- Stamm, A. J. 1971. View of nine methods for determining the fiber saturation points of wood and wood products. Wood Science 4(2): 114-128.
- Styles, W. V., E. C. Reyes C., D. A. Garay J. 2005. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Tectona grandis*, de 20 años de edad, proveniente de las plantaciones de la Unidad Experimental de la Reserva Forestal Ticoporo, Estado Barinas. Revista Forestal Venezolana 49(1): 61-73.
- Tang, R. C. y N. D. Smith. 1975. Investigation of anisotropy shrinkage of isolated softwood tracheids with scanning electron microscope. Part I. Longitude shrinkage. Wood Science 8(1): 415-424.
- Tarkow, H. 1979. Wood and moisture. In: Wangaard, F.F. (Ed.), Wood: Its Structure and Properties, Educational Modules for Materials Science and Engineering (EMMSE) Project, Pennsylvania State University, University Park, PA, chap. 4, pp. 101-146.
- Tenorio, C., R. Moya y F. Muñoz. 2011. Comparative study on physical and mechanical properties of laminated veneer lumber and plywood panels made

- of wood from fast-growing *Gmelina arborea* trees. J Wood Sci. The Japan Wood Research Society. 6 p.
- Torrelli, N. 1981. Estudio promocional de 43 especies forestales tropicales mexicanas. Programa de Cooperación Científica y Tecnológica México-Yugoslavia 1980- 1982. SARH. México. D. F. 73p.
- Torres, H. 1971. Maderas. Santiago, Chile. Corporación Chilena de la Madera. 263 p.
- Valero W., Ú., E. C. Reyes C., W. J. León H., D. A. Garay J. s/f. Relación entre anatomía y propiedades físico-mecánicas de la especie *Tectona grandis* proveniente de los llanos occidentales de Venezuela. Laboratorio Nacional de Productos Forestales, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela. 13 p.
- Vargas, A. Z. 2004. Determinación de las propiedades físicas y mecánicas en la madera de *Quercus laeta* de la región del Salto. Durango. Tesis profesional. Instituto Tecnológico Forestal el Salto, Durango. 76 p
- Vera C., G. 2003. Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques en el Sur y Sureste de México. Documentos de Trabajo: Recursos Genéticos Forestales. FGR/61S. Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos Forestales, FAO, Roma. 52 p.
- Vignote S. y F. Jiménez. 1996. Tecnología de la madera. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Madrid, España. 606 p.
- Williams, R. S., M. T. Knaebe y W. C. Feist. 1996. Finishes for exterior wood. Selection, applications, and maintenance. USDA Forest Serv. Forest Prod. Lab., Madison, Wis. 127 p.

- Williams, R. S., C.H. Jourdain, G. I. Daisey y R. W. Springate. 2000. Wood properties affecting finish service life. *Journal of Coatings Technology* 72(902): 35-42.
- Wiedenbeck, J. K., Hofmann, K., Peralta, P. Skaar, C. y P. Koch. 1990. Air permeability, shrinkage and moisture sorption of lodgepole pine stemwood. *Wood and Fiber Science* 22(3): 229- 245.
- Zarate, M., R. P., V. C. Ordoñez C., J. L. Martínez C. 2001. Determinación de algunas propiedades físicas y mecánicas de *Grevillea robusta* A. Cunn. del estado de Veracruz. *Madera y Bosques* 7(1): 57-69.
- Zeaser, D. 1998. Specific gravity of melina trees from selected and unselected populations in the Ston Forestal tree farms, Southwest Pacific Costa Rica. Report 01D98. 9p.
- Zhang, S. Y. 2003. Wood quality attributes and their impacts on wood utilization. Forintek Canadá Corp. Sainte-Foy. Quebec, Canadá. 7 pp.
- Zobel, B. J. 1964. Mejora genética de las propiedades de especies forestales. *Unasylva*. 18(2-3): 89-104.
- Zobel, B. y Talbert, J. 1984. Applied Forest Tree Improvement. En Espinoza, J. A. 2004. Within-tree density gradients in *Gmelina arborea* in Venezuela. Acarigua, Venezuela. *New Forest* 28: 309–317.

10. ANEXOS

Anexo 1. Tabla de resumen del análisis de varianza para el contenido de humedad en equilibrio en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	81.2073247	4.7769015	2.48	0.0093
Error	40	77.1365504	1.9284138		
Total correcto	57	158.3438751			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CHE Media	
0.512854		16.86874	1.388673	8.232230	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	51.01175664	17.00391888	8.82	0.0001
ALT	1	3.14915159	3.14915159	1.63	0.2087
MUE	13	27.04641647	2.08049357	1.08	0.4034

Anexo 2. Tabla de resumen del análisis de varianza para densidad básica en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.01659850	0.00097638	2.75	0.0044
Error	40	0.01422687	0.00035567		
Total correcto	57	0.03082537			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	Db Media	
0.538469		4.284087	0.018859	0.440217	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.00436427	0.00145476	4.09	0.0127
ALT	1	0.00378017	0.00378017	10.63	0.0023
MUE	13	0.00845407	0.00065031	1.83	0.0719

Anexo 3. Tabla de resumen del análisis de varianza para densidad anhidra en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.02103444	0.00123732	2.98	0.0023
Error	40	0.01663352	0.00041584		
Total correcto	57	0.03766797			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	Do Media	
0.558417		4.315575	0.020392	0.472524	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.00478547	0.00159516	3.84	0.0167
ALT	1	0.00621929	0.00621929	14.96	0.0004
MUE	13	0.01002968	0.00077151	1.86	0.0673

Anexo 4. Tabla de resumen del análisis de varianza para densidad al contenido de humedad en equilibrio para probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.02242061	0.00131886	2.94	0.0025
Error	40	0.01794362	0.00044859		
Total correcto	57	0.04036423			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	DCHE Media	
0.555457		4.280310	0.021180	0.494823	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.00500076	0.00166692	3.72	0.0190
ALT	1	0.00580081	0.00580081	12.93	0.0009
MUE	13	0.01161904	0.00089377	1.99	0.0477

Anexo 5. Tabla de resumen del análisis de varianza para densidad en verde para probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.16093532	0.00946678	3.75	0.0003
Error	40	0.10086038	0.00252151		
Total correcto	57	0.26179570			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	Dv Media	
0.614736		4.614887	0.050215	1.088101	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.08633601	0.02877867	11.41	<.0001
ALT	1	0.00319672	0.00319672	1.27	0.2669
MUE	13	0.07140259	0.00549251	2.18	0.0298

Anexo 6. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción tangencial parcial en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	23.39389206	1.37611130	1.47	0.1558
Error	40	37.40967892	0.93524197		
Total correcto	57	60.80357098			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CT Media	
0.384745		24.16345	0.967079	4.002239	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	4.49555877	1.49851959	1.60	0.2040
ALT	1	1.08417436	1.08417436	1.16	0.2881
MUE	13	17.81415893	1.37031992	1.47	0.1736

Anexo 7. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción radial parcial en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	8.76527324	0.51560431	1.76	0.0714
Error	40	11.72987188	0.29324680		
Total correcto	57	20.49514512			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CR Media	
0.427676		24.64250	0.541523	2.197515	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	1.35654028	0.45218009	1.54	0.2185
ALT	1	0.80204604	0.80204604	2.74	0.1060
MUE	13	6.60668692	0.50820669	1.73	0.0911

Anexo 8. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción longitudinal parcial en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.65364460	0.03844968	1.39	0.1939
Error	40	1.10855677	0.02771392		
Total correcto	57	1.76220137			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CL Media	
0.370925		43.88821	0.166475	0.379316	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.10530806	0.03510269	1.27	0.2988
ALT	1	0.06597567	0.06597567	2.38	0.1307
MUE	13	0.48236086	0.03710468	1.34	0.2322

Anexo 9. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción volumétrica parcial en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	43.34267005	2.54956883	1.92	0.0454
Error	40	53.12668390	1.32816710		
Total correcto	57	96.46935395			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	Cvp Media	
0.449290		31.06887	1.152461	3.709376	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	12.04083899	4.01361300	3.02	0.0407
ALT	1	8.80130812	8.80130812	6.63	0.0139
MUE	13	22.50052294	1.73080946	1.30	0.2515

Anexo 10. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción tangencial total en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	13.29307012	0.78194530	1.58	0.1161
Error	40	19.77855952	0.49446399		
Total correcto	57	33.07162965			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CTT Media	
0.401948		12.08339	0.703181	5.819405	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	1.15676024	0.38558675	0.78	0.5122
ALT	1	1.68443876	1.68443876	3.41	0.0723
MUE	13	10.45187112	0.80399009	1.63	0.1183

Anexo 11. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción radial total en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	6.06478901	0.35675229	1.55	0.1250
Error	40	9.18244633	0.22956116		
Total correcto	57	15.24723534			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CTR Media	
0.397763		14.72398	0.479125	3.254048	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.10204485	0.03401495	0.15	0.9303
ALT	1	0.32281798	0.32281798	1.41	0.2427
MUE	13	5.63992619	0.43384048	1.89	0.0617

Anexo 12. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción longitudinal total en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.60377873	0.03551640	0.88	0.6011
Error	40	1.61788836	0.04044721		
Total correcto	57	2.22166709			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CTL Media	
0.271768		30.13002	0.201115	0.667490	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.06722534	0.02240845	0.55	0.6484
ALT	1	0.19007569	0.19007569	4.70	0.0362
MUE	13	0.34647770	0.02665213	0.66	0.7892

Anexo 13. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción volumétrica total en probetas de 2 x 2 x 2 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	50.08487650	2.94616921	2.88	0.0030
Error	40	40.86359939	1.02158998		
Total correcto	57	90.94847589			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CVT Media	
0.550695		14.81974	1.010737	6.820209	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	31.55213654	10.51737885	10.30	<.0001
ALT	1	7.14945622	7.14945622	7.00	0.0116
MUE	13	11.38328374	0.87563721	0.86	0.6011

Anexo 14. Tabla de resumen del análisis de varianza para el contenido de humedad en equilibrio en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	81.2073247	4.7769015	2.48	0.0093
Error	40	77.1365504	1.9284138		
Total correcto	57	158.3438751			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CHE Media	
0.512854		16.86874	1.388673	8.232230	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	51.01175664	17.00391888	8.82	0.0001
ALT	1	3.14915159	3.14915159	1.63	0.2087
MUE	13	27.04641647	2.08049357	1.08	0.4034

Anexo 15. Tabla de resumen del análisis de varianza para densidad básica en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.01659850	0.00097638	2.75	0.0044
Error	40	0.01422687	0.00035567		
Total correcto	57	0.03082537			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	Db Media	
0.538469		4.284087	0.018859	0.440217	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.00436427	0.00145476	4.09	0.0127
ALT	1	0.00378017	0.00378017	10.63	0.0023
MUE	13	0.00845407	0.00065031	1.83	0.0719

Anexo 16. Tabla de resumen del análisis de varianza para densidad anhidra en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.02103444	0.00123732	2.98	0.0023
Error	40	0.01663352	0.00041584		
Total correcto	57	0.03766797			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	Do Media	
0.558417		4.315575	0.020392	0.472524	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.00478547	0.00159516	3.84	0.0167
ALT	1	0.00621929	0.00621929	14.96	0.0004
MUE	13	0.01002968	0.00077151	1.86	0.0673

Anexo 17. Tabla de resumen del análisis de varianza para densidad al contenido de humedad en equilibrio para probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.02242061	0.00131886	2.94	0.0025
Error	40	0.01794362	0.00044859		
Total correcto	57	0.04036423			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	DCHE Media	
0.555457		4.280310	0.021180	0.494823	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.00500076	0.00166692	3.72	0.0190
ALT	1	0.00580081	0.00580081	12.93	0.0009
MUE	13	0.01161904	0.00089377	1.99	0.0477

Anexo 18. Tabla de resumen del análisis de varianza para densidad en verde para probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.16093532	0.00946678	3.75	0.0003
Error	40	0.10086038	0.00252151		
Total correcto	57	0.26179570			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	Dv Media	
0.614736		4.614887	0.050215	1.088101	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.08633601	0.02877867	11.41	<.0001
ALT	1	0.00319672	0.00319672	1.27	0.2669
MUE	13	0.07140259	0.00549251	2.18	0.0298

Anexo 19. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción tangencial parcial en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	23.39389206	1.37611130	1.47	0.1558
Error	40	37.40967892	0.93524197		
Total correcto	57	60.80357098			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CT Media	
0.384745		24.16345	0.967079	4.002239	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	4.49555877	1.49851959	1.60	0.2040
ALT	1	1.08417436	1.08417436	1.16	0.2881
MUE	13	17.81415893	1.37031992	1.47	0.1736

Anexo 20. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción radial parcial en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	8.76527324	0.51560431	1.76	0.0714
Error	40	11.72987188	0.29324680		
Total correcto	57	20.49514512			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CR Media	
0.427676		24.64250	0.541523	2.197515	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	1.35654028	0.45218009	1.54	0.2185
ALT	1	0.80204604	0.80204604	2.74	0.1060
MUE	13	6.60668692	0.50820669	1.73	0.0911

Anexo 21. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción longitudinal parcial en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.65364460	0.03844968	1.39	0.1939
Error	40	1.10855677	0.02771392		
Total correcto	57	1.76220137			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CL Media	
0.370925		43.88821	0.166475	0.379316	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.10530806	0.03510269	1.27	0.2988
ALT	1	0.06597567	0.06597567	2.38	0.1307
MUE	13	0.48236086	0.03710468	1.34	0.2322

Anexo 22. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción volumétrica parcial en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	43.34267005	2.54956883	1.92	0.0454
Error	40	53.12668390	1.32816710		
Total correcto	57	96.46935395			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	Cvp Media	
0.449290		31.06887	1.152461	3.709376	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	12.04083899	4.01361300	3.02	0.0407
ALT	1	8.80130812	8.80130812	6.63	0.0139
MUE	13	22.50052294	1.73080946	1.30	0.2515

Anexo 23. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción tangencial total en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	13.29307012	0.78194530	1.58	0.1161
Error	40	19.77855952	0.49446399		
Total correcto	57	33.07162965			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CTT Media	
0.401948		12.08339	0.703181	5.819405	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	1.15676024	0.38558675	0.78	0.5122
ALT	1	1.68443876	1.68443876	3.41	0.0723
MUE	13	10.45187112	0.80399009	1.63	0.1183

Anexo 24. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción radial total en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	6.06478901	0.35675229	1.55	0.1250
Error	40	9.18244633	0.22956116		
Total correcto	57	15.24723534			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CTR Media	
0.397763		14.72398	0.479125	3.254048	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.10204485	0.03401495	0.15	0.9303
ALT	1	0.32281798	0.32281798	1.41	0.2427
MUE	13	5.63992619	0.43384048	1.89	0.0617

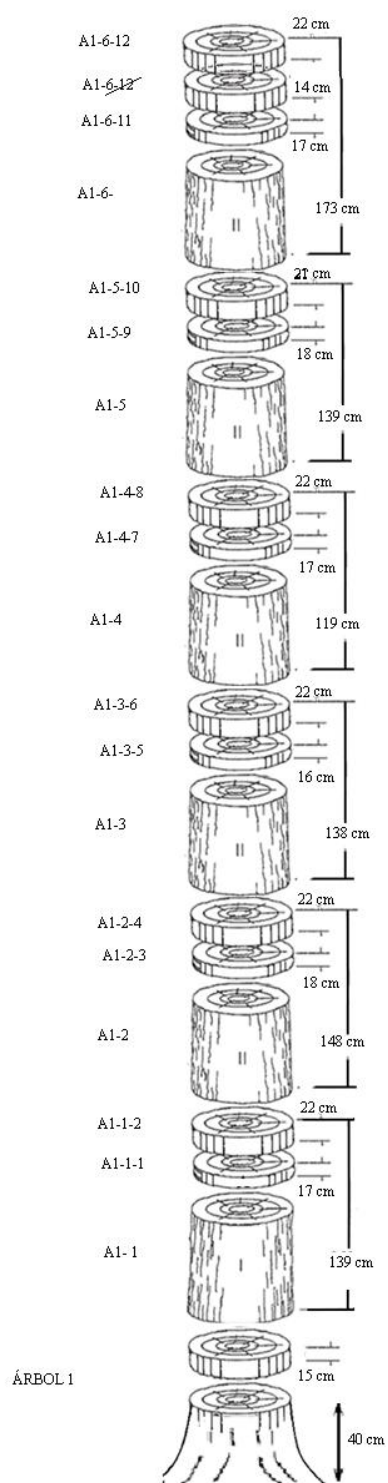
Anexo 25. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción longitudinal total en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	0.60377873	0.03551640	0.88	0.6011
Error	40	1.61788836	0.04044721		
Total correcto	57	2.22166709			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CTL Media	
0.271768		30.13002	0.201115	0.667490	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	0.06722534	0.02240845	0.55	0.6484
ALT	1	0.19007569	0.19007569	4.70	0.0362
MUE	13	0.34647770	0.02665213	0.66	0.7892

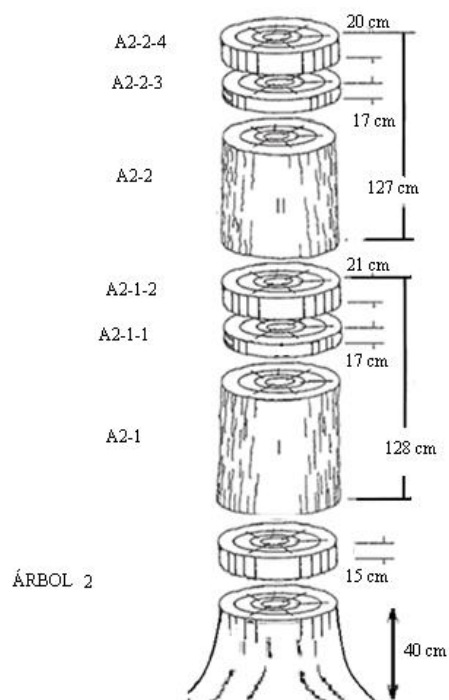
Anexo 26. Tabla de resumen del análisis de varianza para contracción volumétrica total en probetas de 5 x 5 x 10 cm.

Fuente	DF	Suma de cuadrados	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
Modelo	17	50.08487650	2.94616921	2.88	0.0030
Error	40	40.86359939	1.02158998		
Total correcto	57	90.94847589			
R-cuadrado		Coef Var	Raíz MSE	CVT Media	
0.550695		14.81974	1.010737	6.820209	
Fuente	DF	Tipo I SS	Cuadrado de la media	F-Valor	Pr > F
ARB	3	31.55213654	10.51737885	10.30	<.0001
ALT	1	7.14945622	7.14945622	7.00	0.0116
MUE	13	11.38328374	0.87563721	0.86	0.6011

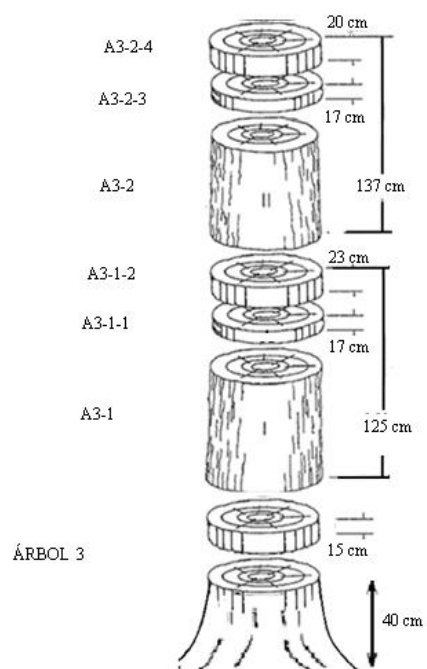
Anexo 27. Patrón de corte del árbol 1.



Anexo 28. Patrón de corte del árbol 2.



Anexo 29. Patrón de corte del árbol 3.



Anexo 30. Patrón de corte del árbol 4.

