

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS DE GRADUACIÓN

**DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES GENERALES,  
FÍSICAS Y DE COLOR PARA 20 CLONES DE *Tectona  
grandis* EN LA ZONA DE PEÑAS BLANCAS GUANACASTE,  
COSTA RICA**

**NATALIA ARCE HERNÁNDEZ**

**CARTAGO, COSTA RICA**

**2013**



Instituto Tecnológico de Costa Rica



**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL**

**TESIS DE GRADUACIÓN**

**DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES GENERALES,  
FÍSICAS Y DE COLOR PARA 20 CLONES DE *Tectona  
grandis* EN LA ZONA DE PEÑAS BLANCAS GUANACASTE,  
COSTA RICA**

**NATALIA ARCE HERNÁNDEZ**

**CARTAGO, COSTA RICA**

**2013**

# **Determinación de propiedades generales, físicas y de color para 20 clones de *Tectona grandis* en la zona de Peñas Blancas, Guanacaste, Costa Rica**

## **Resumen**

La *Tectona grandis* es una madera muy importante en el mercado debido a sus excelentes características de trabajabilidad, durabilidad y estéticas. Por ello, se busca mejorar las condiciones de reproducción y desarrollo en plantaciones comerciales utilizando clones, con el fin de producir árboles con madera de mejor calidad. En el presente estudio se analizaron las propiedades generales, físicas y de color de 20 clones de teca de 15 años de edad provenientes de la zona de Guanacaste Costa Rica. Encontrándose que los clones a la edad de 15 años presentan un diámetro que varía de 19,82 cm a 30,13 cm, el porcentaje de duramen de 49,76 a 60,02 %, ambos valores son similares a los encontrados en la literatura. En relación a las propiedades físicas se encontró que el peso específico básico varió entre 0,45 y 0,60, el contenido de humedad verde de 70% a 110,6%. En relación al color se encontró que los valores de L\* variaron de 48 a 59, a\* de 7 a 9,5 y b\* de 20,5 a 26,3. Así mismo se determinó que el cambio de color ( $\Delta E$ ) con respecto al color de la madera comúnmente comercializada es catalogado como perceptible en todos los clones estudiados. Sin embargo, los clones 101, 110 y TE presentaron un color de madera más oscuro y rojizo lo que indica que presentaron un color más deseable para el usuario final. Finalmente existió una alta variabilidad para las diferentes características para todas las propiedades y que no son señalados en edades más tempranas.

**Palabras claves:** *Tectona grandis*, Clones, Propiedades generales, Propiedades físicas, Color.

# **Determination of the general, physical, and color properties for 20 clones of *Tectona grandis* in the Peñas Blancas area, Guanacaste, Costa Rica.**

## **Abstract**

*Tectona grandis* is an important wood in the commercial market due to its excellent workability, durability and aesthetic characteristics. Therefore, it is important to improve the conditions of reproduction and development in commercial plantations using clones, in order to produce trees with better wood quality. In this study it was analyzed the general properties, physical properties and color of 20 fifteen-year-old teak clones from the area of Guanacaste, Costa Rica. It was found that at 15 years, the clones have a diameter which varied from 19.82 cm to 30.13 cm, the percentage of heartwood goes from 49.76 to 60.02%, and that these values are similar to those found in the literature. In regards to the physical properties, it was found that the specific gravity ranges from 0.45 to 0.60 g/cm<sup>3</sup>, the green moisture content varied from 70% to 110.6%. In the color properties, it was found that L\* values ranged from 48 to 59, a\* from 7 to 9.5 and b \* from 20.5 to 26.3. Likewise it was determined that the color change ( $\Delta E$ ) compared to commercial wood color, is commonly categorized as perceptible in all clones. However, the clones 101, 110 y TE had a darker color and reddish wood which indicates a color more desirable to the end user. Finally there was a high variability for the different characteristics for all properties, which are not as marked in younger trees.

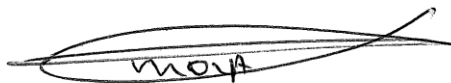
**Key words:** *Tectona grandis*, Clones, General properties, Physical properties, Color.

Arce, N. 2013. Determinación de propiedades generales, físicas y de color para 20 clones de *Tectona grandis* en la zona de Peñas Blancas Guanacaste, Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 44p.

Esta Tesis de graduación ha sido aceptada por el Tribunal Evaluador de la Escuela de Ingeniería Forestal del Instituto Tecnológico de Costa Rica y aprobada por el mismo como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura.

**DETERMINACIÓN DE PROPIEDADES GENERALES, FÍSICAS Y DE COLOR PARA 20 CLONES DE *Tectona grandis* EN LA ZONA DE PEÑAS BLANCAS GUANACASTE, COSTA RICA**

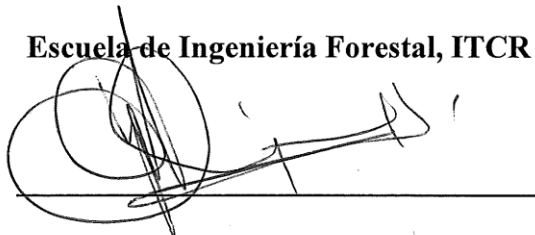
**Miembros del Tribunal Evaluador**



**Róger Alonso Moya Roque, Ph.D.**

**Director de Tesis**

**Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR**



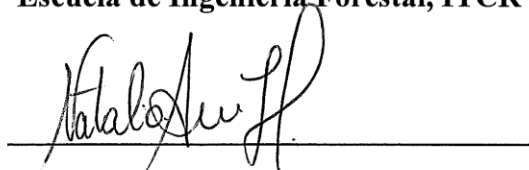
**Ing. Mario Espinoza Pizarro**

**Representante de Maderas Preciosas de Costa Rica**



**Alexander Berrocal Jimenez, Ph.D.**

**Escuela de Ingeniería Forestal, ITCR**



**Ing. Natalia Arce Hernández**

**Estudiante**

## **Dedicatoria**

*A mi abuelo que siempre será mi inspiración.*

*A mis padres que son mi fortaleza.*

## **Agradecimientos**

Primero que todo al profesor Roger Moya, con su paciencia y conocimiento fue un gran guía y compañero en todo este proceso. No lo hubiera logrado sin él.

A la empresa Maderas Preciosas por aportar el material para la realización de esta investigación en especial al Ingeniero Mario Espinoza Pizarro por la colaboración.

A Alexander Berrocal por su colaboración y aportes.

Al todo personal del CIIBI por el apoyo, especialmente a Carolina Tenorio y Carlos Olivares.

A mi familia, amigos y amigas que estuvieron pendientes de todo el proceso.

A mi jefa Lucrecia Guillén por el apoyo que me brindó durante todo el proceso.

Al negro, M.S. de alguna manera siempre está conmigo.

A la escuela de Ingeniería Forestal.

# Índice General

Resumen .....	i
Abstract.....	ii
Dedicatoria.....	iv
Agradecimientos .....	v
Índice General.....	vi
Índice de figuras .....	vii
Índice de cuadros .....	viii
Introducción.....	9
Materiales y Métodos .....	12
Descripción del sitio.....	12
Condiciones de la plantación.....	12
Muestreo.....	12
Determinación de propiedades generales.....	13
Determinación de propiedades físicas.....	13
Determinación de color de la madera y determinación $\Delta E^*$ .....	14
Análisis estadístico.....	16
Resultados.....	17
1. Características generales .....	17
2. Propiedades físicas .....	20
3. Color de la madera .....	24
Discusión .....	30
1. Propiedades generales .....	30
2. Propiedades físicas .....	33
3. Color de la madera .....	36
Conclusiones.....	38
Bibliografía.....	40



## Índice de figuras

**Figura 2.** Peso específico básico (a), Contenido de humedad verde (b) y densidad verde (c) para clones de *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste. .... 21

**Figura 3.** Contracción volumétrica (a) Contracción tangencial (b), contracción radial (c), y razón de contracción (d) para clones de *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste. .... 23

**Figura 4.** Parámetros de color para clones de *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste. L\* (luminosidad) a\* (rojo) c\* (amarillo) ..... 25

**Figura 5.** Valores de cambio de color respecto al patrón a diferentes distancias, Cerca de la albura (a), al medio (b) y cerca de la medula (c) *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste. .... 28

## Índice de cuadros

<b>Cuadro 1.</b> Propiedades generales para clones de <i>Tectona grandis</i> , tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste. ....	19
<b>Cuadro 2.</b> Coeficiente de variación para las propiedades físicas para clones de <i>Tectona grandis</i> , plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste. ....	24
<b>Cuadro 3.</b> Coeficiente de variación para Parámetros de color para clones de <i>Tectona grandis</i> , tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste. L* (luminosidad) a* (rojo) c* (amarillo).....	26
<b>Cuadro 4.</b> Diferencia de color en diferentes distancias del duramen para clones de <i>Tectona grandis</i> , tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste. ....	29

## Introducción

La teca (*Tectona grandis*) se ha convertido en una de las maderas más importantes en el mercado debido a sus cualidades físicas, mecánicas y estéticas (Pandey y Brown 2001). Su facilidad de manejo silvicultural (Pandey y Brown 2001, Kjaer *et al.* 1999, Pérez y Kanninen 2005), sus excelentes propiedades de trabajabilidad, calidad, de durabilidad (Tewari 1999) y su color tan apetecido, ha permitido que en la actualidad que esta sea una de las especies tropicales de plantación más importantes en el mercado (Pandey y Brown 2001, Goh y Monteuis 2005).

Un aspecto que se ha observado en la reforestación con teca es que cada vez más resulta atractivo utilizar clones con el fin de obtener mayores ganancias en menor tiempo, obteniendo mayor volumen y calidad de la madera. Es por ello que es importante poner énfasis en la selección de los clones, así como en la evaluación, no solo silvicultural si no de la calidad de la madera, para asegurar un adecuado material genético y así garantizar los parámetros necesarios para el mercado actual (Goh *et al.* 2007).

La reproducción de material vegetal a través de la clonación permite copiar las condiciones óptimas de un individuo hacia otro (Monteuuis y Goh 1999, Monteuis y Maitre 2006). No obstante existe una variabilidad significativa en ciertas características de importancia económica, tales como el crecimiento, la forma y algunas propiedades tecnológicas y estéticas de la madera (Monteuuis y Maitre 2006, Monteuis y Goh 1999). Maderas Preciosas es una de las empresas pioneras en el desarrollo de programas de mejoramiento genético con clones de teca, en la zona del pacífico seco (Guacanaste) de Costa Rica (Schmincke 2000)

Por otra parte, algunas investigaciones relacionadas al mejoramiento genético de *T. grandis* se orientan al estudio de la forma y características del árbol. Algunos de estos estudios han demostrado que existe una heredabilidad en el diámetro, la altura del árbol y su periodo de floración (Callister y Collins 2008). Al respecto varios autores (Goh y Monteuuis 2005, Monteuuis y Maitre 2006, Goh *et al.* 2007) mencionan que estos parámetros fenotípicos y otras características del árbol como rectitud e inserción de las ramas son los principales parámetros utilizados en la selección de individuos propicios para la clonación; sin embargo la clonación debe ser refinada con el análisis de las características de la madera. Situación que hasta el momento ha sido poco evaluada.

Algunas investigaciones intentan incorporar algunos conceptos de la calidad de la madera, tales como la heredabilidad del duramen, espesor de la corteza del duramen y contenido de calcio y sílice, elementos anatómicos, durabilidad de la madera y densidad de la madera (Rudman y Da Costa 1959, Kjær *et al.* 1999, Varghese *et al.* 2000). Sin embargo, todos estos estudios se basan principalmente en ensayos de procedencias y no están relacionados a la clonación de la *T. grandis*. Más recientemente Moya y Marín (2011) y Solorzano *et al.* (2012a y 2012b), han estudiado el efecto de la clonación de árboles en las propiedades de la madera en edades tempranas.

En general la madera de *T. grandis* es conocida por su buena estabilidad dimensional (contracciones), su durabilidad natural en el duramen (USDA 1999), las cualidades estéticas (Vetter *et al.* 1990, Mazet y Janin 1990) y otras características particulares relacionadas al peso específico y propiedades tecnológicas (Baillères y Durand 2000). En la actualidad el color de la madera es considerada un atributo importante en la fase de comercialización de madera proveniente de plantaciones (Vetter *et al.* 1990, Mazet y Janin 1990, Thulasidas *et al.* 2006). Otras propiedades de la madera, tales como las contracciones, densidad, su durabilidad y su resistencia mecánica han recibido gran interés en el mejoramiento y clonación de la especie (Solórzano *et al.* 2012a).

Se debe resaltar que para obtener una buena calidad de la madera es importante no solo la calidad del material genético sino la calidad del sitio donde se establecen las plantaciones forestales. La adecuada elección de estas dos características (material genético y calidad de sitio), unida con un buen manejo silvicultural son las bases para el éxito productivo y económico de una plantación forestal (Martínez 2005)

Por estas razones el objetivo del presente estudio es determinar las propiedades generales (diámetro, duramen, corteza y medula), físicas (peso específico, densidad verde, contracciones tangenciales, radiales y volumétricas) y características de color medidas por el sistema de color CIELab de 20 clones de *Tectona grandis*. Así mismo determinar la variabilidad de estas características dentro de cada clon.

## **Materiales y Métodos**

### **Descripción del sitio**

La plantación de donde provienen los clones de teca de este estudio está ubicada en Peñas Blancas, que pertenece al cantón de La Cruz Guanacaste. Este lugar tiene un promedio de lluvia anual de 1745 mm, temperatura promedio de 27°C y una estación seca de aproximadamente 5 meses. La textura del suelo es de textura franco arcilloso, moderadamente ácido (PH 5-6) es moderadamente fértil y contenido de materia orgánica moderada, terreno plano con pendiente de menos de 3% (Moya y Marín. 2011)

### **Condiciones de la plantación**

La edad de la plantación era de 15 años en el momento del muestreo, el cual corresponde a un tercer raleo comercial. El ensayo de cada sitio originalmente consistía de 56 clones plantados en cinco bloques, dentro de los cuales se disponía de cuatro individuos de cada clon distribuidos aleatoriamente dentro del bloque, lo que significa una totalidad de 224 árboles por bloque con espaciamiento de 3 x 3 m entre árboles. El momento del estudio fue solamente posible completar el muestreo en 20 clones ya que eran los únicos que tenían al menos tres individuos por clon. Así mismo en dichos ensayos fue aplicado un raleo de aproximadamente 25% a la edad de 5 años y otro raleo de aproximadamente 25% a la edad de 9 años.

### **Muestreo**

Para la selección de los árboles a muestrear, de cada uno de los clones fue seleccionado 1 árbol de los 3 primeros bloques, del sitio Peñas Blancas (3 árboles en total por cada clon). Estos árboles están libres de torceduras, sin daños por hongos e insectos. En la trozas fue cortado una sección diametral de 3 cm en dirección norte - sur (Figura 1).

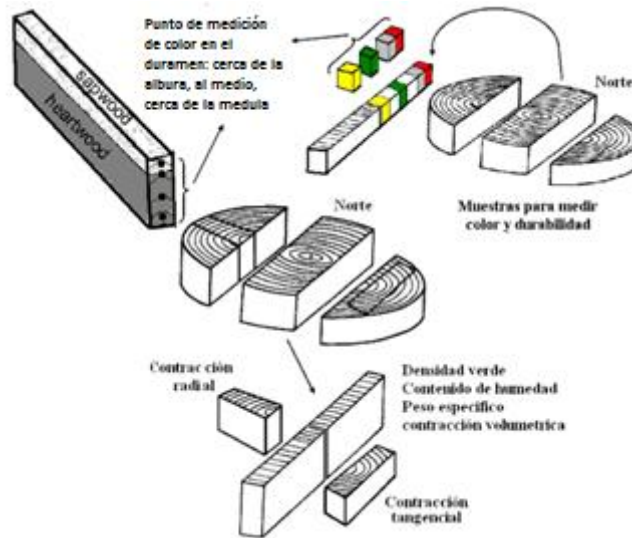
### **Determinación de propiedades generales.**

De los clones elegidos, estos fueron cortados del tercer raleo comercial del ensayo de clones de la empresa Maderas preciosas de Costa Rica. Se obtuvo de cada árbol un disco de 3 cm de espesor a 2,2 metros de altura desde la base del suelo (primera troza). Al mismo se le midió diámetro total, diámetro sin corteza, diámetro de duramen y los cuatro radios a la medula, para calcular excentricidad de la medula.

### **Determinación de propiedades físicas**

Para determinar las propiedades físicas se cortó un bloque a lo largo del centro del disco. Cada una de estas piezas se cortó a la mitad para dividir las en subpiezas para la determinación del peso específico, la densidad verde y el contenido de humedad. Además se cortaron dos piezas de la periferia del disco, una pieza con norma ASTM, Vol. 04-09, designación D-143 (ASTM, 1986).

Se realizó el análisis de las propiedades físicas de la madera: contracción radial (20 muestras, una por clon), tangencial (20 muestras, una por clon) y volumétrica total (40 muestras, dos por clon), densidad en condición verde (40 muestras, dos por clon), contenido de humedad en verde (40 muestras, dos por clon) y el peso específico básico (40 muestras, dos por clon). Se utilizó el patrón mostrado la figura 1 para obtener las muestras a medir. Se determinó el peso y el volumen de las muestras en condición verde y posteriormente se secaron las muestras en el horno a una temperatura de 105 °C por 24 horas para determinar el peso y volumen en condiciones secas, estas medidas se realizaron de acuerdo a la norma de acuerdo con la norma D-2395-02. Los valores de peso y volumen verde y seco al horno fue utilizado para calcular la densidad verde, contracción volumétrica total, contenido de humedad y peso específico.



**Figura 1.** Diseño del muestreo para la determinación de las propiedades de la madera

### **Determinación de color de la madera y determinación $\Delta E^*$**

En la determinación del color de la madera se utilizó un disco tomado al diámetro a 2,2 m y se extrajo una sección diametral de 3 cm de ancho (Figura 1). Posteriormente se cortó un bloque de 2 x 2 x 2 cm en diferentes distancias: cerca de la medula, al medio y cerca de la albura. Un total de 480 muestras (8 muestras por disco x 3 repeticiones x 20 clones) fueron extraídos de los árboles muestreados. El color de la madera fue medido en una cara tangencial del bloque siguiendo la norma ISO 7724/1-1984 y ISO 7724/2-1984. Para este estudio se utilizó el espectrofotómetro marca miniSkan XE Plus de HunterLab. Las mediciones se realizaron a temperatura ambiente y para los datos de color se usó el sistema cromatológico estandarizado CIEL\*a\*b\*. El rango de esta medida es de 400 a 700 nm, con una apertura en el punto de medición de 13 mm. Para la observación de la reflexión fue incluido el componente especular (SCI mode), en un ángulo de 10° la cual es lo normal de la superficie del espécimen (D65/10); un campo de visión de 2° (Observador estándar, CIE 1931) y un estándar de iluminación D65 (Correspondiente a Luz del día en 6500 K).



Keyy (2005) indica que la diferencia entre dos muestras de madera medidos por el sistema CIE Lab, puede ser expresada como un índice denominado  $\Delta E^*$ , el cual establece la diferencia entre dos puntos en las coordenadas del sistema de color y es calculada por la suma de la diferencia cuadrática de cada una de las coordenadas (Ecuación 1). En el presente trabajo se consideró importante calcular en la madera de duramen el valor de  $\Delta E^*$  para evaluar la calidad del color de los clones estudiados. Para ello se tomó como referencia o patrón un color del duramen de *T. grandis* de 2 tablas procedentes de un individuo de bosque natural en Myanmar que fue donado por la empresa Cabo Rico S.A. (<http://www.caborico.com/>) que utiliza la madera procedente de este país en la cubierta de los botes que fabrica. A esta tabla se le midió su color con las condiciones y parámetros de los árboles muestreados. Los valores  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  fueron promediados para este patrón y seguidamente se obtuvo  $\Delta E^*$  (ISO 7424/3) obtenido a través de la fórmula 1. Los valores del patrón para  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  son 44,94, 12,44 y 24,26 respectivamente.

**Ecuación 1:**

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Donde:  $\Delta L^* = \Delta L^*M - \Delta L^*P$

$$\Delta a^* = \Delta a^*M - \Delta a^*P$$

$$\Delta b^* = \Delta b^*M - \Delta b^*P$$

M = valor de coordenada de color de la muestra

P = valor de coordenada de color del patrón

## **Análisis estadístico**

Para las propiedades de la madera evaluadas en cada clon se estimó la media y posteriormente el coeficiente de variación (desviación estándar\*100/promedio), con el fin de establecer si el clon presenta estabilidad en la propiedad evaluada. Posteriormente se realizó un análisis de varianza, para ello primeramente fue verificada la normalidad de los datos y la homogeneidad. El análisis de varianza de las propiedades de la madera fue establecido el modelo detallado en la Ecuación 2. Se utilizó el programa SAS (SAS Institute Inc) para llevar a cabo el análisis estadístico. La significación estadística se fijó en  $p < 0,05$ . La diferencia entre las medias de los clones se estableció por la prueba de Tukey a una significancia de 99%.

$$Y_i = \mu + c_i + e_i \quad (1)$$

donde :  $Y_i$  es la observación de cada propiedad de la madera del árbol de  $i$ ,  $\mu$  es la media general,  $c$  es el efecto aleatorio del clon, y  $e_i$  es el efecto aleatorio residual.

# Resultados

## 1. Características generales

En el cuadro 1 se presentan los promedios para cada uno de los clones analizados de teca. Los valores promedio de diámetro varían desde 19,82 cm hasta 30,13 cm, el valor más alto corresponde al clon 100 y el valor más bajo es de los clones 46 y TE. Estadísticamente el clon 100 es igual a los clones 75, 83, 104, 117, C18 y 153, mientras que para el valor más bajo este solamente presenta diferencias estadísticas con los clones 100, 104 y C18. En relación con el espesor de albura, se tiene que este varía de 1,7 cm a 2,75 cm, el valor más bajo corresponde al clon 46 y solamente presenta diferencias significativas para los clones 83, 100, 151, 153, C18 y C7, el valor más alto es del clon C18 con un valor de 2,75 y presenta únicamente diferencias estadísticas con el clon 46.

El diámetro del duramen presenta un rango de 14,47 cm para el clon TE hasta 23.92 cm para el clon 100. Para el valor de diámetro de duramen estadísticamente el clon 100 presenta un valor estadísticamente igual a los clones 83, 104, 117 y C18, mientras que el clon TE es estadísticamente igual al resto de los clones excepto para los clones 100, 104 y 117. Al analizar esta parte del árbol por el porcentaje de duramen los valores varían de 49,76 a 60,02%. El valor más bajo corresponde al clon 151, sin embargo este valor es solamente estadísticamente diferente a los clones 100, 104, 46 y 117. Mientras que el valor más alto corresponde al clon 100 que es solamente diferente de los clones 110, 153 y TE.

En el análisis de la corteza, se tiene que el espesor varía desde 4,42 cm para el clon 46 hasta 6,67 cm para el clon 101. Estadísticamente el clon 101 es diferente a los clones 46, 75, 100, 117, 153 y C18, mientras que el clon 46 es diferente únicamente del clon 101. En el porcentaje de corteza se tiene que esta varía desde 6,23% hasta 12,30%, presentando el clon 100 el valor más bajo y el clon 101 el valor más alto. En el caso del clon 100 solamente presenta diferencia con el 101, 102 y TE. Por su parte en el análisis de la médula, el diámetro de este tejido varió de 0,53 y 1,27 cm para los clones 151 y 100 respectivamente. El clon 151 presenta diferencias significativas con los clones 100 y 117 y el clon 100 no presenta diferencias significativas con los clones 47, 62, 83, 100, 104, 117, 153 y P1. En el porcentaje de excentricidad de la medula la variación fue de 3,42% para el clon 83 hasta 15,66% para el clon 100, este presenta diferencias significativas con los clones 47, 62, 74, 75, 83, 153, C18 y P1.

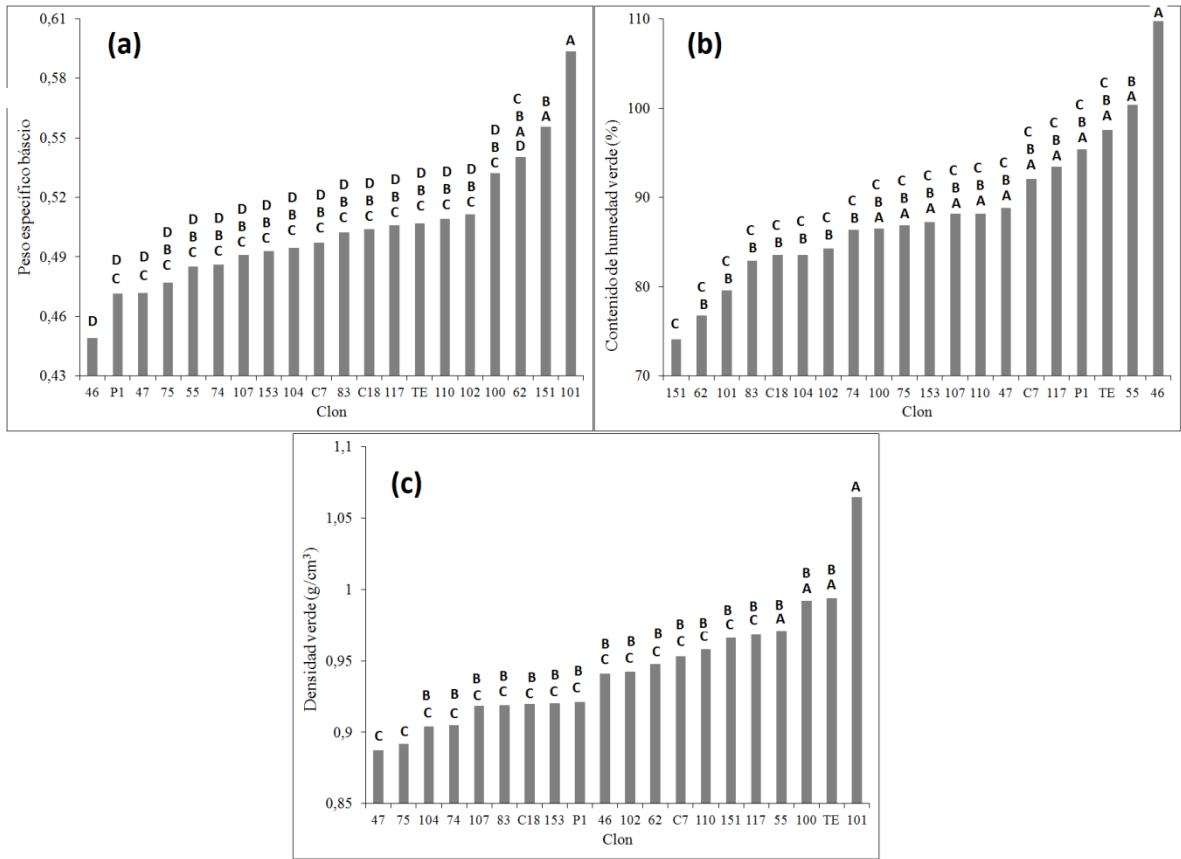
**Cuadro 1.** Propiedades generales para clones de *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste.

Clon	Diámetro (cm)	Espesor de albura (cm)	Duramen		Corteza		Médula		Excentricidad (%)
			Diámetro (cm)	Porcentaje	Espesor (mm)	Porcentaje	Diámetro (cm)	Porcentaje	
46	19,82 (23,01) <sup>D</sup>	1,74 (43,83) <sup>B</sup>	15,45 (19,13) <sup>C,D</sup>	61,65 <sup>A,B</sup>	4,42 (22,88) <sup>B</sup>	8,86 <sup>B,C</sup>	0,63 (9,12) <sup>C</sup>	0,11 <sup>A,B</sup>	7,11 <sup>A,B,C</sup>
47	22,33 (9,26) <sup>B,C,D</sup>	2,23 (10,11) <sup>A,B</sup>	16,75 (13,80) <sup>B,C,D</sup>	56,01 <sup>A,B,C</sup>	5,67 (15,49) <sup>A,B</sup>	9,86 <sup>A,B</sup>	0,90 (19,25) <sup>A,B,C</sup>	0,16 <sup>A,B</sup>	3,94 <sup>C</sup>
55	22,08 (11,00) <sup>B,C,D</sup>	2,08 (17,49) <sup>A,B</sup>	16,88 (12,14) <sup>B,C,D</sup>	58,46 <sup>A,B,C</sup>	5,17 (5,59) <sup>A,B</sup>	9,18 <sup>A,B,C</sup>	0,60 (33,33) <sup>C</sup>	0,08 <sup>B</sup>	10,65 <sup>A,B,C</sup>
62	22,58 (10,64) <sup>B,C,D</sup>	2,29 (27,86) <sup>A,B</sup>	16,87 (8,80) <sup>B,C,D</sup>	56,06 <sup>A,B,C</sup>	5,67 (17,83) <sup>A,B</sup>	9,88 <sup>A,B</sup>	0,83 (18,33) <sup>A,B,C</sup>	0,14 <sup>A,B</sup>	3,82 <sup>C</sup>
74	21,10 (20,74) <sup>C,D</sup>	2,23 (5,95) <sup>A,B</sup>	15,65 (25,93) <sup>C,D</sup>	54,35 <sup>A,B,C</sup>	5,00 (25,00) <sup>A,B</sup>	9,31 <sup>A,B,C</sup>	0,53 (28,64) <sup>C</sup>	0,07 <sup>B</sup>	5,47 <sup>C</sup>
75	24,47 (12,57) <sup>A,B,C,D</sup>	2,38 (13,68) <sup>A,B</sup>	18,75 (15,64) <sup>B,C,D</sup>	58,58 <sup>A,B,C</sup>	4,83 (11,95) <sup>B</sup>	7,83 <sup>B,C</sup>	0,70 (24,74) <sup>B,C</sup>	0,08 <sup>A,B</sup>	5,45 <sup>C</sup>
83	25,78 (7,48) <sup>A,B,C,D</sup>	2,68 (20,29) <sup>A</sup>	19,23 (7,69) <sup>A,B,C,D</sup>	55,74 <sup>A,B,C</sup>	5,92 (12,20) <sup>A,B</sup>	9,02 <sup>A,B,C</sup>	0,93 (43,30) <sup>A,B,C</sup>	0,15 <sup>A,B</sup>	3,42 <sup>C</sup>
100	30,13 (4,56) <sup>A</sup>	2,63 (9,51) <sup>A</sup>	23,92 (4,35) <sup>A</sup>	63,02 <sup>A</sup>	4,75 (27,35) <sup>B</sup>	6,23 <sup>C</sup>	1,27 (19,87) <sup>A</sup>	0,19 <sup>A,B</sup>	15,66 <sup>A</sup>
101	21,80 (19,30) <sup>B,C,D</sup>	2,07 (22,05) <sup>A,B</sup>	16,33 (20,20) <sup>C,D</sup>	56,00 <sup>A,B,C</sup>	6,67 (28,15) <sup>A</sup>	12,13 <sup>A</sup>	0,67 (22,91) <sup>B,C</sup>	0,11 <sup>A,B</sup>	15,39 <sup>A,B</sup>
102	21,42 (17,30) <sup>D,C</sup>	2,11 (22,32) <sup>A,B</sup>	16,15 (18,44) <sup>C,D</sup>	56,76 <sup>A,B,C</sup>	5,25 (12,60) <sup>A,B</sup>	9,63 <sup>A,B</sup>	0,70 (42,86) <sup>B,C</sup>	0,11 <sup>A,B</sup>	9,40 <sup>A,B,C</sup>
104	27,62 (6,26) <sup>A,B</sup>	2,48 (8,98) <sup>A,B</sup>	21,67 (7,02) <sup>A,B</sup>	61,53 <sup>A,B</sup>	5,00 (10,00) <sup>A,B</sup>	7,14 <sup>B,C</sup>	0,93 (12,37) <sup>A,B,C</sup>	0,12 <sup>A,B</sup>	9,47 <sup>A,B,C</sup>
107	22,72 (14,09) <sup>B,C,D</sup>	2,26 (3,89) <sup>A,B</sup>	17,15 (17,10) <sup>B,C,D</sup>	56,70 <sup>A,B,C</sup>	5,25 (17,17) <sup>A,B</sup>	9,01 <sup>A,B,C</sup>	0,77 (41,93) <sup>B,C</sup>	0,12 <sup>A,B</sup>	7,42 <sup>A,B,C</sup>
110	22,75 (8,30) <sup>B,C,D</sup>	2,58 (4,23) <sup>A,B</sup>	16,58 (11,62) <sup>B,C,D</sup>	52,98 <sup>B,C</sup>	5,08 (24,26) <sup>A,B</sup>	8,69 <sup>B,C</sup>	0,73 (34,32) <sup>B,C</sup>	0,11 <sup>A,B</sup>	9,89 <sup>A,B,C</sup>
117	25,50 (18,31) <sup>A,B,C,D</sup>	2,33 (5,50) <sup>A,B</sup>	19,90 (23,85) <sup>A,B,C</sup>	60,24 <sup>A,B</sup>	4,67 (8,18) <sup>B</sup>	7,30 <sup>B,C</sup>	1,17 (49,49) <sup>A,B</sup>	0,23 <sup>A</sup>	8,50 <sup>A,B,C</sup>
151	22,00 (5,51) <sup>B,C,D</sup>	2,71 (7,17) <sup>A</sup>	15,53 (9,46) <sup>C,D</sup>	49,76 <sup>A,B,C</sup>	5,25 (16,50) <sup>A,B</sup>	9,29 <sup>A,B,C</sup>	0,53 (10,83) <sup>C</sup>	0,06 <sup>B</sup>	7,66 <sup>A,B,C</sup>
153	25,22 (11,67) <sup>A,B,C,D</sup>	2,70 (22,70) <sup>A</sup>	18,87 (10,77) <sup>B,C,D</sup>	56,16 <sup>C</sup>	4,75 (10,53) <sup>B</sup>	7,45 <sup>B,C</sup>	0,93 (22,30) <sup>A,B,C</sup>	0,15 <sup>A,B</sup>	5,57 <sup>C</sup>
C18	25,90 (16,79) <sup>A,B,C</sup>	2,75 (12,82) <sup>A</sup>	19,43 (19,74) <sup>A,B,C,D</sup>	55,99 <sup>A,B,C</sup>	4,83 (10,77) <sup>B</sup>	7,52 <sup>B,C</sup>	0,77 (32,83) <sup>B,C</sup>	0,10 <sup>A,B</sup>	4,88 <sup>C</sup>
C7	23,27 (16,33) <sup>B,C,D</sup>	2,62 (34,98) <sup>A</sup>	16,98 (14,16) <sup>B,C,D</sup>	53,80 <sup>A,B,C</sup>	5,25 (8,25) <sup>A,B</sup>	9,02 <sup>A,B,C</sup>	0,63 (50,76) <sup>C</sup>	0,10 <sup>A,B</sup>	10,05 <sup>A,B,C</sup>
P1	21,77 (1,49) <sup>B,C,D</sup>	2,23 (12,15) <sup>A,B</sup>	16,28 (1,95) <sup>C,D</sup>	56,04 <sup>A,B,C</sup>	5,17 (7,39) <sup>A,B</sup>	9,26 <sup>A,B,C</sup>	0,83 (18,33) <sup>A,B,C</sup>	0,15 <sup>A,B</sup>	6,91 <sup>B,C</sup>
TE	19,82 (4,44) <sup>D</sup>	2,18 (24,73) <sup>A,B</sup>	14,47 (13,37) <sup>D</sup>	53,29 <sup>B,C</sup>	5,00 (13,23) <sup>A,B</sup>	9,84 <sup>A,B</sup>	0,77 (32,83) <sup>B,C</sup>	0,16 <sup>A,B</sup>	9,58 <sup>A,B,C</sup>
<b>Promedio</b>	<b>23,40(11,19)</b>	<b>2,36(11,5)</b>	<b>17,64(13,14)</b>	<b>56,66</b>	<b>5,18 (9,73)</b>	<b>8,82</b>	<b>0,79(24,38)</b>	<b>0,13</b>	<b>8,01</b>

## **2. Propiedades físicas**

En el estudio del peso específico básico se encontró que valores varían de 0,45 y 0,60. El clon 101 tiene el valor más alto mientras que el clon 46 el valor más bajo (Figura 2a). Fueron encontrados diferencias significativas entre el clon 101 y todos los demás excepto por los clones 62 y 151 mientras que el clon 46 presenta diferencias con el clon 101 y el clon 151. La propiedad física de contenido de humedad verde varió desde 70% hasta 110,6% (Figura 2b). A pesar que el clon 151 presenta los valores más bajos de contenido de humedad verde, este no presenta diferencias significativas con el resto de los clones excepto por el clon 46 y 55.

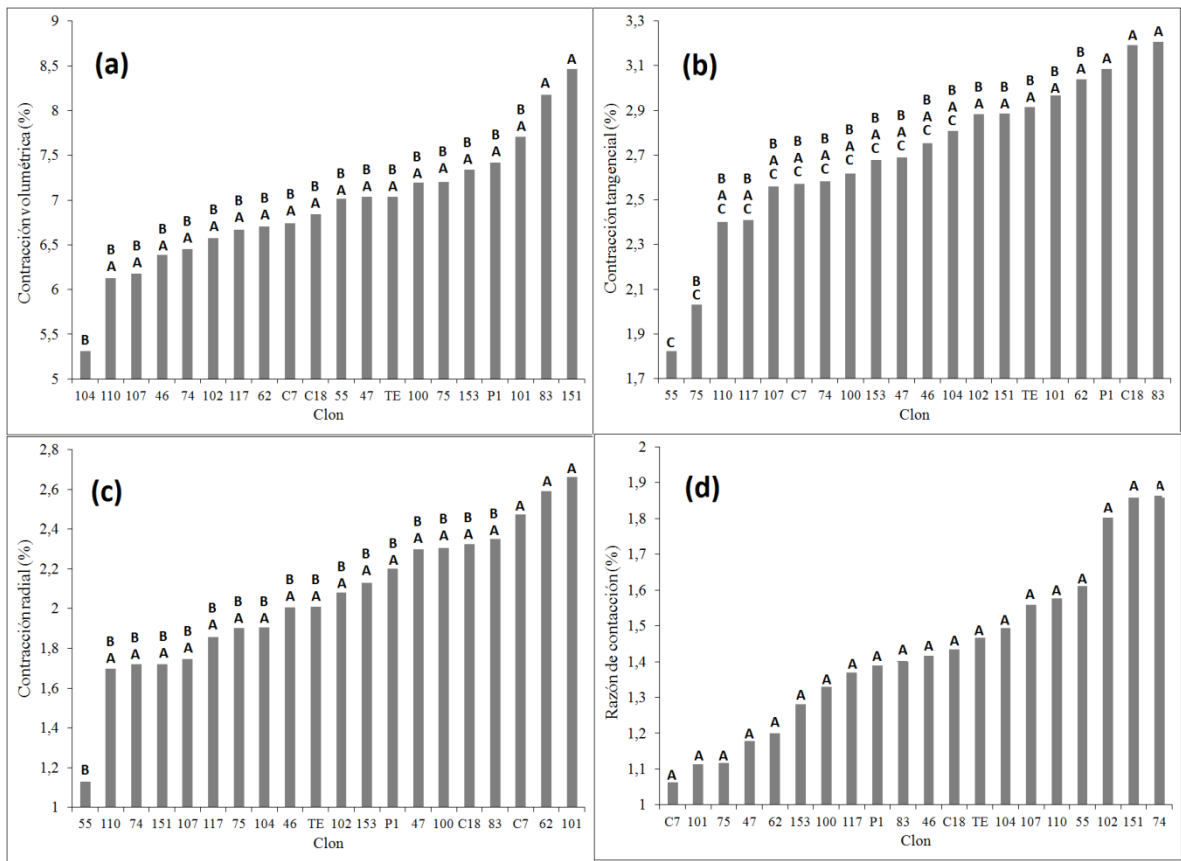
Respecto a la densidad verde el valor más bajo fue  $0.87 \text{ g/cm}^3$  encontrado en el clon 47 el cual solamente presenta diferencias significativas con los clones 55, TE, 100 y 101, siendo este último clon con el valor más alto, con alrededor de  $1.06 \text{ g/cm}^3$  (Figura 2c).



**Figura 2.** Peso específico básico (a), Contenido de humedad verde (b) y densidad verde (c) para clones de *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste.

Las contracciones volumétricas, tangenciales y radiales para todos los clones se presentan en la figura 3. La contracción volumétrica varía desde un 5,4% hasta un 8,5%, el valor más bajo para el clon 104 presentando diferencias con los clones 83 y 151, este con valor más alto. El clon 151 presentó únicamente diferencias con el clon 104 (Figura 3a). En la contracción tangencial varió de 1,8 a 3,2%, el valor inferior corresponde al clon 55, el cual presenta diferencias con los clones 102, 151, TE, 101, 62, P1, C18 y 83. El valor más alto de contracción se dió en el clon 83 y solo presenta diferencias con los clones 55 y 75 (Figura 3b). Para la contracción radial se observó el valor más bajo para el clon 55 con un 1,1% y el valor más alto es de 2,7% para el clon 101. No se presentan diferencias significativas entre el clon 101 y los demás a excepción del clon 55 (Figura 3c). Para el caso de la razón de contracción no se presentaron diferencias entre ninguno de los clones, presentandose un rango de porcentaje desde 1 hasta 1,86 (Figura 3d).





**Figura 3.** Contracción volumétrica (a) Contracción tangencial (b), contracción radial (c), y razón de contracción (d) para clones de *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste.

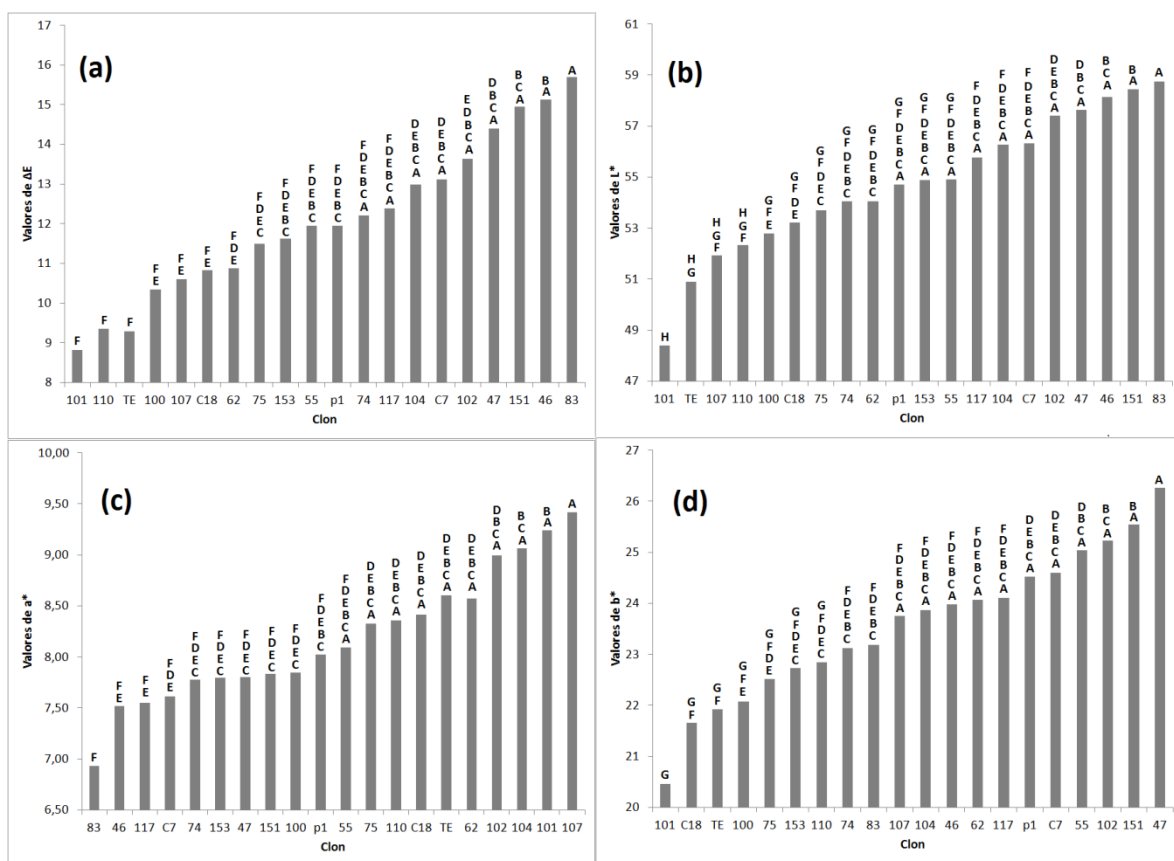
**Cuadro 2.** Coeficiente de variación para las propiedades físicas para clones de *Tectona grandis*, plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste.

Clon	Peso específico básico	Densidad verde	Contenido de humedad	Contracción volumétrica	Contracción tangencial	Contracción radial	Razón de contracción
46	9,68	4,27	22,26	5,56	23,89	33,93	38,30
P1	8,38	4,86	19,08	30,27	5,97	15,47	13,15
47	4,38	1,35	11,09	23,25	32,74	19,57	55,27
75	11,66	8,53	29,46	21,84	15,01	40,06	13,74
55	4,35	1,92	5,91	19,13	19,36	62,80	84,59
74	8,39	8,80	1,85	14,33	13,23	34,05	19,15
107	2,51	7,61	13,67	6,10	5,34	24,94	23,37
153	5,49	3,40	4,08	12,74	5,12	48,08	53,67
104	5,43	1,06	8,32	33,53	23,30	4,11	17,28
C7	2,15	2,13	5,16	30,09	9,75	66,62	77,01
83	7,25	4,69	19,54	48,14	31,76	32,31	5,94
C18	9,61	1,67	18,25	12,19	23,21	18,07	46,30
117	2,22	5,09	7,41	14,79	3,61	35,94	36,18
TE	14,81	4,44	23,37	11,77	27,82	27,33	30,57
110	9,98	8,14	3,67	10,97	21,82	30,83	43,48
102	7,53	3,89	12,58	1,69	5,09	17,56	11,95
100	8,50	3,24	17,74	11,68	12,74	26,65	25,48
62	7,88	5,37	6,84	13,18	15,61	16,46	15,30
151	0,96	2,46	5,45	8,93	27,17	7,71	16,86
101	12,45	6,49	12,84	8,93	6,11	8,56	13,00

### 3. Color de la madera

En la figura 4 se muestran los resultados para la diferencia de color ( $\Delta E$ ), luminosidad ( $L^*$ ), rojo ( $a^*$ ) y amarillo ( $b^*$ ) con respecto a un patrón de color. En el caso del promedio de  $\Delta E$  entre el color del clon y el color patrón, los clones presentan valores entre 9 y 16 (Figura 4a). El valor más bajo es para el clon 101 y el más alto para el 83. El clon 83 presenta diferencias significativa con los clones P1, 55, 153, 75, 62, C18, 107, 100, TE, 110, 101. El clon 101 por su parte presenta diferencias con los clones 104, C7, 102, 47, 151, 46 y 83.

Los valores de luminosidad ( $L^*$ ), varían para cada clon desde 48 hasta 59 para los clones 101 y 83 respectivamente. El valor para el clon 101 no presenta diferencias con los clones TE, 107 y 110 (Figura 4b). En la figura 4c se observa el parámetro que mide el color rojo ( $a^*$ ) varió desde 7 hasta 9,5 para los clones 83 y 107 respectivamente. Este último clon presenta valores de  $a^*$  estadísticamente diferentes con los clones P1, 100, 151, 47, 153, 74, C7, 117, 46 y 83. Para el parámetro de amarillo ( $b^*$ ) los valores se encuentran desde 20,5 hasta 26,3, el valor más bajo para el clon 101 y el más alto para el clon 47. El clon 47 no presenta diferencias estadísticamente significativas con los clones 151, 102, 55, C7, P, 117, 62, 46, 104 y 107. Por otro lado el clon 101 no presenta diferencias con los clones C18, TE, 100, 75, 153 y 110 (figura 4d).

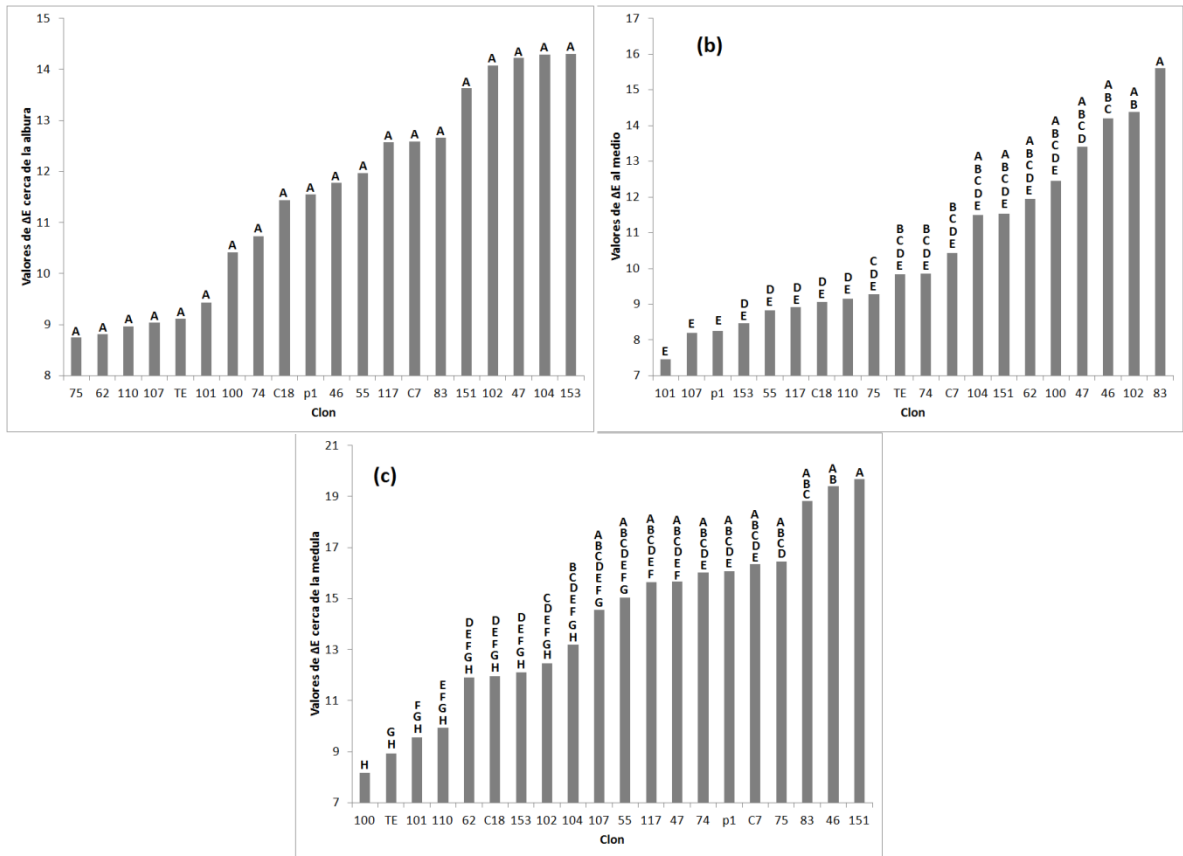


**Figura 4.** Parámetros de color para clones de *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste.  $L^*$  (luminosidad)  $a^*$  (rojo)  $c^*$  (amarillo)

**Cuadro 3.** Coeficiente de variación para Parámetros de color para clones de *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste. L\* (luminosidad) a\* (rojo) c\* (amarillo)

<b>Clon</b>	<b>L</b>	<b>a</b>	<b>b</b>	<b>ΔE</b>
46	6,1	12,7	2,8	20,78
47	3,1	9,0	1,3	13,30
55	6,9	9,9	8,1	5,57
62	4,0	6,3	3,5	5,14
74	9,8	3,9	7,7	16,51
75	10,9	18,7	9,3	14,29
83	6,3	7,7	6,3	25,39
100	5,1	4,7	5,1	7,55
101	9,7	17,4	17,2	10,83
102	1,9	11,9	4,3	32,66
104	4,7	20,0	13,4	25,92
107	11,8	14,1	8,7	27,20
110	0,5	9,5	5,6	7,98
117	7,4	4,2	9,8	27,33
151	8,3	7,2	4,4	32,88
153	5,5	1,1	1,1	22,82
C18	3,9	6,7	1,1	37,40
C7	5,9	3,7	3,1	19,62
p1	9,6	2,4	5,7	25,77
TE	0,5	7,2	5,2	28,24

En relación con la variación del color en dirección medula – corteza, medido por  $\Delta E$ , se observa que los cambios de color cerca de la albura para todos los clones, a pesar que los valores van desde casi 8,81 (clon 101) hasta 15,69 (clon 153) no se encuentran diferencias significativas entre los clones (Figura 5a) . Para la distancia del 50% del radio del duramen, los valores de  $\Delta E$  varían de 7,5 hasta 15,5, el valor más bajo corresponde al clon 101 y el más alto al clon 83. Entre el clon 101 solamente se presentan diferencias entre los clones 47, 46, 102 y 83 (Figura 5b). Cerca de la medula el menor cambio de color se observa en el árbol 100 con un valor de 8,16 y el mayor cambio se observa en el árbol 151 con un valor de 19,67 el clon 100 no presenta diferencias significativas con los clones TE, 101, 110, 62, C18, 153, 102 y 104, por su lado el clon 151 presenta diferencias significativas únicamente con estos mismos clones (figura 5c).



**Figura 5.** Valores de cambio de color respecto al patrón a diferentes distancias, Cerca de la albura (a), al medio (b) y cerca de la medulla (c) *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste.

**Cuadro 4.** Diferencia de color en diferentes distancias del duramen para clones de *Tectona grandis*, tomados de una plantación de 15 años, Peñas Blancas, Guanacaste.

Clon	CAΔE	MΔE	CMΔE
100	10,41 (39,04) <sup>A,B</sup>	12,46 (37,47) <sup>A</sup>	8,16 (52,25) <sup>B</sup>
101	9,43 (32,78) <sup>A</sup>	7,46 (46,92) <sup>A</sup>	9,55 (10,90) <sup>A</sup>
110	8,96 (41,01) <sup>A</sup>	9,16 (31,35) <sup>A</sup>	9,95 (25,32) <sup>A</sup>
TE	9,12 (52,43) <sup>A</sup>	9,83 (10,94) <sup>A</sup>	8,93 (37,58) <sup>A</sup>
62	8,81 (32,72) <sup>A</sup>	11,94 (22,07) <sup>A</sup>	11,91 (30,56) <sup>A</sup>
C18	11,44 (28,23) <sup>A</sup>	9,06 (28,46) <sup>A</sup>	11,96 (40,69) <sup>A</sup>
153	14,30 (25,88) <sup>A</sup>	8,46 (38,91) <sup>A</sup>	12,12 (22,22) <sup>A</sup>
102	14,07 (35,33) <sup>A</sup>	14,39 (21,71) <sup>A</sup>	12,47 (24,97) <sup>A</sup>
104	14,29 (38,92) <sup>A</sup>	11,50 (18,10) <sup>A</sup>	13,19 (15,70) <sup>A</sup>
107	9,05 (17,60) <sup>B</sup>	8,19 (26,10) <sup>B</sup>	14,57 (38,57) <sup>A</sup>
55	11,97 (20,09) <sup>A,B</sup>	8,84 (33,79) <sup>B</sup>	15,03 (33,79) <sup>A</sup>
117	12,58 (27,90) <sup>A,B</sup>	8,92 (41,07) <sup>B</sup>	15,65 (23,97) <sup>A</sup>
47	14,23 (39,87) <sup>A</sup>	13,40 (18,26) <sup>A</sup>	15,68 (21,86) <sup>A</sup>
74	10,74 (40,57) <sup>B</sup>	9,86 (33,51) <sup>B</sup>	16,02 (20,50) <sup>A</sup>
p1	11,55 (27,68) <sup>A,B</sup>	8,24 (52,46) <sup>B</sup>	16,07 (27,09) <sup>A</sup>
C7	12,59 (38,63) <sup>A</sup>	10,43 (20,13) <sup>A</sup>	16,35 (54,94) <sup>A</sup>
75	8,75 (40,62) <sup>B</sup>	9,27 (20,43) <sup>B</sup>	16,44 (23,03) <sup>A</sup>
83	12,66 (30,34) <sup>B</sup>	15,60 (52,76) <sup>A,B</sup>	18,82 (35,44) <sup>A</sup>
46	11,77 (69,80) <sup>A</sup>	14,21 (30,12) <sup>A</sup>	19,41 (23,05) <sup>A</sup>
151	13,63 (32,11) <sup>A,B</sup>	11,54 (24,59) <sup>B</sup>	19,67 (17,68) <sup>A</sup>

Abreviaciones: CA= cerca de la albura, M= al medio, CM= Cerca de la medula

## Discusión

### 1. Propiedades generales

Un estudio previo para los mismos clones del presente trabajo fue realizado por Moya *et al.* (2013) con 4 años menos en la plantación (11 años), como es de esperar, los diámetros promedios de los árboles son menores a los del presente estudio. Por ejemplo se encontró acá que el diámetro varió de 19,82 a 30,13 cm, en el estudio realizado con una edad menor, de 4 años menos, el diámetro promedio varió de 15,10 a 22,60 cm. Mientras que el porcentaje de duramen fue en promedio 39,5% en el estudio previo (Moya *et al.* 2013) y en la edad 15 años, el promedio de los clones fue sobre 49%, porcentaje superior al valor de 39,5%. Respecto al porcentaje de corteza, el mismo presenta una disminución significativa, los clones a la edad de 15 años presentan porcentajes de 6,23% hasta 12,30%, mientras que los clones a la edad de 11 años, reportaron una variación de 15,9% a 27,3%. Finalmente el porcentaje de medula presentó poca variación entre la edad actual y la edad previa, la variación de 0,23% a 0,70% a la edad actual, y de 0,0 a 0,5% cuando el árbol tiene 4 años menos.

Es importante hacer notar en las propiedades generales, el porcentaje obtenido de la madera de duramen. El valor promedio obtenido en los clones analizados fue de 49%, y al comparar este valor con otros estudios, se observa que los árboles clonados en algunos casos presentan un porcentaje de duramen mayor (Hamza 1991; Pérez y Kanninen 2003) y en otros casos muy similares a árboles no clonados. Por ejemplo Hamza (1991) para árboles no clonados de 16 años reporta un porcentaje de 28%, porcentaje muy inferior al obtenido en el presente estudio. Así mismo al aplicar el modelo propuesto por Pérez y Kanninen (2003) para calcular el porcentaje de duramen [ $\text{duramen (\%)} = -28.594 + 55.907 \cdot \log(\text{edad})$ ] da como resultado que árboles no clonados presentan un porcentaje de duramen de 37%, valor inferior a 45% encontrado en el presente estudio. En tanto que Kjær *et al.* (1999) para árboles de 17 años desarrollándose en Indonesia y África, mientras que y Latif y Younus-Uzzaman(1981) en árboles de 20 años en Bangladés reporta entre 46- 47% y 45% respectivamente, porcentaje de duramen similar a los encontrados en los árboles clonados.



El análisis de las propiedades generales de los árboles en los clones estudiados mostró que estas propiedades presentan alta variación entre los diferentes clones estudiados (cuadro 2). Al analizar los datos se observó que el espesor de la corteza es la variable más estable ya que esta presenta baja variación entre un clon y otro, al mismo tiempo dentro de un mismo clon presenta también poca variación. Este comportamiento es importante ya que este tipo de tejido protege al árbol especialmente en edades tempranas en caso de incendios u otras eventualidades que puedan dañar el árbol, el espesor de corteza en general es de baja heredabilidad genética (JianZhong *et al.* 2011).

Las características generales o morfológicas de los individuos en una plantación determinan la calidad del mismo en cuanto a rendimiento y rentabilidad de la misma (ISTF 2009). Dichos parámetros, en especial el diámetro total y el diámetro de duramen, son importantes de tomar en cuenta al momento de elegir adecuadamente un determinado clon para reforestar, ya que para los usuarios finales es más deseable la madera con mayor porcentaje de duramen (Kokutse *et al* 2004).

En caso de los clones en estudio y considerando los dos parámetros antes mencionados, se encontró que el mejor valor promedio en diámetro total se obtiene en el clon numero 100, 75, 83, 104, 117, C18 y 153, estadísticamente iguales (Cuadro 1). Contar con un diámetro del árbol alto permite un mayor aprovechamiento de la troza y disminuye los desperdicios (Quirós *et al.* 2005), por tanto la elección de clones con un alto desarrollo de diámetros permitirá aumentar el aprovechamiento de las trozas de clones con alto desarrollo en diámetro; por el contrario los clones con bajo desarrollo de diámetro, como el clon TE, es de esperar que se presenten trozas de bajo diámetro y por tanto se espera que tendrá menor rendimiento.

El valor más alto para el diámetro de duramen lo presenta el clon 100, junto con los clones 83, 104, 117 y C18. Al mismo tiempo el clon 100 presenta el porcentaje de duramen más alto para los clones, aunque es estadísticamente igual que para el resto de los clones excepto para el 110, 156 y TE. Casi todos los clones presentan más de un 50% de porcentaje de duramen.

Es importante tomar en cuenta para la reforestación con material clonal que se deben buscar clones que aumenten el valor comercial de la plantación, mayor crecimiento y mayor calidad (Goh *et al.* 2007), por eso es importante analizar el comportamiento de los clones en una plantación, bajo condiciones específicas. De esta manera se busca la menor variabilidad posible de las características de calidad dentro de un mismo material genético. En el caso de este estudio esta característica es medida por medio del coeficiente de variación. Al analizar los resultados de este parámetro (Cuadro 1), se encontró que el coeficiente de variación para el clon 100 es bastante bajo en diámetro (4,56%), lo que significa que para este clon específico la característica de diámetro es poco variable por lo que podríamos esperar que los árboles de este clon presenten un crecimiento diametral más uniforme que el resto de los clones. Así por el contrario, los árboles de los clones con alta variación (46, 74, 101, 117 y C18), podrían ser catalogados como pocos estables, e incrementaría la incertidumbre en su crecimiento diametral.

Una característica importante para el árbol de teca es que presente un alto porcentaje de duramen, ya que esta es la parte más cotizada por el usuario final del mercado de madera de teca. Al ser el duramen la parte más cotizada del mercado por sus características de durabilidad y apariencia, por lo general se busca que los individuos tengan una mayor cantidad de duramen respecto a la albura.

El espesor de la albura en caso de plantaciones comerciales, debe ser idealmente en menor proporción esto porque aunque esta puede ser comercializable, el valor estético y de durabilidad de la misma es inferior a la madera de duramen (Kokutse *et al.* 2004), En el análisis de los clones, nuevamente el clon 100 a pesar que presenta un valor alto de albura comparado con los otros clones, pero en proporción al duramen respecto al diámetro total del árbol es un valor bajo. Al mismo tiempo este clon (100) presenta mejor diámetro y espesor de duramen.

Con respecto a la medula se observa que al igual que la corteza, el porcentaje de medula es una característica poco variable, en teca especialmente esta es una característica importante ya

que la medula se presenta de forma muy evidente y se ve reflejado directamente en la madera aserrada. La excentricidad de la medula por su parte es importante tomarla en cuenta ya que idóneamente esta debería ser de baja excentricidad dentro del árbol para tener un aserrío más uniforme (Moya *et al.* 2012). Al analizar los resultados de los diferentes clones, se observa nuevamente que a pesar que el clon 100 presenta características deseables como diámetro total alto y porcentaje de duramen alto, el mismo presenta de los mayores valores de excentricidad, mientras que clones como el 83 presenta menor promedio en diámetro pero mucho menor porcentaje de excentricidad de la medula lo que se puede convertir en una ventaja a la hora del aprovechamiento. Cabe destacar que si bien el clon 83 presenta menor promedio de diámetro el mismo no es estadísticamente diferente con el clon 100.

## **2. Propiedades físicas**

Moya y Marín (2011) reportan valores de las propiedades físicas para los mismos clones a los 11 años de edad. Para el contenido de humedad verde y la densidad verde, los autores reportan valores de 89,8% hasta 158,0 % y de 1,0 g/cm<sup>3</sup> a 1,2 g/cm<sup>3</sup> respectivamente. Mientras que en este estudio se encontraron valores desde 70% hasta 110,6% para el contenido de humedad verde y de 0,87 g/cm<sup>3</sup> a 1.06 g/cm<sup>3</sup>.

En cuanto a los valores reportados para la contracción volumétrica van desde 4,2% hasta 12,2% para la tangencial van desde 3,4% a 6,0% y para la radial oscila entre 2,1% a 4,6%. Estos valores para los clones analizados en el presente estudio van desde un 5,4% hasta un 8,5% en la volumétrica, de un de 1,8 a 3,2% en la tangencial y de un 1,1% a un 2,7% para la radial. Estos son valores más bajos que los reportados en los clones de 11 años, lo que indican que a esta edad serán más estables a la hora del secado y se deformaran menos (Moya *et al.* 2012).

Esta información es congruente con la información encontrada con las propiedades generales de la madera ya que como se discutió anteriormente los árboles presentan menos albura, menos corteza y mayor porcentaje de duramen.

El análisis de las propiedades físicas como el peso específico, contenido de humedad y densidad verde de la madera es importante para tener una visión general de las características de la madera y realizar un análisis del posible comportamiento de la madera durante su procesamiento (aserrío), secado y elaboración de producto final. Según indica León (2010) el peso específico puede indicar el comportamiento de otras de las propiedades físico-mecánicas de la madera lo que hace a esta característica una de las propiedades más importantes.

Los valores de peso específico básico se encuentran dentro del rango encontrado en la literatura para plantaciones con edades similares. Castro y Raigosa (2000), Moya *et al.* (2003); Moya y Pérez, (2008) reportan valores de 0,58 y de 0,40 a 0,65 respectivamente; también Serrano *et al.* (2002) encontraron para teca de 20 años en Costa Rica un valor de 0,53 y 0,57, todos estos valores similares a los encontrados para los clones del presente estudio. De la misma forma los datos encontrados de contracción tangencial (CT) y radial (CR) coinciden en este estudio con los encontrados por Castro y Raigosa (2000) quienes reportan valor de CR para teca de 17 años en abangares de 2.2% y de CT de 3.9%.

En el cuadro 2 se observa que los coeficientes de variación para el PEB, CH y densidad verde son bajos para todos los clones estudiados lo que sugiere que estas son características poco variables dentro del clon. Por otro lado para las contracciones, los coeficientes de variación presentan un rango más amplio, por ejemplo para el clon C7 este tiene coeficientes de variación de 66,62 para la contracción radial.

La razón de contracción varía entre valores de uno y dos, y no existe diferencia significativa para ninguno de los clones lo que quiere decir que es una característica que varía poco sin importar con cual clon estamos trabajando.

Un aspecto importante de mencionar respecto al parámetro de peso específico es que clones con mayor peso específico básico probablemente presenten mayor resistencia mecánica, algunas operaciones de trabajabilidad adecuadas y mayor durabilidad. Basados en ello, los clones 62, 101 y 151, presentan los valores más altos de peso específico y al mismo tiempo los valores más bajos de contenido de humedad verde, siendo por tanto los que se supone presentarían menos problemas a la hora de realizar las labores del secado.

En relación a las contracciones, es importante que se presenten en baja magnitud ya que estas están relacionadas a la estabilidad dimensional de la madera (León 2010). El clon 110 se encuentra dentro de los valores más bajos para los tres tipos de contracción (radial, tangencial y volumétrica) lo cual nos indica que tendría un buen proceso de secado con la mínima cantidad de deformaciones. El clon 55 a pesar de tener los valores más bajos en contracción radial y tangencial, presenta valores medios para la contracción volumétrica. Así mismo los clones con mayor contracción tangencial son los clones 83 y 151, por tanto dichos clones son los que probablemente presentarían problemas de estabilidad dimensional a la hora del secado. Sin embargo dichos clones presentan alto PEB, por lo que es de esperar una alta contracción.

Para la contracción radial se observa en la figura 3c que solamente el clon 55 presenta menos de 1,2% de contracción. Sin embargo a pesar que este clon presenta el valor más bajo de contracción también presenta un valor muy alto en el coeficiente de variación lo que indica que el clon es muy variable en esta característica (cuadro 2). Esto significa que posiblemente se dará una menor contracción lo cual implica mayor estabilidad a la hora del secado.

### 3. Color de la madera

Los valores promedio de los parámetros de color encontrados en los árboles a los 15 años son comparables con los valores encontrados al valor de los parámetros de color cuando los árboles presentaban 11 años. Moya y Marín (2011), reportan para la edad de 11 años, valores de color promedio para  $L^*$  de 62,0; para valores de  $a^*$  de 9,9 y para valores de  $b^*$  de 29,5. Estos son ligeramente diferentes a los encontrados a la edad de 15 años, que fueron de 48-59, 7,5-9 y 20,5-26,3, respectivamente. Esta comparación permite observar que el parámetro de color  $L^*$  disminuyó, el parámetro  $a^*$  se mantuvo y el parámetro  $b^*$  incrementó. Estas variaciones en los parámetros de color indican que la luminosidad de los clones disminuyó y la tonalidad del color amarillo incremento, por tanto el color a la edad de 15 años es ligeramente más oscuro que los árboles a la edad de 11 años. Esta situación es de esperar ya que el color de la madera tiende a ser más oscuro, por disminución de  $L^*$  y incremento de  $b^*$ , con el envejecimiento del árbol (Moya y Berrocal, 2010).

Al analizar la variación de los parámetros (Cuadro 3) se observa que los coeficientes de variación de los parámetros de luminosidad ( $L^*$ ), rojo ( $a^*$ ) y amarillo ( $b^*$ ) son bajos (menos de 20) en relación a las otras propiedades evaluadas (Cuadro 3). Sin embargo los coeficientes de variación aumentan para el cambio de color ( $\Delta E$ ), en este caso el coeficiente de variación llega hasta un valor de 37,4 para el clon C18. Esto indica que los clones son poco variables para los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  pero un poco más variables con respecto a la percepción de color respecto al patrón.

El cambio de color ( $\Delta E$ ) respecto al patrón de color de teca, es deseable que tenga un valor bajo. En el estudio de los clones muestreados, se puede destacar a los clones 101, 110 y TE. Estos presentan los valores más bajos de  $\Delta E$ , debido a los bajos valores de luminosidad ( $L^*$ ), altos en rojo ( $a^*$ ) y valores medios a bajos en amarillo ( $b^*$ ), como resultado colores más oscuros. La madera con tonalidades más rojos (bajos valores  $a^*$ ) y bajos valores de luminosidad (altos valores  $b^*$ ) producen colores más oscuros (Moya y Berrocal 2010), dando como resultado probablemente madera visualmente atractiva para el usuario final.

El estudio de la variación del color respecto al patrón para diferentes distancias de la medula (Figura 5) mostró que el color de clones cerca de la albura no varían de un clon a otro (Figura 5a, Cuadro 4), a diferencia de las distancias cerca de la medula y al centro, se puede observar que se establecen diferencias entre un clon y otro, tanto en los parámetros de color (Figura 5b y 5c) como en los valores de  $\Delta E^*$  (Cuadro 4), indicando que en la madera cerca de la medula de un clon es similar a la madera de otro clon, pero que al aproximarlos al borde entre el duramen con la albura el color de un clon y otro puede ser diferente entre ellos.

En este estudio se tomó en consideración el valor de cambio de color ( $\Delta E^*$ ), Cui *et al.* (2004) define la percepción del color en varios niveles. El valor de cambio entre 0 y 0,5 lo define como imperceptible; entre 0,5 y 1,5 es poco perceptible; entre 1,5 y 3,0 es notable; entre 3 y 6 es perceptible y entre 6 y 12 es muy perceptible. Considerando lo anterior se puede notar que para todos los clones y para todas las distancias, los cambios de cambio respecto al patrón son superior a 8, por tanto los clones estudiados presentan cambios considerados desde perceptibles a muy perceptibles respecto al color natural de la madera de teca creciendo en bosques naturales y el hábitat natural de la especie. Por lo tanto a pesar de ser una madera oscura como se menciona anteriormente, todavía se encuentra lejos de ser el color deseable de acuerdo al patrón de color.

## Conclusiones

Los valores promedio de diámetro total y diámetro de duramen están dentro de lo reportado en la literatura y dichos valores han incrementado con la edad de los clones. Los clones 100, 75, 83, 104, 117, C18 y 153 son los que presentan los mejores valores en las propiedades generales (diámetro y duramen)

Las propiedades físicas pueden determinar el comportamiento del proceso de aserrío de una determinada madera. Los clones que presentaron mejores valores de peso específico, densidad verde y contenido de humedad son el 101 y el 151. Mientras que los clones con menores valores de contracción son los clones 55, 110 y 104. Sin embargo, debido a la alta variabilidad dentro de los clones

Todos los clones estudiados presentan color diferente a la madera que se desarrolla en los árboles creciendo en su hábitat natural. No obstante, la edad de los clones ha permitido que el color sea más oscuro a la edad de 15 años, producto de la disminución de la luminosidad ( $L^*$ ) e incrementos de los tonos amarillos ( $b^*$ ) y rojos ( $a^*$ ). Esto indica que puede ser comercializable y deseable para diferentes usos de productos comerciales.

Los clones que presentaron mejores características de color son el 101, 110 y TE, debido a que presentan menor valor de luminosidad ( $L^*$ ), altos valores en rojo ( $a^*$ ) y valores medios a bajos en amarillo ( $b^*$ )



Para la mayor parte de las características estudiadas existe una variación muy alta dentro de un mismo clon, hasta más de un 60% en algunos casos. Es por esto que no se puede determinar con seguridad cuál es el mejor clon a elegir solamente basados en la información incluida en el estudio. Es importante destacar que para algunas pocas características si se encontraron coeficientes de variación bajos (por ejemplo el diámetro total) lo que sugiere que para estas características específicas si se podría tomar en cuenta para la elección de algún clon específico.

## Bibliografía

- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). (2003). ASTM D-1442-92, Standard test methods for direct moisture content measurements of wood and wood-Base materials (Reproved 2003). West Conshohocken, PA.
- Baillères, H; Durand, P. 2000 Non destructive techniques for wood quality assessment of plantation grown teak. Bois Forest des Tropic 263:16-28
- Callister, A.N. and Collins, S.L. 2008: Genetic parameter estimates in a clonally replicated progeny test of teak (*Tectona grandis* Linn. F). Tree Genet Genome 4:237-245
- Castro, F. y Raigosa, J. 2000.Crecimiento y propiedades físico-mecánicas de la madera de teca (*Tectona grandis*) de 17 años de edad en San Joaquín de Abangares, Costa Rica Agronomía costarricense. 24(2): 07-23
- Cui,W; Kamdem, P; Rypstra, T. 2004 Diffuse reflectance infrared fourier transform spectroscopy (DRIFT) and color changes of artificial weathered wood. Wood and Fiber Science 36: 291-301.
- Goh, D.H., Chaix, G., Bailleres, M. Montenuuis, 2007. Mass production and quality control of teak clones plantation. Bois et Forest des Tropic 293: 65-77
- Goh, D.K.S and O.Monteuuis (2005): Rationale for developing intensive teak clonal plantations, with special reference to Sabah. Bois et Forêts des Tropic 285(3):5-15.
- Hamza, KFS. 1991 The effect of age and rate of growth on heartwood proportions in stems of *Tectona grandis* L.F. grown at Mtiwa, Tanzania. Faculty of Forestry Record No.51, 22 p.

- ISTF, Sociedad Internacional de Forestales Tropicales 2009. ISTF Noticias. Manejo de plantaciones de la teca para productos sólidos. Orlando Florida, USA.
- Key, RB. 2005 Colour development on drying. *Maderas: Ciencia y Tecnología* 7: 3-16.
- Kjær, ED; Kajornsrichon, S; Lauridsen, EB. 1999 Heartwood, calcium and silica content in five provenances of teak (*Tectona grandis*). *Silvae Genetica* 48: 1-3.
- Kokutse, A.D.; Baillères, H.; Stokes, S. and Kokou, A. 2004: Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L.f). *Forest Ecology Management* **189**:37-48.
- Latif, MA; Younus-Uzzaman, BC. 1981 Pressure treatment of teak poles with nail-borne preservative. *Bano Biggyan Patrika* 10: 27-32.
- León, W. 2010. Anatomía y densidad o peso específico de la madera. *Revista Forestal Venezolana*. 54(1): 67-76.
- JianZhong, L; Arnold, R.; Xiang DongYun; Xie YaoJian; Chen JianBo. 2011. Genetic variation in growth, wood density and bark thickness of *Eucalyptus dunnii*. *Forest Research, Beijing* 22:758-764
- Martinez, R. 2005. Reseña de “Silvicultura de plantaciones forestales comerciales” de Miguel Ángel Musalem. *Ran Ximhai*. No 1(2): 421-424.
- Mazet, JF; Janin, G.1990 La qualité de l’aspect des placages de Chênes (*Quercus petraea* and *Quercus robur*): mesures de couleur et critères de d’appréciation des professionnels français et italiens. *Annual Forest Science* 47: 255-268.

- Monteuuis, O; Goh, D.K.S. 1999: About the use of clones in teak. Bois Forêts Tropic 261(3):28-37
- Monteuuis, O; Maître, H. 2006: Advances in teak cloning : New developments in teak cloning lead to better plantation stock. ITTO Tropical For update **17(3)**:13-15
- Moya, R; Berrocal. A. 2010 Wood colour variation in sapwood and heartwood of young trees of *Tectona grandis* and its relationship with plantation characteristics, site, and decay resistance. Annual Forest Science 67: 109-120.
- Moya, R.; Marín, B. 2011. Grouping of *Tectona grandis* (L.f.) clones using wood color and stiffness. New Forests 42: 3296-345.
- Moya, R; Marín, J.D; Murillo, O; Leandro, L. 2013. Wood physical properties, color, decay resistance and stiffness in *Tectona grandis* clones with evidence of genetic control. Sivaie Genetica (Accept)
- Moya, R; Pérez, L.D; Arce, A. 2003. Wood density of *Tectona grandis* at two plantation spacing in Costa Rica. Journal of Tropical Forest Products 9(1/2): 153-161.
- Moya, R; Pérez, D. 2008. Effect of physical and chemical soil properties on physical wood characteristics of *Tectona grandis* plantations in Costa Rica. Journal of Tropical Forest Science 20(4): 248–257.
- Moya, R.; Tenorio, C.; Meyer, I. 2012 Influence of wood anatomy on moisture content, shrinkage and drying defect in *Vochysia guatemalensis* Donn Sm. Scientia Florestalis 40 (94): 249-258
- Pandey, D; Brown, C. 2001 Teak: a global overview in: Teak No. 201. Unasyuva 51: 3-13.

- Pérez, D; Kanninen, M. 2003 Heartwood, sapwood and bark content, and wood dry density of young and mature teak (*Tectona grandis*) trees grown in Costa Rica. *Silva Fennica* 37: 45-54.
- Pérez, D; Kanninen, M. 2005 Effect of thinning on stem form and wood characteristics of teak (*Tectona grandis*) in a humid tropical site in Costa Rica. *Silva Fennica* 39: 217–225.
- Quirós, R; Chinchilla, O; Gomez, M. 2005. Rendimiento en aserrío y procesamiento primario de madera proveniente de plantaciones forestales. *Agronomía costarricense*. 29(2): 7-15
- Rudma, P; Da Costa E. 1959. Variation in extractive content and decay resistance in the heartwood of *Tectona grandis*. *Journal of the Institute of Wood Science* 3: 33–42
- Schmincke, KH. 2000 Plantaciones de teca en Costa Rica: la experiencia de la empresa Precious Woods. *Unasyuva* 20: 11-8
- Serrano, R; Córdoba, R; Canessa, E; Sáenz, M. 2002 Evaluación de características y propiedades tecnológicas para madera de Teca (*Tectona grandis*) de plantación. ITCR. CIIBI. Ecos S.A. Cartago, Costa Rica.
- Solórzano, S; Moya, R; Chauhan, S 2012a Early genetic evaluation of morphology and some wood properties of *Tectona grandis* L clones. *Silvae genetica* 61: 58-65.
- Solórzano, S; Moya, R; Murillo, O. 2012b Early prediction of basic density, shrinking, presence of growth stress, and dynamic elastic modulus based on the morphological tree parameters of *Tectona grandis*. *Journal of Wood Science* 58: 290-299.
- Tewari, DN. 1999 A monograph on teak (*Tectona grandis*). International Book Distributors. Dehra Dun. India.

- Thulasidas, PK; Bhat, KM; Okuma, T. 2006. Heartwood colour variation in home garden teak (*Tectona grandis*) from wet and dry localities of Kerala, India. *Journal of Tropical Forest Science* 18: 51-54.
- USDA- United States Department of Agriculture. 1999. *Wood Handbook. Wood as an engineering material.* General Technical Report 113. Madison, WI. U.S.
- Varghese, M; Nicodemus, A; Ramteke, PK; Anbazhagi, G; Bennet, SR; Subramanian, K. 2000 Variation in growth and wood traits among nine populations of teak in Peninsular India. *Silvae Genetica* 49: 201-205
- Vetter, RE; Coradin, VR; Martino, EC; Camargos, J. 1990 Wood colour a comparison between methods. *IAWA Bull* 11:429–124