

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE FORESTAL

TESIS DE GRADUACIÓN

**EFFECTO DEL INTEMPERISMO ACELERADO EN EL  
COLOR NATURAL DE LA MADERA EN CLONES DE *Tectona  
grandis* Linn F. PROVENIENTES DE LA ZONAS DE PEÑAS  
BLANCAS Y GARZAS, COSTA RICA**

MELISSA MARÍN HERNÁNDEZ.

CARTAGO, COSTA RICA

2010



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE FORESTAL

TESIS DE GRADUACIÓN

**EFFECTO DEL INTEMPERISMO EN EL COLOR NATURAL  
DE LA MADERA EN CLONES DE *Tectona grandis* Linn F.  
PROVENIENTES DE LA ZONAS DE PEÑAS BLANCAS Y  
GARZAS, COSTA RICA**

MELISSA MARÍN HERNÁNDEZ.

CARTAGO, COSTA RICA

2010

# **EFFECTO DEL INTEMPERISMO EN EL COLOR NATURAL DE LA MADERA EN CLONES DE *Tectona grandis* Linn F. PROVENIENTES DE LA ZONAS DE PEÑAS BLANCAS Y GARZA, COSTA RICA**

Melissa Marín Hernández\*

## **RESUMEN**

---

A la madera de *Tectona grandis* se le conoce en el mundo por ser una madera de mucha utilización, está en su mayoría es utilizada para construcciones a la intemperie pues posee una gran resistencia a agentes de deterioro, por lo que el siguiente estudio tiene como objetivo establecer el efecto de la radiación ultravioleta (UV) sobre el cambio de color natural de la madera de 16 clones de *Tectona grandis* de dos zonas del noreste de Costa Rica. De igual manera se cuantifico los cambios de color antes y después de la formación de líneas negras, a través del sistema CIELab.

Los resultados obtenidos mostraron que en los procesos de envejecimiento acelerado provocan un cambio de color en la madera esto debido a distintos factores de degradación que se dan sobre los componentes químicos de la misma, se obtuvieron valores de L\* en el color inicial de 55,22-68,45 y 48,29-53,28 para el color final, en a\* los valores se encontraron en 7,30 (5,38-8,74) para el color inicial y para el final de 10,08 (9,10-10,78), mientras que para b\* el color inicial fue de 26,12 (21,03-28,95), y el final fue de 28,44 (26,07-30,34). En los valores de las líneas negras en los anillos se dio que este valor aumenta con la cercanía a la medula y la cantidad de anillos varía dependiendo el clon y la zona en que creció.

**Palabras claves:** *Tectona grandis*, radiación ultravioleta, color de la madera, anillos de crecimiento, duramen.

Marín Hernández, M. (2010) Efecto del intemperismo en el color natural de la madera en clones de *Tectona grandis* Linn f. provenientes de la zonas de Peñas Blancas y Garzas, Costa Rica. Tesis de graduación, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

# WEATHERING EFFECT IN THE NATURAL COLOR OF THE WOOD IN CLONES OF *Tectona grandis* Linn F. COMING FROM OF THE ZONE OF PEÑAS BLANCAS AND GARZA, COSTA RICA.

Melissa Marín-Hernández\*

## SUMMARY

---

The *Tectona grandis* wood is very use in the world because it is use build outside, because this has strength to agents of damaged. The objective of this studio is to establish the effect of ultraviolet radiation (UV) about the change of the natural color in the wood of 16 clones of *Tectona grandis* from two zones of northeast of Costa Rica. Besides we quantify the changes of color before and after of the formation of black-streaked, through the system CIELab.

The results showed that in the process of accelerated distressing for this reason change the color in the wood this is due to various degradation factors that occur in their chemical components, the results value of L\* in the initial color are of 55,22-68,45 and 48,29-53,28 for the final color, in a\* the values were found in 7,30 (5,38-8,74) for the initial color and for the final color 10,08 (9,10-10,78), while for b\* the initial color was of 26,12 (21,03-28,95) and the final of 28,44 (26,07-30,34). In the values of the black-streaked in the ring this value was increased by the proximity of the pith and the quantity of rings varies depending on the area where they grew.

**Keywords:** *Tectona grandis*, ultraviolet radiation, color in the wood, growth rings, heartwood

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.

**EFECTO DEL INTEMPERISMO EN EL COLOR NATURAL  
DE LA MADERA EN CLONES DE *Tectona grandis* Linn F.  
PROVENIENTES DE LA ZONAS DE PEÑAS BLANCAS Y  
GARZAS, COSTA RICA**

**Miembros del Tribunal Evaluador**

---

**Roger Moya Roque, Ph.D.**

**Director de Tesis**

---

**Cynthia Salas Garita**

**Lector 1**

---

**Diego Camacho Cornejo**

**Lector 2**

---

**Melissa Marín Hernández.**

**Estudiante**

## DEDICATORIA

---

*A Dios ante todo por que ha sido mi fortaleza a través de los años, y por qué me demuestra día con día que la fé mueve montañas.*

*A mis padres Luis y Lucia por darme la oportunidad de seguir adelante y de cumplir mis sueños, a mi hermana Mary C. por estar ahí animándome cuando lo que quería era mandarlo todo a volar...!!*

*A mi familia que siempre ha estado conmigo y por que han creído en mi.... en todo momento.*

*A esta tierra que me ha visto crecer y a la que espero poder retribuirle todo lo que ha brindado.*

*“Gracias a la vida que me ha dado tanto  
Me ha dado la marcha de mis pies cansados  
Con ellos anduve ciudades y charcos  
Playas y desiertos, montañas y llanos  
Y la casa tuya, tu calle y tu patio”*

*Mercedes Sosa*

## AGRADECIMIENTOS

---

*Al profesor Roger Moya Roque, que me ha ayudado en todo momento a lo largo de esta tesis y a lo largo de la carrera, por sus consejos y aguante.*

*A mis amigos de Oxa y David por estar en las altas y bajas.*

*A mis amigos de la Escuela de Ingeniería Forestal por que ellos marcaron la diferencia...*

*A la escuela de Ingeniería Forestal y sus profesores por guiarme a lo largo de esta carrera.*

# INDICE GENERAL

---

<i>CONTENIDO</i>	<i>Pagina</i>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	1
<b>OBJETIVOS</b> .....	3
<b>a. General</b> .....	3
<b>b. Específicos</b> .....	3
<b>HIPOTESIS</b> .....	4
<b>REVISION DE LITERATURA</b> .....	5
<b>a. Generalidades de la <i>Tectona grandis</i></b> .....	5
<b>b. Composición química de la madera</b> .....	6
<b>c. Intemperismo</b> .....	7
1. Radiación ultravioleta (UV) .....	8
1.1 Tipos de radiación ultravioleta .....	8
1.2 Factores que afectan la radiación ultravioleta .....	9
<b>d. Cámara de envejecimiento</b> .....	10
1. Lámparas de la cámara QUV .....	11
1.1 Lámparas UVB-313 .....	11
<b>e. Color de la madera</b> .....	12
<b>METODOLOGÍA</b> .....	14
<b>a. Ubicación geográfica</b> .....	14
<b>b. Caracterización de la madera a utilizar</b> .....	14
• Sitio de obtención de la madera .....	14
• Material de las muestras .....	15

o Muestras .....	15
<b>c. Radiación ultravioleta .....</b>	<b>16</b>
<b>d. Determinación del color de la madera .....</b>	<b>17</b>
<b>e. Evaluación de “black-streaked” (líneas negras) en el duramen .....</b>	<b>18</b>
1. Evaluación del color .....	18
<b>f. Análisis de datos .....</b>	<b>18</b>
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>22</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>59</b>
<b>RECOMENDACIONES .....</b>	<b>61</b>
<b>BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>62</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>67</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

---

<i>CONTENIDO</i>	<i>Pagina</i>
<b>Figura 1.</b> Modo de funcionamiento de la cámara QUV a través del control de irradiación.....	10
<b>Figura 2.</b> Montaje de las lámparas fluorescentes junto con el sistema de controlador de irradiación. Costa Rica; 2010. ....	12
<b>Figura 3.</b> Obtención de la pieza de donde se tomo el material para los paneles y dimensión del mismo (muestras) .....	16
<b>Figura 4.</b> Cámara QUV para radiación ultravioleta. Costa Rica; 2010 .....	17
<b>Figura 5.</b> Valores promedios del color inicial según clon, y sus intervalos de confianza para el parámetro L* (luminosidad), con un $\alpha$ de 95%. Costa Rica, 2010 .....	25
<b>Figura 6.</b> Valores promedios del color inicial según clon, y sus intervalos de confianza para el parámetro a*, con un $\alpha$ de 95%. Costa Rica, 2010. ....	26
<b>Figura 7.</b> Valores promedios del color inicial según clon, y sus índices de confianza para el parámetro b*, con un $\alpha$ de 95%. Costa Rica, 2010. ....	27

<b>Figura 8.</b> Valores promedios del color final según clon, y sus índices de confianza para el parámetro $L^*$ , con un $\alpha$ de 95%. Costa Rica, 2010. .....	28
<b>Figura 9.</b> Valores promedios del color final según clon, y sus intervalos de confianza para el parámetro $a^*$ , con un $\alpha$ de 95%. Costa Rica, 2010. .....	29
<b>Figura 10.</b> Valores promedios del color final según clon, y sus intervalos de confianza para el parámetro $b^*$ , con un $\alpha$ de 95%. Costa Rica, 2010. .....	30
<b>Figura 11.</b> Comparación entre el promedio total de anillos y el promedio del total de líneas por clon de <i>Tectona grandis</i> para la zona de Garza. Costa Rica, 2010. .....	42
<b>Figura 12.</b> Comparación entre el promedio total de anillos y el promedio del total de líneas por clon de <i>Tectona grandis</i> para la zona de Peñas Blancas. Costa Rica, 2010. .....	44
<b>Figura 13.</b> Comparación entre el número de líneas que aparecen en cada clon de <i>Tectona grandis</i> , según la zona de procedencia del clon. Costa Rica; 2010. .....	45

## INDICE DE CUADROS

---

<i>CONTENIDO</i>	<i>Pagina</i>
<b>Cuadro 1.</b> Caracterización de los sitios donde se da el crecimiento de los clones seleccionados. ....	15
<b>Cuadro 2.</b> Descripción general del cambio de color en la madera de 16 clones de <i>Tectona grandis</i> procedentes de Garza y Peñas Blancas, tras 500 horas de radiación UV en cámara QUV. Costa Rica, 2010.....	22
<b>Cuadro 3.</b> Análisis de Regresión para cada uno de los parámetros del CIELab ( $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ ), según su variación en el tiempo y para cada clon de Teca, provenientes de la zona de Garza y Peñas Blancas. Costa Rica; 2010.....	32
<b>Cuadro 4.</b> Determinación del clon con el menor cambio del color en la madera de <i>Tectona grandis</i> según la prueba de Tukey con un $\alpha$ de 95% para un total de 10 mediciones. Costa Rica; 2010. ....	35
<b>Cuadro 5.</b> Comparación de medias para determinar el periodo de tiempo en que se dio el menor cambio de color en la madera de <i>Tectona grandis</i> , según una prueba de Tukey con un $\alpha$ de 95% para un total de 16 clones. Costa Rica, 2010.....	37
<b>Cuadro 6.</b> Valores promedios en el cambio del color ( $\Delta E^*$ ) para los diferentes periodos de evaluación a los que fueron sometidos las muestras de <i>Tectona grandis</i> . Costa Rica, 2010.....	38

<b>Cuadro 7.</b> Clasificación del $\Delta E^*$ según Cui (2001), para un total de 48 muestras de <i>Tectona grandis</i> y según su categoría de tiempo. Costa Rica, 2010. .....	40
<b>Cuadro 8.</b> Determinación porcentual de anillos en que se da la mayor presencia de líneas, según clon de <i>Tectona grandis</i> y procedencia. Costa Rica; 201.....	47
<b>Cuadro 9.</b> Descripción general del cambio de color en la madera de 16 clones de <i>Tectona grandis</i> , según su estado con respecto a la línea para la zona de Garza. Costa Rica, 2010.....	50
<b>Cuadro 10.</b> Descripción general del cambio de color en la madera de 16 clones de <i>Tectona grandis</i> , según su estado con respecto a la línea para la zona de Peñas Blancas. Costa Rica, 2010. ....	53
<b>Cuadro 11.</b> Valores del cambio de color $\Delta$ para cada uno de los parámetros y el delta e ( $\Delta E^*$ ) con sus variables de dispersión para los diferentes clones de <i>Tectona grandis</i> , para la zona de Garza y Peñas Blancas. Costa Rica, 2010. ....	55

## INTRODUCCIÓN

---

La especie *Tectona grandis*, es una de las especies de mayor importancia a nivel de plantaciones en Costa Rica, pues ha sido utilizada como parte de programas de reforestación comercial en la que los productores la han seleccionado como especie sustituta de otras especies maderables del país (Govaere 2003); unido a ello y junto con ayuda de expertos se ha dado un mejoramiento genético, creando así una variedad de árboles con características superiores los cuales generan buenos resultados cuando se evalúan las cualidades físicas, mecánicas y estéticas de su madera, además de características como crecimiento, y resistencia a agentes degradantes, entre otros. Por ello dentro de los atributos estéticos que ésta presenta, el color de la madera es considerado un atributo de suma importancia al momento de comercializarse (Moya *et al.* s.f), el color de la madera se presenta casi uniforme por lo que se muestra como es una de las especies más importantes del mercado para la elaboración de diversos productos.

A si mismo día con día, al mirar a nuestro alrededor se puede apreciar como en los diferentes entornos en los que se realizan actividades se utiliza la madera como elemento decorativo que se encuentra formando parte de las diferentes estructuras, muchas veces la encontramos en parques donde forma parte de los sitios de juego para niños, en kioscos, enramados, bancas; en nuestros hogares se ven en gran cantidad de formas desde muebles para cocina como en pisos, en exteriores formando columnas ornamentales, barandillas de la terrazas, en estructuras para yates, entre otros muchos sitios (DECORESPACIOS 2009). La exposición a los diferentes factores que la afectan es variado dependiendo del sitio donde se encuentre siendo utilizada. Para este caso la luz proveniente del sol es uno de los fenómenos de la naturaleza que siempre han fascinado a los seres humanos (Souza s.f) pero en este caso específico la radiación que se provee es el factor de estudio, la radiación ultravioleta que existe en el ambiente afecta las propiedades de las maderas, modificándolas y a la forma en que la percibimos, generando cambios de color, y provocando que el consumidor vea la necesidad de protegerla con productos sintéticos, perdiendo así su color natural.

Para la industria de la madera que toma más importancia en el aspecto estético y la apariencia de la madera, es sin duda alguna, el color, el que juega un rol muy importante, porque es a partir de él que el cliente elige utilizar una u otra madera. Por ello que en la actualidad existen diversos parámetros que miden la variación del color en piezas de madera como lo es el sistema CIELAB ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), el cual trabaja los colores sobre un plano cartesiano espacial, definido por tres coordenadas, las cuales registran luminosidad (negro-blanco) y tienen valores de 0 a 100 específicamente, el parámetro  $a^*$  corresponde a rojo-verde, en el que el rojo son valores positivos, y el verde valores negativos y el gris da un valor 0, el parámetro  $b^*$  trabaja con los colores amarillo-azul, el cual registra al primero con valor positivo y al segundo con un valor negativo siendo gris un valor de 0 (Aguilar 2009; Vanclay et al. 2008).

Dada la importancia que tiene los programas de reforestación con Teca y la importancia que le da al valor estético de la madera, y en especial al color cuando dicha madera se ve sometida a una radiación, es que el trabajo tiene como objetivo analizar la radiación ultravioleta (UV) como un factor que incide en los cambios en el color natural de la madera, proveniente de 16 clones de *Tectona grandis* de las zonas de Garza y Peñas Blancas, ubicadas al noroeste de Costa Rica.

## OBJETIVOS

---

### a. General

Establecer el efecto de la radiación ultravioleta (UV) sobre el cambio de color natural de la madera proveniente de 16 clones de *Tectona grandis* de dos zonas del noreste de Costa Rica.

### b. Específicos

- Establecer el proceso de cambio de color de la madera por la exposición a la radiación ultravioleta.
- Modelar matemáticamente el cambio de los parámetros de color de la madera, medido en el sistema CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), por el proceso de aceleración del envejecimiento a través de la radiación.
- Establecer el clon de madera de teca con menos efectos sobre la variación del color de la madera medido por el sistema CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).
- Determinar la influencia que posee la procedencia de la madera sobre la formación de las líneas negras en el duramen de la misma.
- Evaluar los cambios de color en la madera antes de la formación de líneas negras y después de las mismas a partir del cambio ( $\Delta E^*$ ); además de la cuantificación de los cambios de cada uno de los parámetros.

## **HIPOTESIS**

---

La *Tectona grandis* es reconocida como una de las especies más importantes en el mercado nacional e internacional debido a sus variadas características entre ellas la estética de su madera, por ello se espera en una primera evaluación valores de luminosidad cercanos a 100, y luego tras esta primera evaluación del color al inicio del proceso de aceleración del envejecimiento, este va a oscurecerse por efecto de la radiación ultravioleta (UV) por lo que se espera que los valores tiendan a acercarse a 0, por lo que los parámetros del color CIELAB evaluados se espera que muestren diferencias con respecto a los iniciales.

Al darse la aparición de líneas negras en la madera se espera que al evaluar el color antes de la línea este será más oscuro, que si se compara con el que tendrá después de la línea.

## REVISION DE LITERATURA

---

### a. Generalidades de la *Tectona grandis*

Es conocida comúnmente como Teca (Teak) en nuestro país y en aquellos países a los que ha sido introducida, sin embargo, sus nombres varían según el país o región, en la India es conocida con una gran variedad de nombres entre los que figuran “sagun, skhu, shilp tru” (González 2007). Originaria de Birmania, Tailandia y algunas partes de la India (Muralles 2008), esta especie se caracteriza por presentar un fuste recto, con una corteza áspera fisurada de color café claro, que desfolia en placas grandes y delgadas (Fonseca 2004, citado por González 2007), es utilizada en plantaciones en países como el nuestro, Belice, Colombia, Cuba, Venezuela, Panamá, Ecuador, entre otros, sin olvidar su presencia también en el archipiélago Hawaiano y en África como en Cercano Oriente (Weaver, 1993, citado por González 2007).

Es un árbol que alcanza alturas totales de hasta 50 m y diámetros aproximados de 2,5 m, posee raíces grandes (Muralles 2008), con una raíz pivotante gruesa y larga que puede desaparecer o persistir en su desarrollo. Sus hojas son simples, opuestas que van de los 11 a los 85 cm de largo y de 6 a 50 cm de ancho, con peciolo gruesos. Sus condiciones óptimas de crecimiento se dan en climas con una estación seca bien definida de 3 a 5 meses y con temperaturas medias anuales entre 22 y 28° C, con una precipitación media anual de 1250 a 2500 mm. Su ubicación altitudinal se encuentra entre los 0 y 1000 msnm (González 2007). Los suelos poco profundos, compactados o arcillosos, con bajo contenido de calcio o magnesio, con un mal drenaje y altitudes mayores a los 1000 msnm constituyen factores limitantes para que la especie se desarrolle.

La madera en condición verde presenta un duramen de color café claro y en condición seca este cambia a un café rojizo grisáceo; se clasifica como muy pesada, con un peso específico básico promedio de 0,61. La velocidad de secado es moderadamente rápida, presentando

pocos y leves defectos durante este periodo, tales como rajaduras en la superficie y los extremos. Es fácil de trabajar; el duramen es muy difícil de preservar no así la albura. Esta madera es reconocida por su alta resistencia al ataque de organismos xilófagos (Govaere *et al.* 2003). La madera de Teca es conocida por su resistencia natural a los agentes degradantes naturales como lo son la temperatura y humedad, insectos, moluscos, otros organismos marinos y hongos. Además, tiene un aceite antiséptico que la hace muy resistente y la protege del ataque de diversos organismos. Por las características anteriores y por su belleza, se considera una de las especies más valiosas del mundo (Muralles 2008).

#### **b. Composición química de la madera**

Según Muralles (2008) la madera está compuesta por un 50% de carbono, un 42% de oxígeno, un 6% de hidrógeno y el 2% de nitrógeno y otros elementos. De tal manera que la celulosa se encuentra entre un 40-50%, la lignina de 25-30%, la hemicelulosa de 20-25%, y las resinas, taninos y grasas el otro porcentaje restante.

La madera de Teca al igual que otras maderas es un biopolímero<sup>1</sup> tridimensional el cual posee una composición química general, formada por:

- Compuestos esenciales o primarios: como la holocelulosa (celulosa - hemicelulosa) y lignina.
- Compuestos extraños o secundarios: extractos y no extraíbles (Abarca *et al* s.f).

La lignina es un subproducto que se obtiene de los pulpeos químicos de la madera; es un polímero natural cuya estructura se deriva del fenilpropano, a nivel industrial esta es utilizada en la producción de poliuretano (Abarca *et al* s.f).

---

<sup>1</sup> E s una clase de polímero producido por los organismos que viven.

Los ácidos tánicos o como se le conocen comúnmente taninos son glúcidos con propiedades colorantes, los cuales son solubles en agua y en alcohol, que se encuentran en el interior de la planta en estado sólido, además se encuentran en los poros de la superficie de la madera, poseen un olor característico además de su color que varía de amarillo al castaño oscuro es que tiende a oscurecerse al exponerse a la luz (Muralles 2008).

Los extractos son compuestos solubles en diferentes solventes, se clasifican en ácidos volátiles, aceites esenciales, ácidos resinosos y polifenoles, poseen una gran importancia para la industria farmacéutica, sanitaria y en perfumería (Abarca *et al* s.f), además de que estos no forman parte de la composición de las paredes celulares (Muralles 2008).

### **c. Intemperismo**

La degradación de la madera es el resultado de la actividad de agentes biológicos y físicos que modifican algunos de los componentes orgánicos de la madera. Los componentes orgánicos mencionados con anterioridad en el apartado de “composición química de la madera” sufren cambios al ser sometidos a condiciones de intemperismo el cual comprende efectos provocados por la luz, agua, calor, entre otros (Feist y Hon 1984).

Los cambios en la superficie de la madera están relacionados a factores atmosféricos como la radiación solar (ultravioleta, visible y luz infrarroja), la humedad (rocío, lluvia, nieve y humedad relativa), temperatura y oxígeno. La energía generada por la radiación solar es el componente más dañino del ambiente al aire libre y genera una gran variedad de cambios químicos en la madera (Feist y Hon 1984).

## 2. Radiación ultravioleta (UV)

La degradación de la madera por radiación ultravioleta se inicia con bastante rapidez en la superficie de la madera expuesta, lo primero que sucede es que el color de la madera expuesta empieza a adquirir una coloración amarillenta o dorada para dar paso a un eventual envejecimiento. Estos cambios de color se pueden ver relacionados con la descomposición de la lignina en las células superficiales de la madera y son estrictamente un fenómeno de superficie. Estos cambios sólo se producen a una profundidad de 0.05 a 2.5 mm (Feist y Hon 1984).

### 2.1 Tipos de radiación ultravioleta

En forma sencilla se dice que la radiación emitida está compuesta por diferentes espectros de luz y su unidad de medición son los nanómetros ( $\text{nm}^2$ ) y se catalogan de la siguiente manera y se miden nanómetros

- Ultravioleta al vacío (UV-C) (10-280 nm): la cual representa la radiación solar fuera de la atmósfera terrestre y filtrada por la capa de ozono que envuelve la tierra.
- Ultravioleta A (UV-A) (280- 320 nm): esta radiación llega hasta a la superficie terrestre, pero no es capaz de atravesar el vidrio.
- Ultravioleta B (UV-B) (320-400 nm): es la radiación ultravioleta que no logra ser filtrada por el cristal de una ventana (Souza s.f).

---

<sup>2</sup> Un nanómetro es correspondiente a un milímetro dividido entre un millón ( $1\text{nm}=1\times 10^{-6}\text{mm}$ )

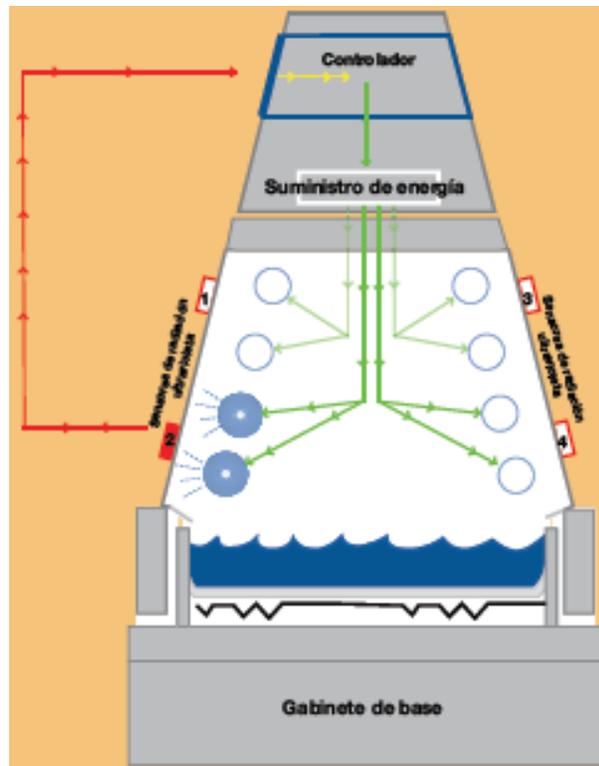
## 2.2 Factores que afectan la radiación ultravioleta

Los niveles de radiación UV que alcanzan la superficie terrestre viene condicionado básicamente por el ángulo cenital solar (condicionado por la hora del día, posición geográfica y época del año) (IMN 2010). Dentro de los factores que afectan la radiación ultravioleta se encuentran:

- **Latitud:** en zonas templadas de la tierra, la radiación es relativamente baja durante el otoño y el invierno, por el contrario en las zonas tropicales debido a una moderada inclinación en el eje de rotación de la tierra hace que se reciba más cantidad de energía solar, por lo que Costa Rica al estar con una latitud promedio de  $10^{\circ}$ , está dentro de una región donde este factor es más importante (TEMIS 2008).
- **Cobertura nubosa:** los niveles de radiación son mayores bajo cielo despejado, como suele suceder en varias regiones de Costa Rica, en los meses de marzo y abril (imn 2010).
- **Altitud:** al darse mayores alturas la capacidad de la atmosfera para “arralar” la radiación, por ello se estima que por cada kilometro que se aumente en altitud, el nivel de radiación aumenta en un 10% (MINAE 2010).
- **Ozono:** la capa de ozono varía de un lugar a otro, en los trópicos la capa de ozono es más delgada que en las zonas templadas y su variación es casi independiente de las estaciones.
- **De la reflexión del suelo:** la reflexión y la dispersión de la radiación ultravioleta provocada por la superficie del agua, el hielo y la nieve son importantes.

#### d. Cámara de envejecimiento

La cámara QUV-Lab expone los materiales en ciclos alternados de radiación ultravioleta y humedad a temperaturas elevadas y reguladas, estas cámaras utilizan lámparas fluorescentes ultravioleta (UV) para simular los efectos de la luz solar. Los tipos de daños incluyen cambio de color, pérdida de brillo, desintegración en polvo, resquebramiento, entre otros (Q-LAB s.f). En la figura 1 se muestra el control que se da sobre la irradiación que es vigilada continuamente y mantenida con precisión a través del “Solar eye” que compara la irradiación medida con el valor nominal por medio de sensores incorporados que miden la luz de cada lámpara y transmiten los datos al controlador.



**Figura 1.** Modo de funcionamiento de la cámara QUV a través del control de irradiación.

*Fuente: Manual QUV-Lab*

## 2. Lámparas de la cámara QUV

Estas lámparas fluorescentes<sup>3</sup> simulan la luz ultravioleta de onda corta crítica y reproducen el daño a las propiedades físicas causadas por la luz solar, en el mercado se ofrecen varios tipos diferentes de lámparas ultravioleta para diferentes aplicaciones, según la norma ASTM se utilizan las siguientes tipos de lámparas según el espectro en que se desea trabajar:

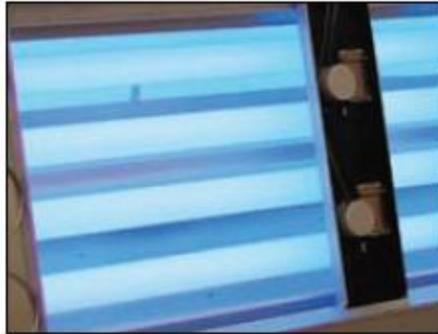
- UVA-340 y UVA-351: los números representan la longitud de onda característica en nm de la emisión máxima de cada uno de estos tipos de lámpara, para este caso el pico de las emisiones actuales son de 343 nm y 350, respectivamente (ASTM G154 2003).
- UVB-313: estas lámparas poseen una distribución espectral de la radiación pico cerca de la línea de mercurio de 313 nm.

### 1.2 Lámparas UVB-313

Estas lámparas incrementan al máximo la aceleración utilizando la radiación ultravioleta de onda corta, que es más severa que la luz ultravioleta encontrada normalmente en la superficie terrestre, por lo que el uso de las mismas pueden producir resultados severos y poco realistas para algunos materiales. Estas suelen ser más útiles en aplicaciones de control de calidad, de investigación y desarrollo y para el ensayo de materiales durables (Q-Lab s.f).

---

<sup>3</sup> Lámpara de descarga de baja presión, en la cual la luz es predominantemente producida por polvo fluorescente distribuido a lo largo de un tubo de vidrio, el cual contiene electrodos a cada lado, vapor de mercurio a baja presión y pequeña cantidad de gas inerte (Souza s.f)



**Figura 2.** Montaje de las lámparas fluorescentes junto con el sistema de controlador de irradiación. Costa Rica; 2010.

#### **e. Color de la madera**

Al ser el color una de las características principales por las cuales los objetos y elementos decorativos que adornan el medio en que nos desarrollamos en catalogado es que muchos expertos lo han evaluado y caracterizado; según Janin *et al.* (2001), el color es una característica de suma importancia que es considerada como una característica de la madera después de realizado un proceso sobre ella.

En un principio la evaluación del color era una técnica que dependía directamente de la visión del observador y de la percepción del mismo por medio de un sistema de referencia al sistema de color Munsell, hoy en día a través de la Comisión Internacional de la Luz (CIE), que han desarrollado un sistema que mide la variación del color en las piezas en forma tridimensional (X, Y y Z); el cual registra la reflectancia de los tres colores primarios y el sistema CIELab cuyos parámetros consideran al color en un plano cartesiano espacial, definido por tres parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (Janin *et al.* 2001).

Para analizar los cambios de color en el tiempo con respecto al color inicial se propone el  $\Delta E^*$ , cuyos resultados son catalogados según Cui *et al.* (2004, citado por Moya s.f) por la forma en que el color es percibido por el ojo humano en cuatro niveles:

- I. Cuando  $\Delta E^*$  varía de 0 a 1,5 el cambio en el color es catalogado como no apreciable.
- II. Cuando  $\Delta E^*$  se encuentra entre 1,5 y 3,0 el cambio en el color es apenas apreciable en la superficie.
- III. Cuando  $\Delta E^*$  varía de 3,0 a 6,0 el cambio es apreciable.
- IV. Cuando  $\Delta E^*$  está entre 6,0 y 12,0 el cambio es muy notable.

# METODOLOGÍA

---

## a. Ubicación geográfica

La realización de este proyecto de tesis se llevó a cabo en el Centro de Investigación en Integración Bosque-Industria (CIIBI), ubicado en el Campus Central del Instituto Tecnológico de Costa Rica ( $9^{\circ}51'N$ ;  $83^{\circ}54'O$ ), en la provincia de Cartago.

## b. Caracterización de la madera a utilizar

- Sitio de obtención de la madera

Se utilizaron clones de *Tectona grandis* (Teca); provenientes de dos plantaciones ubicadas ambas en sitios diferentes de la zona noroeste de Costa Rica. El primer sitio (Garza) se encuentra en la Península de Nicoya, y el segundo (Peñas Blancas) ubicado próximo a la frontera con Nicaragua.

Las muestras que se evaluaron se obtuvieron de ensayos experimentales de la empresa MACORI S.A (Moya *et al.* sf). En forma general las condiciones ambientales para el crecimiento de estos clones se presentan en el cuadro 1.

**Cuadro 1.** Caracterización de los sitios donde se da el crecimiento de los clones seleccionados.

Condiciones	Sitios	
	Garza	Peñas Blancas
Precipitación Promedio	1594 mm	1745 mm
Temperatura media anual	26°C	27°C
Época seca*	4 meses	5 meses
Caracterización del suelo	pH= 6-7 Pendiente= 3%	pH= 5-6 Pendiente= 3%

\* sin ningún tipo de precipitación

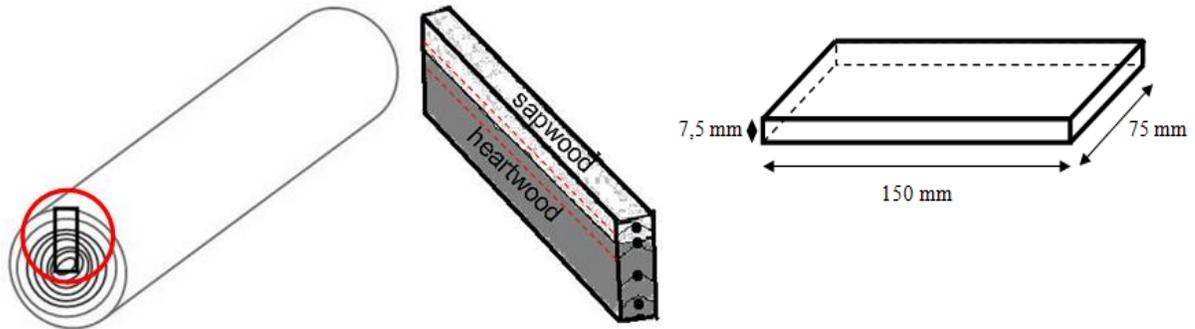
- Material de las muestras

Se obtuvo la madera de arboles de Teca provenientes de plantaciones de 10 años. Estos fueron seleccionados de ensayos en los cuales había 40 clones plantados en 5 bloques, dentro de los cuales existía dos individuos de cada clon haciendo un total de 80 árboles, y en cuyas condiciones y al momento del estudio solo 20 clones presentaron todos sus individuos completos (Moya *et al.* sf). Según los datos brindados por Moya (s.f) se obtuvo que para la zona de Garza los valores promedio para el diámetro de los árboles fue de 19,37 cm (14,95-22,65) y el promedio total de su altura fue de 17,66 m (13,90-19,85); mientras que para la zona de Peñas Blancas el promedio para el diámetro fue de 22,82 (19,05-29,95) y para la altura total su promedio fue de 18,11 m (14,43-19,97).

- Muestras

Las muestras que se utilizaron son de dimensiones de 75mm x 150 mm, con un espesor próximo a los 7,5 mm que se obtuvieron de la parte más cercana al duramen de la pieza de

madera (figura 1), esto para que sus propiedades no se vean afectadas por su cercanía a la medula, dichas muestras fueron obtenidas de un corte tangencial.



**Figura 3.** Obtención de la pieza de donde se tomo el material para los paneles y dimensión del mismo (muestras)

Se trabajó con un total de 16 clones los cuales tuvieron 3 repeticiones, de las que de cada una se saco una muestra, por lo que será un total de 48 muestras.

Estas fueron codificadas asignándoles primero el numero de clon, luego la repetición y por último su ubicación dentro de la pieza de madera (Norte, Sur, Este u Oeste). En este caso solo se utilizaron las piezas ubicadas al norte o al sur. Además se les marco el sitio exacto en donde se llevaron a cabo todos los muestreos de color.

### c. Radiación ultravioleta

Las muestras se colocaron en la cámara QUV (*Q-Lab :Accelerated Weathering Tester*), el cual simulo las condiciones de radiación ultravioleta (UV) con una lámpara UVB-313 específicamente, las condiciones que esta cámara tuvo se ajustaron de acuerdo a la norma internacional ASTM G154 (*Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials*); las muestras se colocaron en pares dentro de platinas que poseen un área de exposición  $58 \text{ cm}^2$  aproximadamente cada una y estarán recubiertas por platinas lisas

para evitar que el área expuesta de la pieza se mueva (figura 4 ), cada uno de los 16 clones con sus tres repeticiones tuvieron que estar por un periodo de 500 horas sometidas a radiación y se colocaron al azar dentro de la cámara y se tendrán periodos de muestreo del color de 50 horas.



**Figura 4.** Cámara QUV para radiación ultravioleta. Costa Rica; 2010.

#### **d. Determinación del color de la madera**

El color de la madera se obtuvo al inicio y durante el proceso de aceleración de envejecimiento con cámara QUV con radiación ultravioleta como único factor, esta se medirá en la mitad de la longitud de la muestra sobre un punto específico marcado con anterioridad y se indicaran si las mediciones se hacían sobre madera de albura o duramen. Estas mediciones se llevaran a cabo mediante un espectrofotómetro de la marca mini Scan portable XE Plus de HunterLab. Las mediciones de color se realizaron a temperatura ambiente y se utilizó el sistema CIELAB como sistema cromatológico estandarizado el cual se basa en 3 parámetros ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ). El rango de esta medida es de 400 a 700 nm, con una apertura en el punto de medición de 11 mm. Para la observación de la reflexión se incluyó el componente especular (SCI mode), en un ángulo de  $10^\circ$  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) (Aguilar 2009).

Se ejecuto la medición del color en un total de 11 evaluaciones como se muestran en el cuadro 2, este se estará ejecutando en tiempo aproximado a 3 semanas y media (anexo 1).

#### **e. Evaluación de “black-streaked” (líneas negras) en el duramen**

Para la evaluación de estas líneas primero se tomaron las dos distintas procedencias y en cada una de ellas se evaluaron las diferentes piezas, se evaluó la cantidad de líneas negras presentes en el duramen, la cantidad de anillos que se pueden apreciar en la pieza y cuántos de ellos son duramen o albura. También se especificó en cuales anillos es que se da la presencia de líneas negras.

##### **i. Evaluación del color**

Se seleccionaron aquellas piezas acorde con los clones que se trabajaron en la cámara, a cada una de ellas se les midió el color antes de la línea y después de la línea, estas mediciones se llevaron a cabo mediante un espectrofotómetro de la marca mini Scan portable XE Plus de HunterLab y se siguieron las mismas pautas expuestas en el punto h. Para llegar a cada una de las líneas se trabajara con la lijadora de cantos perteneciente a la Escuela de Ingeniería Forestal, y que se encuentra en el CIIBI.

#### **f. Análisis de datos**

Se determino la variación del color que sufrió la madera al someterse a la aceleración del envejecimiento, y se analizaron los coeficientes de los parámetros del color del CIELab, esto de acuerdo a lo requerido por los objetivos.

1. Establecer el proceso de cambio de color de la madera por la exposición a la radiación ultravioleta.

Se realizó una comparación entre cada uno de los parámetros ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) a las 0 horas y a las 500 horas, de los cuales se obtuvo su promedio ( $X$ ), desviación estándar ( $S$ ) y coeficiente de variación ( $CV\%$ ), para cada uno de los clones.

Se graficó los puntos medios del color para cada clon y sus respectivos índices de confianza (IC) (Fórmula 1), para comparar con mayor facilidad el color, tanto para el color inicial (0 horas); como para el color final (500 horas).

$$= \quad = \text{(Fórmula 1)}$$

2. Modelar matemáticamente el cambio de los parámetros de color de la madera, medidos por el sistema CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), por el proceso de aceleración del envejecimiento por radiación.

Se tomó cada uno de los clones con sus respectivas repeticiones, cada uno de ellos tendrán una descripción numérica brindada por el sistema CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ) las cuales serán las variables dependientes cada una de ellas, y se tendrá como variables independientes al tiempo ( $h$ ) y tiempo al cuadrado ( $h^2$ ). Se realizó una regresión para cada una de las variables dependientes, se obtuvo el coeficiente de determinación  $R^2$ , y los coeficientes para cada una de las variables independientes. Se estimó el error de la ecuación a partir de la siguiente fórmula que según Ortiz (2007) permitirá obtener el error estándar de la estimación ( $S_{yx}$ ) (Fórmula 2).

$$\frac{\quad}{\quad}$$

3. Establecer el clon de madera de teca con menos efectos sobre la variación del color de la madera medido por el sistema CIE ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ).

Para obtener el clon con la menor variación del color, durante el tiempo transcurrido en la cámara se calculo un delta e ( $\Delta E^*$ ) (Fórmula 3), el cual calculo la diferencia de color con respecto al color inicial.

---

Luego al obtener el  $\Delta E^*$  de cada muestra se obtuvo un promedio de este cambio para cada clon, con este valor se calculara con una prueba de Tukey utilizando el programa InfoSTAT (versión estudiantil 2008) cuál es el clon con la menor variación de color y también cual es el periodo de tiempo en el que se dio.

4. Determinar la influencia que posee la procedencia de la madera sobre la formación de las líneas negras en el duramen de la misma.

Se trabajo para este caso con el número total de anillos y el número de líneas para cada una de las muestras, luego por medio del uso de herramientas de Excel se realizo el promedio por cada clon en el número de anillos y en el número de líneas. Luego se grafico por medio de un grafico de líneas en que se podrán observar cómo se da la oscilación para el numero de anillos y el número de líneas para cada clon, este proceso se realizo para la zona de Garza y Peñas Blancas. Finalmente se realizo un grafico en el que se comparara el número de líneas negras para cada zona.

En este punto también se determino para cada anillo el porcentaje de líneas presentes según el clon y para cada una de las zonas. Y el promedio total de líneas para cada zona.

5. Evaluar los cambios de color en la madera antes de la formación de líneas negras y después de estas a partir del cambio de color en el tiempo ( $\Delta E^*$ ), además de la cuantificación de los cambios de cada uno de los parámetros.

Se realizó una comparación entre cada uno de los parámetros ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ) para dos casos en el primer caso “con línea” y para el segundo caso “sin línea”, de los cuales se obtuvo su promedio ( $\bar{X}$ ), y coeficiente de variación ( $CV\%$ ), para cada uno de los clones, esto se realizó para ambas procedencias.

En el siguiente punto se calculó para cada parámetro el cambio producido a partir de las fórmulas (4,5 y 6)

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

Y luego a partir del programa Excel se obtuvo el promedio del cambio para cada parámetro y para el cambio total  $\Delta E^*$  (fórmula 3) también se obtendrá su coeficiente de variación ( $CV\%$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el cuadro 2 vemos como varían los parámetros del color inicial con respecto al color final y sus respectivas variables de tendencia central y de dispersión.

**Cuadro 2.** Descripción general del cambio de color en la madera de 16 clones de *Tectona grandis* procedentes de Garza y Peñas Blancas, tras 500 horas de radiación UV en cámara QUV. Costa Rica, 2010.

CLON	Color inicial (0 hrs)									Color final (500 hrs)								
	L*			a*			b*			L*			a*			b*		
	X	S	CV	X	S	CV	X	S	CV	X	S	CV	X	S	CV	X	S	CV
<b>2</b>	59,72	4,20	7,04	8,74	0,96	10,96	26,32	1,54	5,86	52,96	2,60	4,90	10,23	0,64	6,23	28,34	1,35	4,76
<b>8</b>	64,43	6,10	9,46	7,44	1,03	13,87	24,50	3,89	15,89	55,59	5,20	9,35	9,80	1,34	13,64	29,94	0,45	1,50
<b>18</b>	62,38	4,06	6,51	7,81	0,80	10,24	27,50	1,91	6,95	53,02	2,36	4,45	10,72	0,55	5,15	28,41	1,35	4,75
<b>33</b>	66,24	1,14	1,72	6,52	0,30	4,67	25,18	0,40	1,57	54,38	0,81	1,50	10,38	0,40	3,85	28,36	1,79	6,30
<b>55</b>	64,55	1,79	2,77	6,77	0,70	10,27	26,99	4,37	16,17	56,43	3,42	6,05	10,23	0,93	9,06	30,34	2,48	8,16
<b>60</b>	61,43	3,91	6,37	7,84	0,26	3,30	25,69	1,93	7,53	56,07	3,88	6,92	9,27	1,37	14,73	28,34	1,62	5,70
<b>62</b>	56,63	4,55	8,04	7,47	0,90	12,11	27,04	2,58	9,53	52,11	3,61	6,93	9,10	1,05	11,55	28,94	1,21	4,19
<b>79</b>	68,45	2,46	3,59	6,95	0,55	7,86	27,92	1,23	4,39	57,09	3,70	6,48	10,49	1,27	12,11	28,96	2,23	7,71
<b>81</b>	61,57	4,35	7,07	7,85	0,75	9,50	25,21	1,98	7,86	53,70	1,94	3,61	10,07	0,16	1,63	29,02	2,20	7,57
<b>101</b>	55,22	2,80	5,06	7,62	0,23	3,02	21,03	1,31	6,24	48,29	0,92	1,90	9,45	1,19	12,59	26,36	2,92	11,09
<b>102</b>	65,75	7,80	11,86	5,38	0,95	17,68	26,92	2,73	10,13	53,82	5,21	9,68	10,63	0,16	1,48	29,56	3,03	10,26

<b>103</b>	59,95	5,14	8,58	6,89	0,34	4,87	24,55	1,01	4,12	52,45	1,47	2,80	9,39	1,16	12,36	26,07	0,47	1,82
<b>105</b>	58,57	2,85	4,87	7,20	1,79	24,82	28,62	3,94	13,77	50,36	2,49	4,94	10,52	1,42	13,48	28,06	1,96	7,00
<b>106</b>	58,14	2,89	4,97	8,16	0,35	4,23	24,38	2,00	8,21	51,15	1,66	3,24	9,86	0,15	1,52	26,87	0,73	2,73
<b>109</b>	61,02	2,16	3,53	7,28	1,05	14,45	27,05	0,37	1,36	51,07	1,91	3,74	10,44	0,09	0,84	27,95	2,00	7,17
<b>151</b>	65,95	5,39	8,18	6,85	1,37	19,97	28,95	1,87	6,45	54,02	2,74	5,07	10,78	0,27	2,46	29,51	1,32	4,46

*Fuente: Base de datos*

En el cuadro 2 se muestra el cambio general que sufrió el color la madera de Teca al ser sometida a la cámara de aceleración del envejecimiento, como era de esperarse los valores en el parámetro L\* fueron mayores en el inicio del proceso con un promedio de 61,87 (55,22-68,45) a diferencia del color final cuyo valor promedio fue de 53,28 (48,29-57,09), lo que nos indica que el nivel de claridad a lo largo del blanco (100) y negro (0) que poseían las piezas en un inicio, tendió a 0, es decir a oscurecerse (Janin *et al.* 2001).

Para los valores de a\* se presentó un mayor cambio de los valores finales pues estos aumentaron con respecto a los iniciales que tuvieron un promedio 7,30 (5,38-8,74), mientras que en el color final el promedio obtenido fue de 10,08 (9,10-10,78), podría decirse que este tendió a un rojizo; en el parámetro b\* los valores finales fueron mayores a los iniciales sin embargo para el clon 105 el valor inicial fue mayor al final. El valor promedio para b\* en el color inicial fue de 26,12 (21,03-28,95), mientras que para el color final fue de 28,44 (26,07-30,34), la unión de estos tres parámetros son los que crean el sistema de coordenadas tridimensionales y ayudan a la representación del color sólido (Janin *et al.* 2001)

Con respecto a los valores en el color inicial en L\* el mayor valor de S lo dio el clon 102 (7,80) y la menor desviación estándar la presentó el clon 33 (1,14) lo que nos indica que en su color inicial las muestras eran similares entre ellas; en el parámetro a\* el mayor valor de S lo obtuvo el clon 105 (1,79) y el menor valor el clon 101 (0,23). En el parámetro b\* fue el clon 55 (4,37) el que tuvo la mayor desviación; mientras que la menor la tuvo el clon 109 (0,37). Para el color final los valores más altos en la desviación estándar en cada parámetro fueron para los clones 102 (L\* y b\*) y 106 (a\*) con valores de L\*, a\* y b\* de 5,21-1,42-3,03 respectivamente, mientras que los más bajos fueron para los clones 33, 109 y 8 (0,81-0,09-0,45). Con respecto al CV se puede decir que entre más pequeña sea la desviación estándar menor será la dispersión de los datos y viceversa (Monge 2007) <sup>4</sup>

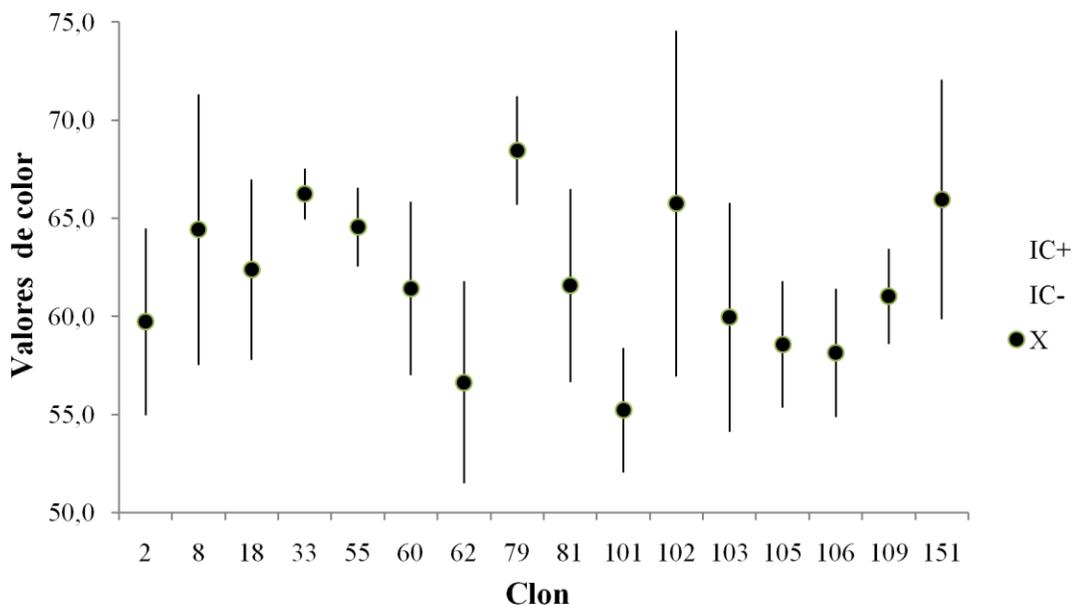
Para el CV en el color inicial de la madera se obtuvo que el promedio para L\* estuvo en 6,23% (1,72-11,86 %), el a\* tuvo un promedio de 10,74% (3,02-24,82%) y b\* tuvo una media 7,88% (1,36-16,17). En el color final los valores de L\* fueron de 5,10% (1,50-9,68%), para a\* el promedio fue de 7,67%(0,84-14,73%) y para b\* el valor medio fue de 5,95% (1,50-11,09%). Moya y Berrocal (2009) reportan datos de CV para los parámetros L\*, a\* y b\* de 4,7% , 33,3% y 11,7% respectivamente. Sin embargo, estos datos tan solo muestran un punto de referencia pues en nuestro caso trabajamos con madera de duramen.

Según Janin *et al.* (2001) la importancia de aplicar este sistema para la descripción del color es la de poder clasificar la madera según sus tonalidades y que al momento de esta ingresar al mercado se pueda ofrecer al consumidor piezas que coincidan entre sí, y así generar una mayor adquisición del producto a partir de la estética, como lo es el control del color. Por lo que en este primer análisis de datos en el que tan solo se analizan medidas de tendencia central y de dispersión se puede decir que el color de la madera tiende a oscurecerse.

---

<sup>4</sup> Monge, F. 2007. Análisis estadístico (entrevista). Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica

En la figura 5 se muestra los valores promedios del color en el inicio para el parámetro L\* y sus intervalos de confianza, con lo que se pretende demostrar la similitud o la falta de ella en este parámetro para los diferentes clones que se evaluaron.

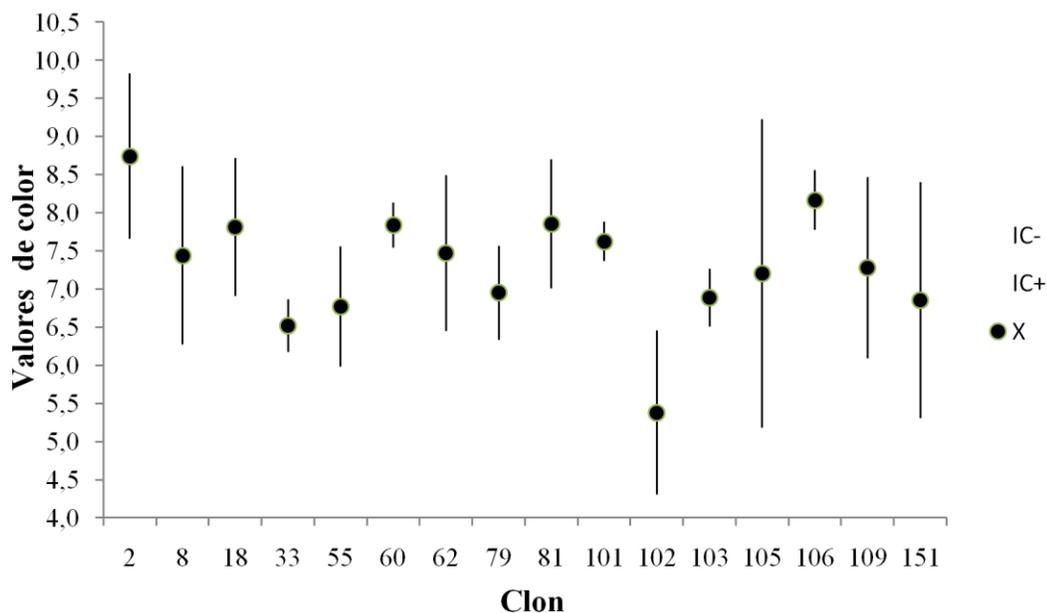


**Figura 5.** Valores promedios del color inicial según clon, y sus intervalos de confianza para el parámetro L\* (luminosidad), con un  $\alpha$  de 95%. Costa Rica, 2010.

Según los valores promedios de L\*, mostrados en la figura 5, se aprecia más claramente la distribución de los clones, para un rango de 55,0-60,0 se observa a los clones 2, 62, 101, 103, 105 y 106, en el rango que va de los 60,0-65,0 observamos a los clones 8, 18, 55, 60, 81 y 109; mientras que para el rango de 65,0-70,0 a los clones 33, 79, 102 y 151, al obtener los IC observamos como el clon 102 posee los IC más amplios lo que nos indica que los valores de L\* para las muestras de este clon se encontraban muy lejanas de la media, lo mismo apreciamos para el clon 8 lo que provoca el traslape con otros de los clones lo que significa estadísticamente que el color en algunos de los casos puede coincidir con el de otro clon.

Estos valores pueden deberse a que las muestras que se trabajaron para cada clon eran exclusivamente de duramen que se obtenían respecto a su distancia de la medula lo que puede provocar que ciertas muestras fueran del interior del tronco y según Muralles (2008) este tipo de madera está constituido por tejidos que han llegado a su máximo desarrollo y cuya coloración a veces suele ser más oscura que la exterior. Es importante mencionar que cuando se da el traslape entre los diferentes IC para cada clon significa que sus valores en L\* son estadísticamente similares entre sí.

En la figura 6 se muestra los valores promedios del color en el inicio para el parámetro a\* y sus intervalos de confianza, con lo que se pretende demostrar la similitud o la falta de ella en este parámetro para los diferentes clones que se evaluaron.

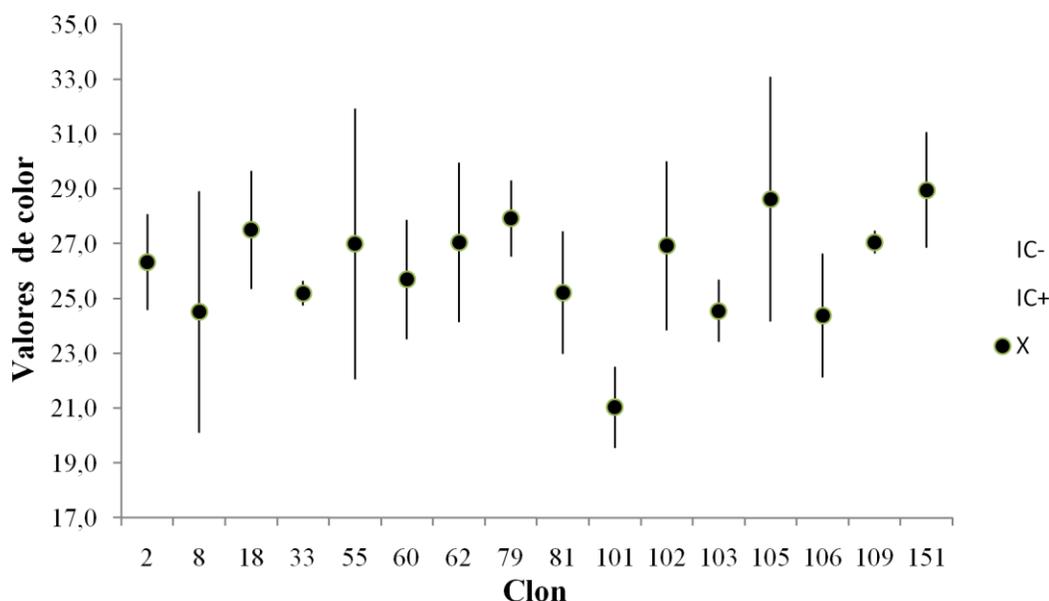


**Figura 6.** Valores promedios del color inicial según clon, y sus intervalos de confianza para el parámetro a\*, con un  $\alpha$  de 95%. Costa Rica, 2010.

En la figura 6 se observa cómo se dan valores agrupados para este parámetro; que describe al color en el eje x con valores que se mueven del verde (-a\*) al rojo (+a) (Janin et al. 2001).

Estos datos que se muestran agrupados los podemos apreciar en el rango de 7,0 a 8,5 y encontramos a los clones 8, 18, 60, 62, 81, 101, 105, 106 y 109, representado un 56,25% del total mientras que un 6,25% de los datos se encuentra en el rango de 4,0-5,5 al igual que es rango de 8,5-10,0, con el clon 2 y 102 respectivamente; mientras que el restante 31,25% lo tiene el rango de 5,5-7,0. En el caso del clon 105 podemos observar cómo se presenta un intervalo de confianza muy grande para ambos extremos y que al compararse con los clones 60 y 101, podemos pensar que los valores para el clon 105 en este parámetro en las muestras distan del valor medio, es decir se encuentran muy dispersos, además este traslapa a la mayoría de los clones por los que su colores podrían ser similares estadísticamente hablando.

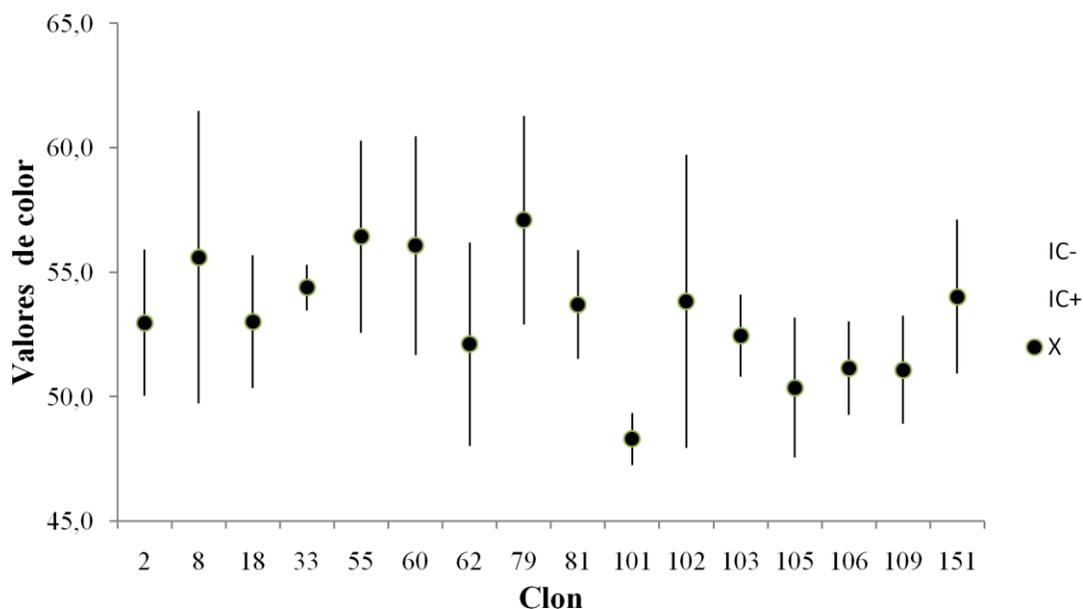
En la figura 7 se muestra los valores promedios del color en el inicio para el parámetro  $b^*$  y sus intervalos de confianza, con lo que se pretende demostrar la similitud o la falta de ella en este parámetro para los diferentes clones que se evaluaron.



**Figura 7.** Valores promedios del color inicial según clon, y sus índices de confianza para el parámetro  $b^*$ , con un  $\alpha$  de 95%. Costa Rica, 2010.

Los valores de  $b^*$  los encontramos en el eje y, cuyos valores se mueven del azul ( $-b^*$ ) al amarillo ( $+b^*$ ) (Janin *et al.* 2001). Para el caso de este parámetro los datos se agrupan en un 93,75% entre los 23,0 y 29,0, mientras que el restante 6,25% lo encontramos entre los 17,0 y 23,0. En el gráfico se observa que los valores de las muestras del clon 33 y 109 se encontraban muy cerca de la media; mientras que para el clon 8, 55 y 105 ocurren lo contrario. Al darse un traslape entre los valores de los IC nos indica que las muestras de los diferentes clones pueden coincidir en el valor de este parámetro al igual puede darse en las otras variables del color anteriormente vistos.

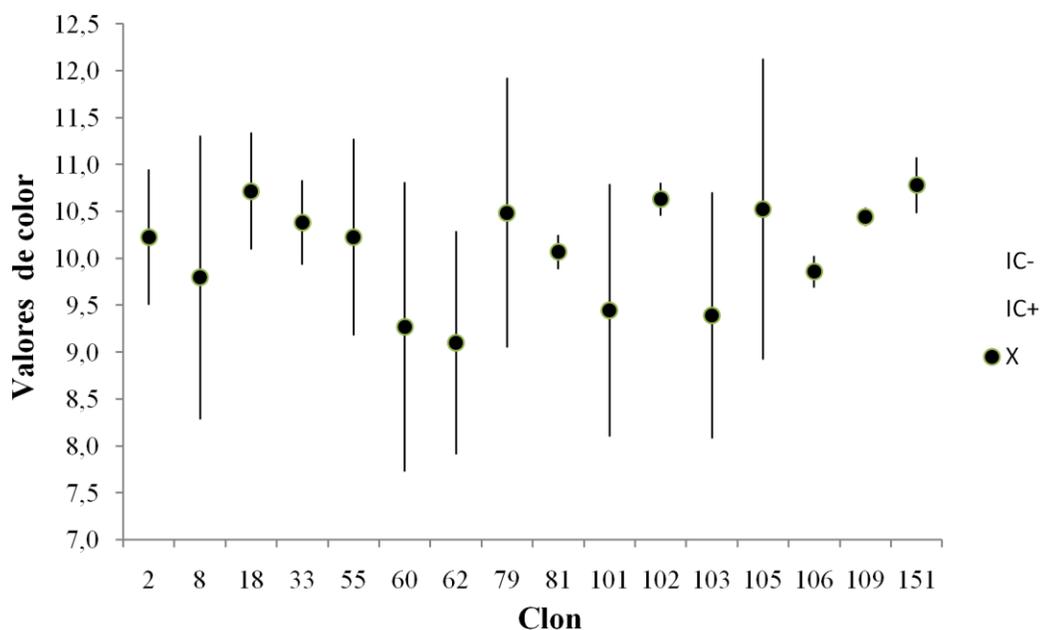
En la figura 8 se pueden observar los cambios que se dieron en el parámetro  $L^*$  después de sometido las muestras durante 500 horas dentro de la cámara de aceleración de envejecimiento en la que se sometió a radiación ultravioleta como único factor para propiciar la degradación del color.



**Figura 8.** Valores promedios del color final según clon, y sus índices de confianza para el parámetro  $L^*$ , con un  $\alpha$  de 95%. Costa Rica, 2010.

Para el caso del parámetro  $L^*$ , se observa que en general una disminución en el valor de  $L^*$ , provocando con ello que el color original que se presentó al inicio (Figura 5), tendiera a oscurecerse; sin embargo para los IC observados se puede observar que para la mayoría de los casos estos bajaron o se mantuvieron generando una menor dispersión respecto al promedio. El oscurecimiento del color provocando un amarronamiento y otras alteraciones estructurales dentro de la madera que no son percibidas al ojo humano, forman parte de las alteraciones que se consideran van a ser causadas a los polímeros en este caso a la madera por una fuente de radiación ultravioleta (Rodríguez y Fuentes 2003).

En la figura 9 se pueden observar la variación del parámetro  $a^*$  después de sometido las muestras durante 500 horas dentro de la cámara de aceleración de envejecimiento.

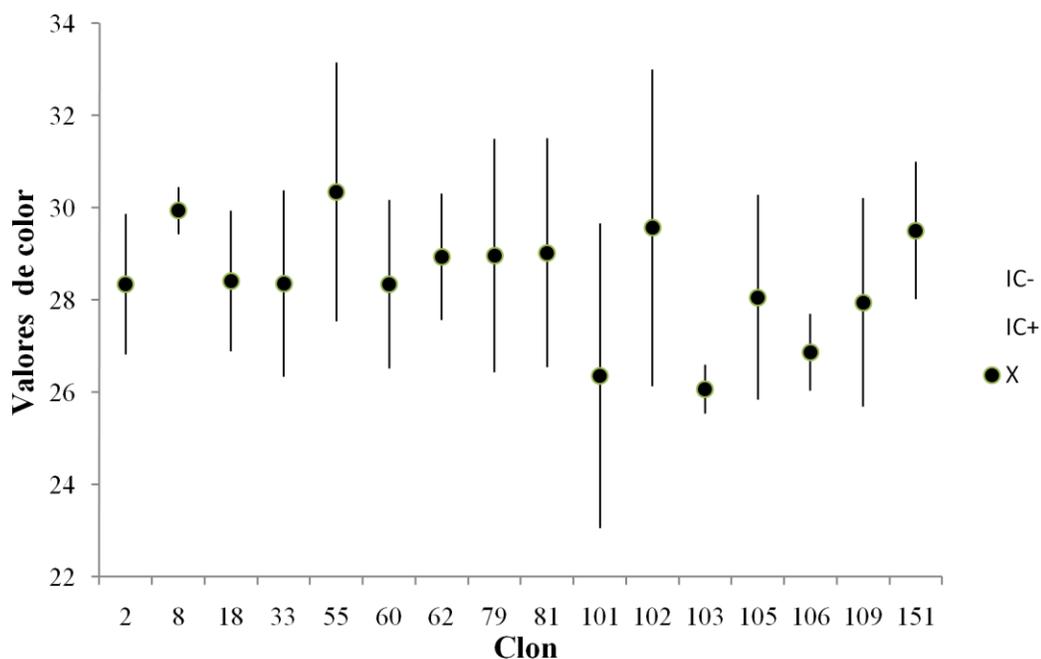


**Figura 9.** Valores promedios del color final según clon, y sus intervalos de confianza para el parámetro  $a^*$ , con un  $\alpha$  de 95%. Costa Rica, 2010.

En este caso el valor de los IC genera un mayor traslape entre los clones lo que provoca que los colores entre ellos puedan ser estadísticamente similares, además los valores fueron superiores a los mostrados en un inicio antes de iniciarse el proceso en la cámara, por lo que

los colores en este caso tendrán una composición en tonos rojizos (Janin *et al.* 2001). Cabe destacar que para los clones 60 y 105 los datos estuvieron muy dispersos con respecto a la media, y esto se puede comprobar al observar sus CV en el cuadro 2. En este grafico se encuentra que un 37,5% de los clones se encuentran entre los 8,5-10,0, y el resto (62,5%) lo encontramos entre los 10,0 y 11,5.

En la figura 10 se pueden observar la variación del parámetro  $b^*$  después de sometido las muestras durante 500 horas dentro de la cámara de aceleración de envejecimiento.



**Figura 10.** Valores promedios del color final según clon, y sus intervalos de confianza para el parámetro  $b^*$ , con un  $\alpha$  de 95%. Costa Rica, 2010.

Para la figura 10 observamos que los valores de este parámetro aumentaron con respecto a los tomados al inicio, además de que los datos mostraron un mayor valor en sus IC tal es el caso del clon 109 y 33 cuyo valor de S aumento considerablemente con respecto a los del inicio

provocando este aumento. El clon 8 mostro una disminuci3n en su S lo que genero que sus IC disminuyeran. Del total de los clones un 62,5% se encuentran entre los 28-30; un 6,25% de 30-32, y los dem1s entre los 26,0-28. Este aumento en b\* genera que las maderas tendr1n una composici3n de tonos amarillos (Janin *et al.* 2001).

En el cuadro 3 se muestran las ecuaciones de los parámetros del CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ), en función del tiempo (h) y tiempo al cuadrado ( $h^2$ ), con el fin de obtener una los mejores resultados en el modelo de regresión.

**Cuadro 3.** Análisis de Regresión para cada uno de los parámetros del CIELab ( $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ), según su variación en el tiempo y para cada clon de Teca, provenientes de la zona de Garza y Peñas Blancas. Costa Rica; 2010.

Clon	Parámetro	Regresión	$R^{2*}$	Error
2	$L^*$	$L^* = 59,6301 - 0,0447h + 0,0001h^2$	0,38	2,95
	$a^*$	$a^* = 8,8024 + 0,0039 h - 2,49417E-06 h^2$	0,37	0,57
	$b^*$	$b^* = 28,3824 + 0,0096 h - 1,908E-05 h^2$	0,06	1,74
8	$L^*$	$L^* = 63,3828 - 0,0500 h + 7,22455E-05 h^2$	0,25	4,96
	$a^*$	$a^* = 8,0306 + 0,0090 h - 1,0258E-05 h^2$	0,17	1,52
	$b^*$	$b^* = 26,9967 + 0,0138 h - 1,70614E-05 h^2$	0,10	2,91
18	$L^*$	$L^* = 61,6523 - 0,0596 h + 9,33256E-05 h^2$	0,59	2,53
	$a^*$	$a^* = 8,6321 + 0,0072 h - 6,28283E-06 h^2$	0,51	0,67
	$b^*$	$b^* = 28,9576 + 0,0100 h - 2,22284E-05 h^2$	0,09	1,77
33	$L^*$	$L^* = 63,5782 - 0,0593 h + 9,16317E-05 h^2$	0,60	2,53
	$a^*$	$a^* = 7,5094 + 0,0103 h - 1,05501E-05 h^2$	0,50	0,86
	$b^*$	$b^* = 26,9177 + 0,0202 h - 3,30785E-05 h^2$	0,26	1,64
55	$L^*$	$L^* = 63,1132 - 0,0406 h + 5,94219E-05 h^2$	0,32	3,29
	$a^*$	$a^* = 7,8210 + 0,0101 h - 1,0956E-05 h^2$	0,44	0,91
	$b^*$	$b^* = 28,6568 + 0,0241 h - 4,43714E-05 h^2$	0,19	2,23
60	$L^*$	$L^* = 61,3882 - 0,0414 h + 6,5459E-05 h^2$	0,29	3,27
	$a^*$	$a^* = 8,0611 + 0,0062 h - 7,4685E-06 h^2$	0,32	0,65
	$b^*$	$b^* = 28,0476 + 0,0109 h - 2,2788E-05 h^2$	0,09	1,71
62	$L^*$	$L^* = 57,6400 - 0,0362 h + 5,5061E-05 h^2$	0,27	3,18
	$a^*$	$a^* = 7,9734 + 0,0072 h - 8,8298E-06 h^2$	0,24	0,89
	$b^*$	$b^* = 28,8282 + 0,0026 h - 6,7723E-06 h^2$	0,01	1,81
79	$L^*$	$L^* = 66,6304 - 0,0691 h + 0,0001 h^2$	0,53	3,31

	$a^*$	$a^*=7,9029+0,0093 h-8,7148E-06 h^2$	0,34	1,17
	$b^*$	$b^*= 29,6328+0,0106 h-2,241E-05h^2$	0,05	2,27
	$L^*$	$L^*=61,3302-0,0605 h+9,8693E-05 h^2$	0,30	4,48
<b>81</b>	$a^*$	$a^*=8,1132+0,0046 h-7,2572E-07 h^2$	0,48	0,73
	$b^*$	$b^*= 27,6359+0,0133 h-2,1815E-05 h^2$	0,06	2,63
	$L^*$	$L^*=55,3902-0,0496 h+7,5124E-05 h^2$	0,68	1,83
<b>101</b>	$a^*$	$a^*=7,9007+0,0077 h-7,728E-06 h^2$	0,41	0,8
	$b^*$	$b^*= 23,6870+0,0193 h-3,2182E-05 h^2$	0,16	2,1
	$L^*$	$L^*=63,5870-0,0615 h+9,2485E-05 h^2$	0,27	5,39
<b>102</b>	$a^*$	$a^*=-6,8047+0,0163 h-1,9033E-05 h^2$	0,63	0,93
	$b^*$	$b^*=28,6823+0,0126 h-2,3958E-05 h^2$	0,03	3,12
	$L^*$	$L^*=59,4801-0,0473 h+7,0095E-05 h^2$	0,49	2,64
<b>103</b>	$a^*$	$a^*=7,7280+0,0070 h-7,826E-06 h^2$	0,36	0,72
	$b^*$	$b^*=26,4620+0,0071 h-1,8154E-05 h^2$	0,08	1,77
	$L^*$	$L^*=57,7644-0,0475 h+7,372E-05 h^2$	0,45	2,73
<b>105</b>	$a^*$	$a^*= 8,0337+0,0121 h-1,5385E-05 h^2$	0,27	1,33
	$b^*$	$b^*=29,4901-0,0027 h+1,0132E-06 h^2$	0,03	2,2
	$L^*$	$L^*=58,0067-0,0389 h+5,8242E-05 h^2$	0,39	2,65
<b>106</b>	$a^*$	$a^*= 8,4752+0,0010 h+4,6869E-06 h^2$	0,55	0,51
	$b^*$	$b^*=26,3976+0,0176 h-3,3475E-05 h^2$	0,13	2,02
	$L^*$	$L^*=59,5786-0,0519 h+7,7321E-05 h^2$	0,61	2,27
<b>109</b>	$a^*$	$a^*= 8,0324+0,0094 h-9,3737E-06 h^2$	0,60	0,67
	$b^*$	$b^*= 28,3140+0,0077 h-1,6769E-05 h^2$	0,05	1,77
	$L^*$	$L^*=64,3688-0,0616 h+9,0757E-05 h^2$	0,59	2,85
<b>151</b>	$a^*$	$a^*= 8,0083+0,0133 h-1,6235E-05 h^2$	0,56	0,84
	$b^*$	$b^*= 30,9995-0,0024 h-1,7949E-06 h^2$	0,11	1,59

\* $R^2$ : Coeficiente de determinación  $R^2$

Error: Error estándar de la estimación (Syx)

Fuente: Base de datos

En el cuadro 3 se muestra el mejor ajuste matemático para los diferentes parámetros del CIELab, en función del tiempo. Según Ortiz (2007) uno de los criterios estadísticos para la selección del mejor modelo es el coeficiente de determinación  $R^2$ . Por lo que para el parámetro

L\* se obtuvo que los mejores 5 modelos de regresión lo tuvieron los clones 101, 109, 33,18 y 151 con valores de 0,68- 0,61- 0,60- 0,59 y 0,59 respectivamente; mientras que el modelo de regresión más malo lo tuvo el clon 8 con un  $R^2$  de 0,25. Para el parámetro a\* el mejor modelo de regresión lo tuvo el clon 102 con un  $R^2$  de 0,63; los otros clones con mejor coeficiente de determinación fueron el 109 (0,60), 151 (0,56), 106 (0,55) y 18 (0,51).

Para el parámetro b\*, este coeficiente de determinación no fue el mejor para todos los casos, lo que indica que la variación total observada en la variable dependiente, para el coeficiente de determinación  $R^2$  es cercana a 0; sin embargo, los valores más altos para este parámetro lo presentaron los clones 33, 51, 101, 106 y 151 con valores de 0,26- 0,19- 0,16- 0,13 y 0,11 respectivamente. Para este parámetro el modelo que presentó el ajuste menos recomendable le correspondió al clon 62 (0,01). Cabe destacar que el coeficiente de determinación incrementa a medida que se incluyen más variables independientes en el modelo de ajuste.

Según Ortiz (2001), otro de los parámetros y el segundo estadístico más usado para comparar modelos es el error estándar de la estimación (Syx), el cual se encuentra en función del número de los coeficientes de regresión incluidos en el ajuste. Para el parámetro L\* el mejor modelo según este estadístico es el del clon 101 con un valor de 1,83 y el modelo matemático con el valor más elevado del error es el perteneciente al clon 102 (5,39). Para el parámetro a\* el clon con el error más bajo fue el 106 (0,51) y el más elevado fue para la ecuación del clon 8 (1,52). En el caso del parámetro b\* el error más bajo para la ecuación lo tuvo el clon 151 con un valor de 1,59; mientras que la ecuación con el error más alto la tuvo el clon 102 con un valor de 3,12.

Es importante decir que este sistema de ecuaciones es exclusivo para la especie *Tectona grandis* (Teca), y creado para calcular cada uno de los parámetros en función de las horas en que se realizó el proceso de aceleración de envejecimiento (500) con periodos de evaluación del color cada 50 horas, y una evaluación inicial, es importante saber que las condiciones con las cuales se llevaron a cabo este proyecto deben de ser similares. Por lo que su rango de uso

está limitado por la especie, tiempo de evaluación, norma a aplicar en el proceso dentro de la cámara, tipo de lámpara, entre otros.

En el cuadro 4 se muestra una diferenciación entre los clones, para ello se busco al que presentó la menor variación del color después de someterse a las piezas a la cámara de intemperismo por un periodo de 500 horas.

**Cuadro 4.** Determinación del clon con el menor cambio del color en la madera de *Tectona grandis* según la prueba de Tukey con un  $\alpha$  de 95% para un total de 10 mediciones. Costa Rica; 2010.

<b>Clon</b>	<b>Media</b>	<b>Comparación</b>
<b>2</b>	7,14	B
<b>8</b>	10,69	EF
<b>18</b>	9,14	CV
<b>33</b>	11,83	FG
<b>55</b>	10,72	EF
<b>60</b>	6,89	AB
<b>62</b>	5,80	A
<b>79</b>	11,61	FG
<b>81</b>	9,27	D
<b>101</b>	8,88	CD
<b>102</b>	12,57	G
<b>103</b>	7,90	BC
<b>105</b>	8,18	BCD
<b>106</b>	7,03	AB
<b>109</b>	9,43	DE
<b>151</b>	10,88	F

*Fuente: Base de datos*

Para el análisis de los datos del cambio de color en el tiempo ( $\Delta E^*$ ), se trabajaron comparaciones múltiples las cuales se llevaron a cabo con la prueba de Tukey. Para este caso se obtuvo que el clon 62 (A) fuera el que tuvo la menor variación del color con una media de

5,80 para un total de 10 mediciones después de pasar 500 horas en exposición a la radiación ultravioleta. Se dice entonces que este clon posee además un color estadísticamente diferente al resto. Para los clones 60 y 106 (AB), se ve como estos dos clones son estadísticamente iguales y sus cambios en el color no son significativamente diferentes con respecto A y B.

En el caso del clon 2 este presentó una media de 7,14 (B), y estadísticamente diferente a los demás y significativamente parecido a los clones 60 y 106, además posee una variación del color de 7,14.

En el caso del clon 103 (BC) se obtuvo una media de 7,90 la cual no es significativamente diferente a la del clon 105 (BCD) el cual posee un valor medio para el cambio de color de 8,18 y es estadísticamente parecido a los clones 101 y 18 (CD), el clon 81 (D) cuyo valor medio es 9,27 para el cambio de color no es significativamente diferente del clon 109 (DE), que a su vez es estadísticamente parecido a los clones 8 y 55 (EF), para el caso del clon 151 cuya media fue de 10,88 este no es significativamente diferente a los clones 8, 55, 79 y 33.

Para el clon 102 (G) que fue el que presentó la media más alta y el cambio de color más significativo el cual no es significativamente diferente al cambio que presentaron los clones 79 y 33 (FG).

Según Feist y Hon (1984), los cambios de color se le atribuyen a una absorción de radiación UV, son el resultado de las reacciones fotoquímicas que siempre involucran radicales libres lo que provoca una degradación y decoloración, este último suele ser un fenómeno superficial.

En el cuadro 5 se muestra una diferenciación entre los periodos de tiempo dentro de la cámara, se busca con esto ver cual presentó el valor mínimo en el cambio de color para las piezas expuestas dentro de la cámara.

**Cuadro 5.** Comparación de medias para determinar el periodo de tiempo en que se dio el menor cambio de color en la madera de *Tectona grandis*, según una prueba de Tukey con un  $\alpha$  de 95% para un total de 16 clones. Costa Rica, 2010.

<b>Cambios en el tiempo</b>	<b>Media</b>	<b>Comparación</b>
0-50	6,02	A
0-100	8,38	B
0-150	8,76	BC
0-200	11,38	E
0-250	9,97	D
0-300	9,35	CD
0-350	9,52	CD
0-400	10,29	D
0-450	8,83	BC
0-500	9,97	D

*Fuente: base de datos*

Se realizó una prueba de comparación múltiple en la que se evaluaron los cambios de color en el tiempo ( $\Delta E^*$ ) y por medio de una prueba de Tukey se obtuvo que para el cambio del color en un periodo de 0-50 (A) horas con una media de 6,02, es estadísticamente diferentes a los demás periodos aquí evaluados con una confianza del 95%, para el periodo de 0-100 (B) este presenta una media de 8,38 y su cambio no es significativamente diferente al presentado en 0-150 y 0-450 (BC), los que a su vez son estadísticamente similares a los periodos que van de 0-300 y 0-350 (CD).

En el caso de los periodos de 0-250, 0-500 y 0-400 (D) estos poseen una media para el cambio de color de 9,97-9,97 y 10,29 respectivamente, y según estos valores en el cambio son estadísticamente similares entre sí. En el periodo de 0-200(E) se tuvo el mayor cambio de

color y su media fue de 11,38 en este caso se tiene que es estadísticamente diferente a los demás, con 95% de confianza.

En el siguiente cuadro se muestra los valores promedio del  $\Delta E^*$  para 16 clones.

**Cuadro 6.** Valores promedios en el cambio del color ( $\Delta E^*$ ) para los diferentes periodos de evaluación a los que fueron sometidos las muestras de *Tectona grandis*. Costa Rica, 2010.

Clon	Cambios de color mediante el Delta E									
	0-50	0-100	0-150	0-200	0-250	0-300	0-350	0-400	0-450	0-500
<b>2</b>	4,99	6,75	6,95	8,74	7,75	6,93	7,29	7,72	6,62	7,61
<b>8</b>	7,48	9,34	9,74	11,58	11,06	9,83	9,95	14,96	11,31	11,67
<b>18</b>	5,04	8,65	8,87	11,60	10,42	9,63	9,33	9,69	8,24	9,92
<b>33</b>	7,82	12,72	11,55	12,89	11,76	12,25	12,30	13,00	11,07	12,98
<b>55</b>	7,21	9,67	10,66	11,08	12,27	10,89	11,29	11,63	10,94	11,51
<b>60</b>	5,27	6,73	6,88	8,86	7,42	6,69	6,96	7,35	5,92	6,78
<b>62</b>	4,00	4,21	5,52	6,10	9,01	5,33	6,25	6,10	5,57	5,94
<b>79</b>	7,16	11,05	10,65	14,55	12,09	12,09	11,88	13,90	10,74	11,98
<b>81</b>	5,82	7,68	8,46	15,95	9,44	9,21	9,26	9,13	8,59	9,18
<b>101</b>	6,18	7,74	8,27	10,79	10,18	9,02	8,91	9,54	8,85	9,31
<b>102</b>	8,72	11,34	12,06	14,50	13,08	12,85	13,48	13,77	11,90	14,00
<b>103</b>	5,14	6,77	7,16	9,42	8,43	8,71	8,65	8,63	7,97	8,09
<b>105</b>	4,14	7,05	7,44	11,47	8,47	8,50	8,31	9,44	7,44	9,49
<b>106</b>	5,01	6,36	6,87	9,58	7,58	6,86	6,76	7,41	6,07	7,78
<b>109</b>	5,34	9,04	8,77	11,45	9,30	9,62	10,16	10,60	9,40	10,66
<b>151</b>	7,01	9,03	10,25	13,51	11,21	11,17	11,50	11,76	10,66	12,66

Fuente: base de datos

Para un periodo que va de las 0-50 horas se presentó un promedio para todos los clones de 6,02 en el cambio de color, siendo el clon 102 (8,72) el que presentó el mayor cambio, mientras que el clon 62 (4,00) presentó el mínimo, este mismo será el que presente la menor variación para los todos los periodos, exceptuando al periodo que se encuentra de 0-250. De 0-100 se presentó una media de 8,38 con un cambio máximo de 12,72 (33) y un mínimo 4,21. Para el periodo de 0-150 el valor promedio del cambio fue de 8,76 (5,52-12,06), de 0-200 se

dio el mayor cambio de color para todos los clones y la media para este fue de un 11,38 (6,10-15,95). En los periodos de 0-250, 0-300 y 0-350 el mayor valor del cambio lo presentó el clon 102 y los promedios respectivos con sus mínimos y máximos fueron de 9,97 (7,42-13,08), 9,35 (5,33-12,85) y 9,52 (6,25-13,48).

En el periodo de 0-400 horas la media del cambio fue de 10,29, el clon 8 tuvo el mayor cambio de color, mientras que en los dos últimos periodos el mayor cambio lo presentó el clon 102 y los promedios del cambio de 0-450 horas fue de 8,83 y de 0-500 fue de 9,97.

Se podría decir que para este caso el clon 102 pudo estar en contacto más directo con la fuente de radiación o que los contenidos de lignina, holocelulosa y otros extractivos que poseen un alto peso molecular (Norrstrom 1969, citado por Ayadi *et al.* 2003) tuvieron un mayor aporte para este clon, lo que propicio una mayor fotodegradación. Se puede pensar entonces que al obtenerse estos valores el color en general tendiera a ser una combinación de tonos oscuros, rojizos y amarillos (Janin *et al.* 2001), que serán apreciables.

También al realizar un análisis de estos según la clasificación de Cui *et al.* (2004) se podrá decir para la mayoría de los casos el cambio en el color de la madera es de apreciable a muy apreciable para la totalidad de los clones. Sin embargo en el cuadro 7 se muestra el comportamiento del  $\Delta E^*$  de las 48 muestras.

**Cuadro 7.** Clasificación del  $\Delta E^*$  según Cui (2001), para un total de 48 muestras de *Tectona grandis* y según su categoría de tiempo. Costa Rica, 2010.

Horas	Categoría				>12
	1	2	3	4	
<b>0-50</b>	0	2	25	21	0
<b>0-100</b>	0	0	10	34	4
<b>0-150</b>	0	0	10	33	5
<b>0-200</b>	0	0	2	24	22
<b>0-250</b>	0	0	4	31	13
<b>0-300</b>	0	0	9	27	12
<b>0-350</b>	0	0	8	30	10
<b>0-400</b>	0	0	5	28	15
<b>0-450</b>	0	0	10	31	7
<b>0-500</b>	0	0	4	30	14

*Fuente: Base de datos*

De este cuadro se puede concretar que para un total de 48 muestras en el periodo de 0-50 un 52,08% de la muestras se encuentra en la categoría 3 la cual explica el cambio de color en la madera como apreciable y un 43,75% de las muestras presenta un cambio de color muy notable; es tan solo en este periodo donde se encuentran muestras en una categoría 2 representando un 4,17% y según Cui *et al* (2004) este cambio se considera apenas apreciable en la superficie.

De 0-100 horas tenemos que de un total de 48 muestras tan solo en la categoría 4 tenemos un 70,83% lo que equivale 34 muestras esta es la mayor cantidad de muestras que se ubican en esta categoría para todos los periodos, no se dan cambios de menor envergadura como los descritos en la categoría 1 y 2. Sin embargo, se dan cambios que superan los rangos impuestos en la categoría 4 según Moya (s.f) cuando se trabaja con acabados de poliuretano los valores obtenidos tiende a superar estos rangos y el cambio de color es muy notable al ojo humano.

Para el periodo de 0-150 horas se tiene en la categoría 3 un 20,83%, para una categoría 4 un 68,75%, y el restante 10,42% cae en cambios muy notables del color para el ojo humano. En el periodo 0-200 horas se presenta un 50% de los datos con cambios muy notables en su color

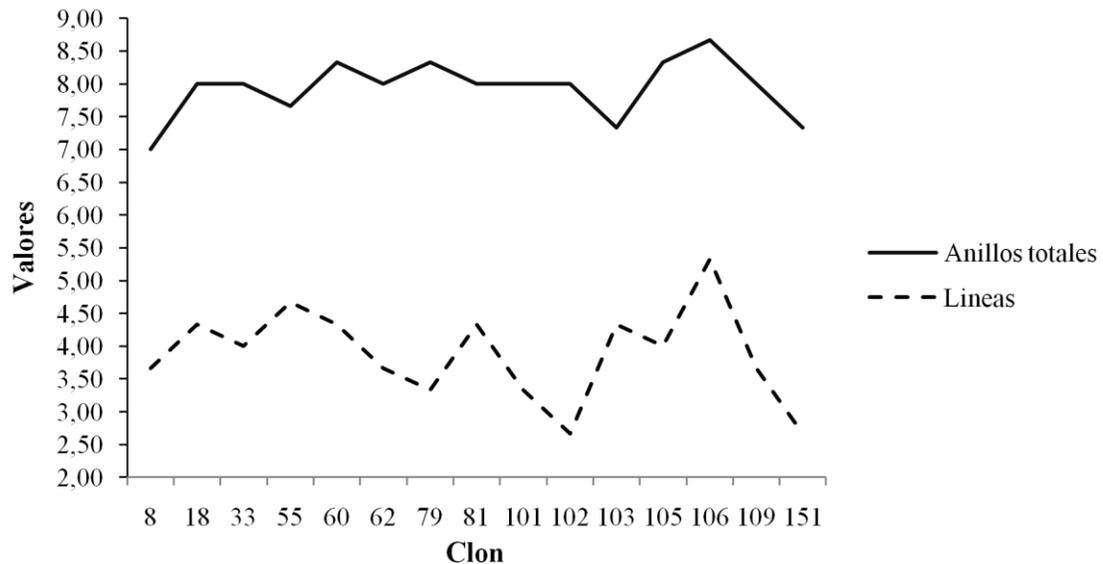
y un 45,83% con cambios muy notables al ojo humano, la presencia de tan solo un 4,17% en la categoría 3 es la más baja que se presenta en comparación con todos los periodos.

En el caso del periodo 0-250 horas un 64,58% de las muestras presentan un cambio muy notable mientras que un 8,33% un cambio apreciable y el restante 27,08 un cambio muy apreciable al ojo humano. En las siguientes el comportamiento de las muestras tiende a repetirse, siendo la categoría 4 la que tiene la mayor presencia de datos.

Por lo que se habla que para un total de 480 datos evaluados 60,21% de estos e coloco dentro de la categoría 4 es decir tuvieron cambios en el color muy notables, un 18,13 % de los datos tuvieron cambios apreciables, un 0,41% en que el cambio de color era apenas apreciable en la superficie, mientras que el restante 21,25% el cambio fue muy apreciable al ojo humano.

El cálculo del  $\Delta E^*$  es una herramienta útil que nos permite cuantificar y clasificar en forma más sencilla los cambios del color, sin embargo posee el inconveniente de que no se sabe de cuál de los factores se obtuvo el mayor aporte pues algunos de estos parámetros podrían no variar o tener una variación mínima.

En la figura 11 se muestra datos promedios en el desarrollo de líneas negras dentro de los anillos que se encuentran comprendidos dentro del duramen para la zona de Garza.



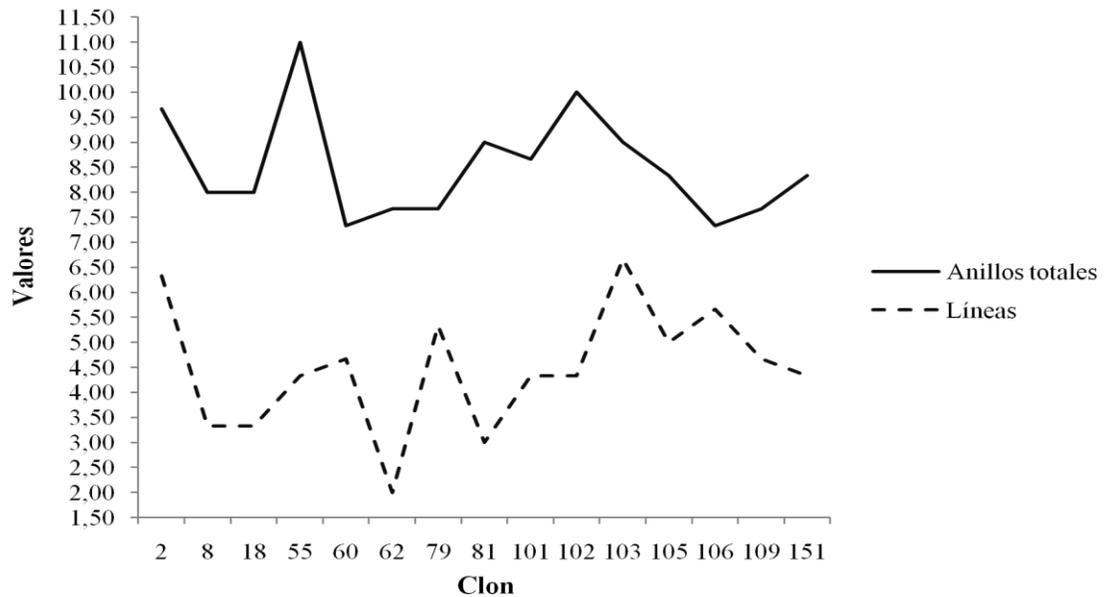
**Figura 11.** Comparación entre el promedio total de anillos y el promedio del total de líneas por clon de *Tectona grandis* para la zona de Garza. Costa Rica, 2010.

En la figura 11 se muestra primero en una línea continua el promedio de anillos que se dieron para cada una de muestras del clon luego estos valores se promediaron y se obtuvo que el clon 8 es el que presenta una formación de anillos menor con respecto a los demás, para el clon 106 se muestra muy claramente que se da el mayor pico tanto en el promedio para el número de anillos, como para el número de líneas, siguiendo con el número de anillos totales; se puede apreciar que para los clones 18 y 33 el número de anillos era muy similar y es comparable también a la cantidad de anillos que presentan los clones 81,101 y 102 , lo mismo ocurre en otros casos como lo son para los clones 60, 79 y 105 en cuyos casos también se ve que obtuvieron valores similares en el total de sus anillos y que además son parte de los valores más elevados, es decir poseen más anillos que la mayoría, para el caso del clon 103 observamos como en este el numero de anillos desciende; sin embargo, este no llega a alcanzar el valor más bajo ahí observado el cual corresponde al clon 8 como se mencionó con

anterioridad. La diferencia en el número de anillos puede deberse primero a características propias del clon y las condiciones propias de la zona pues los anillos normalmente se marcan por épocas climáticas que propiciaron su desarrollo.

En el caso de las líneas negras en el duramen Ishiguri *et al.* (2003) atribuye este fenómeno a una “fotodescoloración” la cual define como una de las principales causas del cambio de color en la madera debido a su exposición a luz; otros estudios indican que estas líneas son el resultado de las condiciones propias del lugar (Suhaendi 1998, citado por Lukmandaru *et al.* 2009), para este caso en la zona de Garza se muestra que la mayor cantidad de líneas las presento el clon 106 y por el contrario el clon 102 fue el que mostro la menor presencia de estas. En el grafico se aprecian similitudes entre la cantidad de líneas para los clones 18, 81 y 103 al igual que para el clon 33 y 105. El clon 55 le sigue en cantidad al clon 106 y el clon con el segundo puesto en menor cantidad de líneas lo tiene el clon 79.

En la figura 12 se muestra datos promedios en el desarrollo de líneas negras dentro de los anillos que se encuentran comprendidos dentro del duramen para la zona de Peñas Blancas.



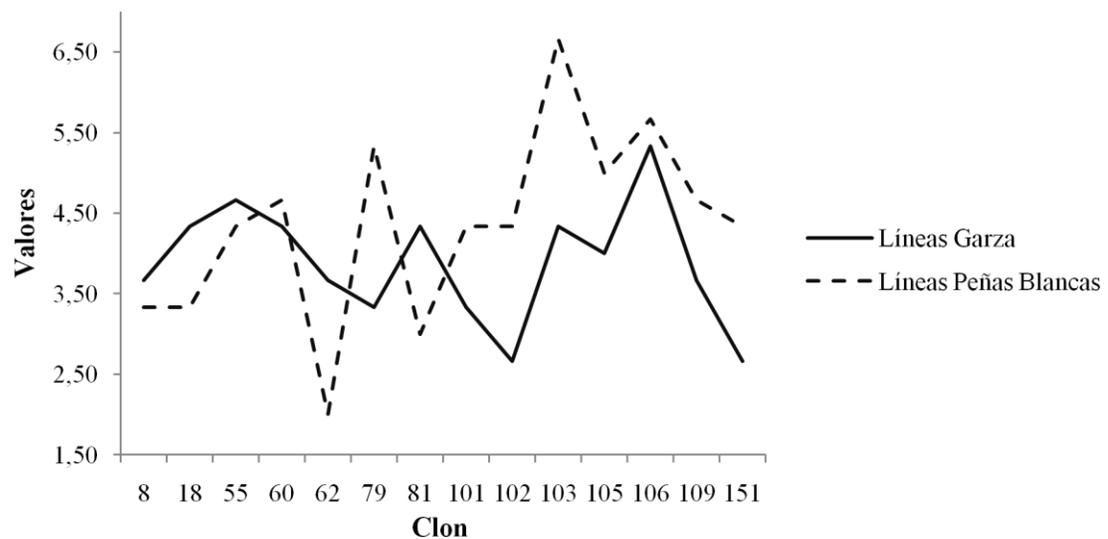
**Figura 12.** Comparación entre el promedio total de anillos y el promedio del total de líneas por clon de *Tectona grandis* para la zona de Peñas Blancas. Costa Rica, 2010.

En la figura anterior se muestran muchas diferencias con respecto a las que se muestran para la zona de Garza (figura 11) en una primera observación se aprecia el rango de los valores aumentó tanto para los anillos totales como para las líneas, además que los datos muestran entre sí mayores diferencias.

Para los anillos totales se observa que los valores más altos los tuvieron en orden de mayor a menor el clon 55, 102, 2 y por último los clones 81 y 103 estos últimos se colocan pues en el gráfico anterior el límite superior para el gráfico fue 9. Por otro parte la menor cantidad de anillos la tuvieron los clones 60 y 106, otros de los clones que compartieron la similitud en el número de sus anillos fueron el clon 8 y 18.

Para el caso de las líneas se obtuvo que el clon 103 fue el que tuvo la mayor presencia de líneas, seguido por los clones 2, 106 y 79, la menor presencia de líneas la tuvo el clon 62, los clones 8 y 18 muestran similitud en el número de sus líneas al igual que los clones 101 y 102 el clon 55 muestra pequeñas diferencias con respecto al clon 60 sin embargo este sigue siendo superior.

En la siguiente figura se muestra una comparación para determinar en cuál de los dos sitios se da una mayor formación de líneas negras dentro del duramen, para este caso en particular si se aprecian diferencias con los anteriores se debe a que para la zona de Garza no se tenían muestras para el clon 2, mientras que para la zona de Peñas Blancas tampoco se tenían muchas para el clon 33.



**Figura 13.** Comparación entre el número de líneas que aparecen en cada clon de *Tectona grandis*, según la zona de procedencia del clon. Costa Rica; 2010.

De esta figura se puede obtener obtener que el rango para el número de líneas para la zona de Garza se encuentra entre los 2,50 y los 5, 50 aproximadamente mientras que para Peñas Blancas este rango se encuentra de 1,50 a 7,0. Para la zona de Garza se observa como las muestras del los clones 8, 18 y 55 poseen una mayor cantidad de líneas con respecto a las

muestras de Peñas Blancas, para esta misma zona las muestras del clon 60 tuvieron mayor cantidad de líneas. Es el clon 62 de la zona de Peñas Blancas el que posee la menor cantidad de líneas para ambas zonas, mientras que el clon 79 de Peñas Blanca supera al de Garza con un valor cercano a los 5,50.

A partir del clon 101 hasta el 151 todos los valores para Garza son menores con respecto a los de Peñas Blancas, además es el clon 103 el que posee el mayor promedio de líneas.

La alta cantidad de líneas dentro de la madera afectara en forma directa la forma en que esta se cotice en el mercado de la madera pues estas líneas afectan la estética que se busca en la madera disminuyendo su calidad, ejemplo de esto lo da Ishiguri *et al.* (2003) pues el cedro japonés (*Cryptometria japonico*), que es una madera ampliamente utilizada en diversos sectores y en especial por su duramen tiende a comercializarse muy mal al tener presencia de estas líneas.

En el siguiente cuadro se muestra el porcentaje de distribución de las líneas según el anillo de crecimiento para las dos distintas procedencias.

**Cuadro 8.** Determinación porcentual de anillos en que se da la mayor presencia de líneas, según clon de *Tectona grandis* y procedencia. Costa Rica; 2010.

Sitio	Número de Anillos	Clones														
		8	18	33	55	60	62	79	81	101	102	103	105	106	109	151
<b>Garza</b>	<b>1</b>	18	8	25	21	15	27	10	23	■	25	8	17	31	27	13
	<b>2</b>	18	23	25	14	23	27	30	23	22	13	23	8	19	27	38
	<b>3</b>	27	23	33	43	23	36	20	31	33	13	23	25	19	36	38
	<b>4</b>	36	15	17	14	15	■	10	■	44	38	31	25	13	9	13
	<b>5</b>	...	15	...	7	15	9	20	23	...	13	8	25	19	...	...
	<b>6</b>	...	15	...	...	8	...	10	...	...	...	8	...	...	...	...
<b>Peñas Blancas</b>	<b>1</b>	11	30	10	■	7	■	6	■	15	15	7	13	12	21	8
	<b>2</b>	11	30	20	■	36	33	31	22	8	15	21	27	24	14	23
	<b>3</b>	11	10	20	23	21	17	31	22	23	8	14	20	18	21	15
	<b>4</b>	26	20	40	15	36	50	25	22	31	15	21	20	24	21	23
	<b>5</b>	21	10	10	15	...	...	6	22	23	23	14	13	24	14	15
	<b>6</b>	5	...	...	8	...	...	...	11	...	15	14	7	...	7	15
	<b>7</b>	11	...	...	15	...	...	...	...	...	8	7	...	...	...	...
	<b>8</b>	5	...	...	■	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	<b>9</b>	...	...	...	15	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
	<b>10</b>	...	...	...	8	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...	...
<b>Promedio Garza</b>		25	17	25	20	17	25	17	25	33	20	17	20	20	25	25
<b>Promedio Peñas Blancas</b>		13	20	20	14	25	33	20	20	20	14	14	17	20	17	17

Fuente: Base de datos

En este cuadro se muestra el porcentaje de cómo se distribuyen las líneas según la cantidad de anillos para cada clon. Para la zona de Garza tenemos que para la mayoría de los clones en el anillo 1 el valor promedio es de 19% con un máximo para el número de anillos de 31% (106) mientras que el valor mínimo es de 8% (18); y se señala que para el clon 101 no se dio la

presencia de líneas negras. En el anillo 2 tenemos que los datos poseen una media de 22% siendo el clon 151 quien tiene el mayor porcentaje de líneas en este, mientras que el clon 105 reporta el menor valor porcentual.

Dentro del anillo 3 se observa el mayor valor de la media con un 28% con un máximo de 43% y un mínimo de 13%. Para el anillo 4 la media se encuentra en 22% (9-44%) siendo el clon 101 el clon con mayor porcentaje de líneas en este anillo, en el caso de los clones 8,33,101,109 y 151 este es su máximo número de anillos, los clones 62 y 81 no tuvieron presencia de líneas en este anillo.

En el anillo 5 se da una media de 15% con un valor máximo de 25% para el clon 105 y un mínimo para el clon 55. Para el anillo 6 se da el valor más bajo de la media, pues para este caso tan solo se tiene de 4 clones los cuales tienen un valor promedio de 10% siendo el clon 18 el que posee el mayor porcentaje de las líneas.

Para la zona de Peñas Blancas se presentó una mayor cantidad de anillos en comparación con la zona de Garza, para el anillo 1 se presentó un valor promedio de 13% con un valor máximo de de 30% para el clon 18 y un valor mínimo para el clon 79. Para los clones 55, 62 y 81 se dio la ausencia de líneas. En el anillo 2 se presentó un valor promedio de 23% con un máximo de 36% y un mínimo de 8%, nuevamente el clon 55 no tuvo presencia de líneas.

En el anillo 3 se da un valor promedio de 18% con un valor máximo perteneciente al clon 31 y un mínimo para el clon 102. Para el anillo 4 se dan para la mayoría de los clones los valores más elevados la media para este anillo es 26% con un máximo de 50% en la presencia de líneas para el clon 62, mientras que el valor mínimo lo tuvieron los clones 55 y 102.

En el anillo 5 se presenta una media de 16% siendo el clon 106 el que tiene el valor del porcentaje máximo y el clon 79 con el valor porcentual mínimo. Es a partir de este anillo en el que se una disminución de los clones pues no todos presentaron tantos anillos como la que

presento el clon 55. Para los anillos 6 y 7 se presenta el mismo valor promedio de 10% al igual que el mismo valor máximo de 15% esto para los clones 102 y 55 respectivamente.

El clon 8 presento tan solo un 5% de líneas para este anillo y el clon 55 no presento ninguna. Los otros datos obtenidos para los anillos restantes tan sólo fueron para el clon 55 y con valores de 15% para el anillo 9 y un 8% para el anillo 10.

Por lo que se concluye que la mayor presencia de líneas para la zona de Garza las presento el clon 101 con 33%, mientras que para la zona de Peñas Blancas fue el clon 62 con el mismo porcentaje.

Es importante analizar que para estos casos el valor de 1 en los anillos es aquel que se encuentra más cercano de la médula, por lo que según los datos obtenidos en este cuadro se podría deducir que a mayor cercanía de la médula aumenta el número de líneas; sin embargo, la formación de estas líneas también van a estar asociadas al factor pH y al contenido de otros extractivos (Lukmandaru et al. 2003)

Es importante destacar que del total de piezas muestreras para cada una de las zonas en Garza un 100% presentaron estas líneas negras; mientras que para un 93% del total de la zona de Peñas Blancas presentan estas líneas. Por lo que se puede interpretar que en la madera de *Tectona grandis* es muy susceptible a la aparición de líneas negras en la madera y tal como lo citan los autores estas están más ligadas a su composición química.

En el cuadro 9 se presentan los valores promedios para los parámetros del CIELab, en estos se analiza al color antes y después de la línea.

**Cuadro 9.** Descripción general del cambio de color en la madera de 16 clones de *Tectona grandis*, según su estado con respecto a la línea para la zona de Garza. Costa Rica, 2010.

Clon	Con Línea						Sin Línea					
	L*		a*		b*		L*		a*		b*	
	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
<b>8</b>	64,88	3,88	6,54	10,87	25,94	7,35	65,62	4,92	6,27	9,06	25,28	6,58
<b>18</b>	61,61	2,57	6,68	14,36	28,75	2,18	63,35	4,71	6,33	15,26	28,20	2,67
<b>33</b>	69,96	1,74	4,44	9,51	27,17	3,32	68,98	1,61	3,94	17,63	26,61	1,28
<b>55</b>	67,71	1,27	4,15	4,86	27,62	7,51	67,54	0,97	4,30	11,41	28,16	7,58
<b>60</b>	60,41	6,82	5,88	16,06	27,88	6,96	63,52	6,27	5,61	5,75	27,53	6,95
<b>62</b>	64,49	1,89	12,24	85,26	25,19	3,81	63,83	10,23	6,30	3,22	24,33	2,46
<b>79</b>	71,46	4,12	4,97	5,67	27,62	6,95	70,24	3,49	5,03	1,85	28,10	4,48
<b>81</b>	64,89	3,64	6,04	5,21	25,62	5,10	64,13	3,81	6,11	3,62	25,00	2,99
<b>101</b>	54,33	7,02	6,06	28,74	19,66	7,19	55,68	4,82	5,84	24,08	19,89	3,75
<b>102</b>	64,02	5,75	5,64	33,81	24,12	1,91	65,51	4,05	4,96	19,46	24,06	7,60
<b>103</b>	63,17	8,33	5,24	7,06	26,71	3,22	62,94	2,60	5,05	2,12	26,20	2,08
<b>105</b>	62,10	2,05	6,68	2,47	25,30	2,43	67,16	8,79	6,05	12,41	24,71	3,19
<b>106</b>	58,99	7,46	5,36	20,31	25,45	11,39	62,21	3,78	5,41	22,39	26,46	8,71
<b>109</b>	62,53	3,08	5,47	7,04	25,17	3,22	61,69	3,71	5,48	4,14	24,79	3,76
<b>151</b>	66,63	1,10	6,37	8,45	25,68	4,04	65,40	1,75	6,25	14,56	27,04	11,53

Fuente: Base de datos

En el cuadro 9 se presentan los datos promedios de los parámetros del color y se analizan para dos estados el primero analiza el color propio de la línea mientras que el segundo describe al color después de esta. Por lo que valores obtenidos para cada caso son los siguientes:

- Los valores de L\* para los datos con línea son mayores respecto a los datos sin línea el valor promedio que estos muestran es de 63,81, para un máximo de 71,46 el cual

pertenece al clon 79, y un valor mínimo de 54,33 que lo presentó el clon 101. Al ver el CV para estos clones se tiene que su variación respecto a la media es poca; y presenta un valor medio de 4,05 siendo el clon 103 quien posee la mayor variación con un valor de 8,33% mientras que el clon 151 presenta la menor (1,10). Al analizar estos datos y si logramos colocarlos en el eje  $z$ , que es el propuesto por el CIELab para este parámetro podemos observar que estos valores son cercanos en su mayoría al 100 es decir se trata de colores con claridad. Lukmandaru (2003) obtuvo que para el valor de  $L^*$  se dan valores de 57,42 y 54,22

Para este mismo parámetro en el caso de sin línea se tiene que el valor promedio lo encontramos en 64,52 este con respecto al anterior es mayor en 0,71, mientras que el valor máximo para este parámetro en el caso de sin línea es de 70,24 y pertenece al clon 79, y el valor mínimo lo tiene el clon 101 (55,68). Para el CV se tienen valores bajos lo que significa que los valores de sus muestras están cercanos al valor promedio de  $L^*$ . El CV mayor lo tuvo el clon 62 mientras que el mínimo lo tuvo el clon 55 el valor promedio del CV fue de 4,37.

Al compararse los valores obtenidos en ambos casos se observa que el color sin línea tiende a disminuir en la mayoría de los casos es decir tienden a oscurecerse según lo descrito por Janin *et al.* (2001). Lukmandaru *et al.* (2003) obtuvo que para el valor de  $L^*$  se dan valores de 57,42 y 54,22 lo que difiere de los valores obtenidos en este caso.

- Para el parámetro  $a^*$  se tiene que el valor promedio para el caso “con línea” es de 6,12 mientras que su valor máximo lo tiene el clon 62 y su mínimo el clon 55, al observar el CV para estos mismos clones vemos lo que se podría decir puntos extremos. En un primer extremo tenemos que en las muestras del clon 62 se observa la mayor variación de sus valores con respecto al valor promedio, el CV es para este caso de 85,26%, mientras que para un extremo opuesto para el clon 55 su CV es de 4,86 sin embargo este no es el valor mínimo para este parámetro.

Siguiendo con este mismo parámetro para el caso “sin línea”, se tiene un valor máximo de 6,33 para el clon 18 mientras que el valor mínimo lo tiene el clon 33, en el caso del CV el valor medio se encuentra en 11,13 este resulta menor al compararse con el anterior, la variación mínima la presenta el clon 79 mientras que la máxima la tiene el clon 101 cuyo valor tiende a ser alto con 24,08%. Al compararse ambos casos se tiene que para este parámetro los valores tienden a disminuir es decir a alejarse de tonos rojizos. Los valores de  $a^*$  obtenidos por Lukmandaru *et al.* (2003), muestran valores de 6,60 y 6,28 para este caso se ve poca diferencia con respecto a los obtenidos.

- En el parámetro  $b^*$  tenemos que tanto para el caso “con línea” como para “sin línea” son los mismos clones los que presentan el máximo y mínimo, al comparar ambos se registra que para el clon 18 se tiene un valor de 28,75 y pasa a un 28,20; por lo que el valor disminuye, en el caso del clon 101 se tiene que de un 19,66 se aumenta a un 19,89 estos cambios se dan por unas pocas centésimas. El CV para este caso estuvo en un promedio de 5,10 para el caso con línea, con un valor máximo para el clon 106 y un mínimo para el 102; mientras que para el caso de sin línea el promedio en el CV estuvo en 5,04 (1,28-11,53). En este caso los datos para algunos casos aumentaban con respecto a los del caso de con línea y otros tendían a disminuir, por lo que los datos tienden a mantenerse en tonos amarillentos. Lukmandaru *et al.* (2003) reporta valores de 24,87 y 23,52, los cuales difieren de los valores obtenidos en este proyecto.

Se dice entonces que el color de la madera para la zona de Garza al contener la línea es de una composición de tonos claros, rojizos y amarillos, mientras que al no presentarse esta línea el color tan solo tiende a oscurecerse, y conserva con mínimas variaciones los tonos rojizos y amarillentos; sin embargo, para cuantificar mejor este cambio es recomendable obtener el cambio de color ( $\Delta E^*$ ).

En el cuadro 10 se presentan los valores promedios para los parámetros del CIELab, en estos se analiza al color antes y después de la línea.

**Cuadro 10.** Descripción general del cambio de color en la madera de 16 clones de *Tectona grandis*, según su estado con respecto a la línea para la zona de Peñas Blancas. Costa Rica, 2010.

Clon	Con Línea						Sin Línea					
	L*		a*		b*		L*		a*		b*	
	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
<b>2</b>	58,53	4,81	8,58	16,82	24,47	3,58	58,56	4,38	8,36	17,76	24,31	2,72
<b>8</b>	59,41	3,30	7,51	10,79	22,69	2,75	60,78	5,22	7,10	10,83	21,52	7,09
<b>18</b>	37,17	86,60	4,64	87,11	16,59	86,64	37,59	86,62	4,82	86,97	16,53	86,60
<b>55</b>	55,86	6,93	7,31	11,35	25,46	9,73	54,40	6,21	7,04	16,38	25,41	11,21
<b>60</b>	57,65	3,58	8,27	10,06	23,42	6,03	53,91	7,49	8,40	9,03	22,87	6,86
<b>62</b>	39,11	86,65	4,76	86,97	16,70	86,72	40,77	87,18	4,53	87,19	17,03	87,07
<b>79</b>	59,12	1,75	7,24	2,82	24,55	4,71	59,30	3,08	7,31	4,12	22,87	4,48
<b>81</b>	55,84	9,06	7,67	9,32	22,62	10,07	58,84	2,82	7,98	8,60	23,64	3,47
<b>101</b>	34,28	86,96	4,44	88,16	12,46	86,96	34,69	87,25	4,43	86,83	13,53	87,19
<b>102</b>	59,42	4,92	5,92	9,96	23,54	8,44	59,54	6,83	5,67	11,55	23,53	8,75
<b>103</b>	56,36	5,47	7,41	9,13	22,60	0,42	56,24	6,87	7,06	6,46	22,87	3,13
<b>105</b>	60,40	2,48	6,70	6,34	23,64	7,71	59,72	0,94	6,86	7,12	23,72	7,80
<b>106</b>	56,08	8,74	7,14	8,52	22,70	12,57	58,37	5,47	7,33	10,08	23,11	6,13
<b>109</b>	57,73	4,79	7,50	11,25	23,56	10,04	56,06	6,76	7,52	13,49	22,89	3,55
<b>151</b>	61,78	1,42	6,74	5,66	27,66	3,56	64,69	3,21	6,55	0,59	28,03	4,04

Fuente: Base de datos

Los valores para el parámetro L\* en la zona de Peñas Blancas presentan para el caso con línea un promedio de 53,92 siendo para este caso el clon 151 el que tiene el valor máximo y el clon 101 el valor mínimo al observar estos datos y los mostrados en el cuadro anterior podemos observar que para este caso el color de las líneas fue más oscuro es decir sus valores tienden más a 0 (Janin *et al.* 2001). También se muestran valores en el CV muy altos tal es el caso del clon 101 cuyo valor fue de 86,96% lo que nos indica que el valor de sus muestras marcan una

gran diferencia con respecto a la media. Caso contrario al clon 151 cuyo CV es de 1,42%. Lo que es el caso de sin línea se muestran a los mismos clones mencionados con anterioridad como máximos y mínimos sin embargo se presentó en algunos casos un aumento, por lo que el promedio de  $L^*$  fue de 54,23 (34,69-64,69). El CV más elevado lo tuvo el clon 62 (87,18%) mientras que el más bajo lo presentó el clon 105 (0,94), estos valores extremos muestran la gran variabilidad de color con la que se está trabajando estas piezas.

En el caso con línea para el parámetro  $a^*$  se tiene que la media es de 6,79 (4,44-8,58) los datos en esta ocasión son mayores a los reportados para la zona de Garza y los reportados por Lukmandaru *et al.* (2003), sin embargo lo que más sigue llamando la atención es el alto CV que se está dando en algunos clones como es el caso del clon 101 (88,16), 18 (87,11) y 62 (86,97) en los cuales los valores de sus muestras difieren mucho del valor promedio. Y se observa que este mismo fenómeno se vuelve a repetir en sin línea para los mismos clones. Para este parámetro se podría estar hablando en ambos casos de tonos más rojizos, que varían mucho de unas piezas a otras en especial para algunos clones.

Para  $b^*$  los valores que se presentan con línea tienen un promedio de 22,18 con un mínimo y un máximo para los clones 101 y 151 respectivamente, el CV tiene un promedio de 22,66 nuevamente con valores extremos de 0,42% para el clon 103 y 86,96% para el 101. En el caso del parámetro  $b^*$  después de la línea se tiene un valor medio de 22,12 (13,53-28,03), mientras que para el CV se tiene un promedio de 22,01 con un máximo de 87,19% para el clon 101 y un mínimo de 2,72%.

En el cuadro anterior sobresale el comportamiento que tuvo el clon 101 pues sus CV siempre fueron de los valores más altos dentro de todo el grupo por lo que se habla que dentro de un mismo clon existe una alta variación en el color.

En el cuadro 11 lo que se busca es demostrar a partir del cambio calculado para cada parámetro ( $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$  y  $\Delta b^*$ ), cuál de estos aportó más al cambio total ( $\Delta E^*$ ) que se reportó para uno de los clones.

**Cuadro 11.** Valores del cambio de color  $\Delta$  para cada uno de los parámetros y el delta e ( $\Delta E^*$ ) con sus variables de dispersión para los diferentes clones de *Tectona grandis*, para la zona de Garza y Peñas Blancas. Costa Rica, 2010.

Clon	Garza								Peñas Blancas								
	$\Delta L^*$		$\Delta a^*$		$\Delta b^*$		$\Delta E^*$		$\Delta L^*$		$\Delta a^*$		$\Delta b^*$		$\Delta E^*$		
	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	x	CV	
<b>2</b>	...	...	...	...	...	...	...	...	...	2,58	33,54	0,65	48,34	0,86	53,52	3,01	5,63
<b>8</b>	3,28	22,81	0,52	16,60	1,96	35,14	4,08	23,05	5,28	38,71	0,91	85,69	1,27	59,35	5,60	9,44	
<b>18</b>	3,24	33,87	0,47	39,64	0,85	60,50	3,46	33,74	0,68	121,86	0,35	90,72	0,50	86,62	1,03	1,19	
<b>33</b>	2,15	64,68	0,50	56,29	1,02	19,13	2,59	47,19	...	...	...	...	...	...			
<b>55</b>	2,78	51,76	0,60	39,69	1,17	30,28	3,30	43,23	4,41	34,11	0,70	48,53	1,84	64,95	5,05	36,86	
<b>60</b>	6,80	73,57	0,84	70,49	1,85	59,27	7,49	65,74	3,93	111,61	0,55	36,95	0,85	37,97	4,36	98,03	
<b>62</b>	4,66	54,08	6,28	164,66	1,43	69,60	10,84	70,03	2,80	97,52	0,34	112,29	0,85	88,68	2,97	96,69	
<b>79</b>	2,82	54,16	0,45	89,86	0,79	54,11	3,11	57,2	2,06	11,50	0,36	57,57	2,33	76,26	3,69	54,65	
<b>81</b>	1,72	35,87	0,37	86,48	1,06	41,89	2,30	33,42	4,00	116,23	0,36	27,64	1,85	115,79	4,50	112,24	
<b>101</b>	5,42	18,06	0,45	61,27	0,92	40,04	5,68	12,64	2,08	106,67	0,56	93,14	1,73	93,65	3,12	97,90	
<b>102</b>	4,29	42,25	1,56	16,93	1,33	8,08	4,99	29,57	1,87	12,22	0,48	47,88	1,07	48,25	2,37	7,82	
<b>103</b>	3,73	37,68	0,64	31,13	1,86	15,26	4,49	23,33	1,85	30,75	0,44	41,13	1,03	10,52	2,39	15,82	
<b>105</b>	6,37	67,94	0,76	88,46	2,01	64,59	7,11	66,75	3,22	10,58	0,68	36,92	1,59	57,58	3,93	7,33	
<b>106</b>	5,03	45,13	0,44	13,02	1,57	43,80	5,56	37,36	3,09	33,19	0,45	15,02	1,41	48,06	3,66	29,97	
<b>109</b>	2,02	49,78	0,55	58,62	1,11	79,71	2,69	33,46	3,06	56,93	0,42	40,07	1,46	62,01	3,55	55,77	
<b>151</b>	1,23	48,19	0,42	17,73	2,04	68,95	2,68	39,22	3,72	51,25	0,50	82,53	0,80	66,58	3,91	52,85	

Para el cambio en  $L^*$  se puede determinar que los valores para este, son mayores si se comparan con los cambios que se dan en  $a^*$  y  $b^*$ , por lo que se puede deducir en una primera entrada que el parámetro  $L^*$ , cambia en una mayor proporción con respecto a parámetros como  $a^*$  y  $b^*$ . Para la zona de Garza se presentó un valor promedio del  $\Delta L^*$  de 3,70; el clon con el mayor cambio fue el 60 (6,80); mientras que el valor mínimo lo obtuvo el clon 151 con un valor de 1,23.

El promedio para el CV estuvo en 46,66% (18,06-73,57), por lo que al analizar estos valores obtenemos que en general las muestras para cada clon diferían del valor promedio obtenido.

En el  $\Delta a^*$  se obtuvo que el promedio para los datos es de 0,99; sin embargo, este valor tan alto se ve afectado por el clon 62 el cual presentó un valor de 6,28, en el cuadro se ve como un 87,5 % de los clones no llegaban ni al valor de 1 en el cambio, otro de los datos que presenta un cambio considerable pero no tan grande como el mostrado por el clon 62 es el clon 102. Al analizar el CV este presenta un valor de 164,66% (62) el cual es demasiado alto y demuestra las grandes diferencias que se presentan para este parámetro en el color de la madera de las muestras del clon 62. El valor mínimo en el CV para la  $a^*$  lo presentó el clon 106.

Analizando el  $\Delta b^*$  para Garza vemos que estos se encuentran entre 0,79-2,04 por lo que si se realizara una clasificación como la propuesta por Cui este cambio se clasificaría como apreciable en la superficie. El valor medio para este parámetro es de 1,40. El CV de mayor valor lo presentó el clon 109 y el menor el clon 102.

Para este caso el  $\Delta E^*$  total estuvo en su mayoría influenciado por los cambios que se generaron en el  $\Delta L^*$ , exceptuando al del clon 62 cuyo valor de  $\Delta a^*$  fue mayor con lo que se obtuvo que para un total de 16 un  $\Delta E^*$  promedio de 4,69 cuyo máximo cambio lo obtuvo el clon 62 y el mínimo el clon 81. Para el coeficiente de variación se obtuvo como era de esperar que el clon 62 tuviera uno muy alto pues sus valores en general para cada parámetro fueron muy variables con respecto al promedio.

Por último para la zona de Garza se tiene que según la clasificación de Cui *et al.* (2004) un 27% de los clones tienen un cambio apenas perceptible en la superficie, un 53% tiene un

cambio de color que es apreciable, y el porcentaje restante que es un 20% tiene un cambio de color que es muy notable.

Para la zona de Peñas Blancas se obtuvo que para el cambio en  $L^*$  se obtuvo una media de 2,97, el máximo valor para el cambio lo obtuvo el clon 8 con un valor de 5,28 mientras que para el valor más bajo este fue para el clon 18, en el CV se observa como para el clon 18 se da un valor de 121,86% mientras que para el clon 105 el valor es de 10,58% lo que nos muestra en primer caso a muestras con una variación muy alta y otras con variaciones no tan baja pero si menores que la presentada por el clon 18.

En el  $\Delta a^*$  se obtuvo un promedio de 0,52 con rangos que van de 0,34 a 0,91 para este caso la totalidad de los clones presentan valores similares sin embargo al ver el CV se muestra que para el clon 62 este valor es de 112, 29% estos valores de CV y en una gran parte de los datos son muy grandes sin embargo el valor promedio lo encontramos en 57,63%.

Para el cambio en  $b^*$  se tiene que el valor promedio es de 1,29 y su valor máximo es para el clon 79 con 2,33 y el mínimo para el clon 18 con 0,50. En el CV encontramos que el máximo valor es para el clon 81 con 115,79%, mientras que para el mínimo le corresponde al clon 103 con un valor de 10,52.

Finalmente para el  $\Delta E^*$  total se tiene que el promedio para estos cambios es de 3,54 (1,03-5,60), mientras que para el CV el promedio se encuentra en 45,48% (1,19-112,24).

Para el caso de Peñas Blancas el clon con el  $\Delta E^*$  mayor es 8 y el menor fue para el 18, mientras que el CV mayor lo obtuvo el clon 62.

Además según la clasificación propuesta por Cui et al. (2004) se obtiene que un 7% de los clones tienen un cambio que no es catalogado como apreciable, un 20% el cambio en el color es apenas apreciable en la superficie mientras que para un 73% el cambio de color es apreciable.

Se dice entonces que la importancia de obtener estos parámetros radica en que se puede ver el valor que aporta cada uno de ellos al  $\Delta E^*$ , y así tener una idea más clara de lo que se puede esperar del color, sin embargo si se necesita de más datos complementarios pues este cuadro por sí solo no demuestra si el color sufrió una pérdida o una ganancia.

## CONCLUSIONES

---

Para un primer análisis de datos de color en el que se analizan los parámetros del CIELab ( $L^*, a^*, b^*$ ), en manera general tanto al inicio (0 horas) como al final (500 horas) del proceso dentro de la cámara aceleración de envejecimiento, por medio de variables de tendencia central, y de dispersión, se tiene que todos los parámetros variaron generando que las muestras de madera a esperar presentan coloraciones con tonos más oscuros, rojizos y amarillos.

La ecuación que obtuvo los valores más aptos en los criterios estadísticos para el parámetro  $L^*$  fue la que pertenece al clon 101 ( $L^*=55,3902-0,0496 h+7,5124E-05 h^2$ ), con valores de  $R^2$  de 0,68 y un  $S_{yx}$  de 1,83. En el parámetro  $a^*$  la ecuación que obtuvo el valor más cercano a 1 en el  $R^2$  fue el clon 102, y para el valor del  $S_{yx}$  fue el clon 106 (0,51), en el parámetro  $b^*$  los valores del coeficiente de determinación fueron muy cercanos a 0; sin embargo, el clon que presentó el mayor valor de  $R^2$  fue el 33 (0,26) y el menor error en este mismo parámetro fue el 151 (1,59).

El menor cambio de color en la madera según una prueba de comparación múltiple con Tukey lo presentó el clon 62 con una media de 5,80, además es el clon que presentó el menor  $\Delta E^*$ , mientras que el clon con la mayor variación del  $\Delta E^*$ , fue el clon 102 con una media de 12,57. El menor cambio del  $\Delta E^*$  en el tiempo se dio para el periodo de evaluación que se da de 0-50 con una media de 6,02, mientras que para el periodo de 0-200 se presentó el mayor cambio con un valor de 11,38. Para catalogar los cambios de color se tiene que un 60% del total de 480 datos evaluados obtuvieron cambios de color muy notables sin embargo estas herramientas tan útiles presentan el inconveniente de que no se sabe cuál de los factores aportó el mayor valor de cambio.

Para la zona de Peñas Blancas se dieron los valores más altos para el número de líneas en los anillos, además del número más bajo; estos valores pertenecieron a los clones 103 y 62 respectivamente, mientras que para Garza estos valores lo tuvieron el clon 106 para el

máximo número de líneas y el 102 para el mínimo. La frecuencia en la aparición de estas líneas en la madera significa una desvalorización en la calidad del producto.

Para el clon 101 se dio el mayor promedio de líneas según el número de anillos para la zona de Garza, a demás el número de anillos para esta zona también fue menor. Mientras que para la zona de Peñas Blancas fue el clon 62 el que tuvo el mayor promedio de líneas según el número de anillos y fue para esta zona que se dio la mayor presencia de anillos.

Los datos obtenidos difieren de los mencionados por Lukmandaru (2003), ya que los valores para  $L^*$  tendieron a ser superiores con respecto a los descritos, para el caso del valor  $a^*$  este presento sutiles diferencias con respecto a los obtenidos en el estudio, al igual que sucedió para el parámetro  $b^*$ .

Se concluye que al momento de obtener los  $\Delta E^*$  para cada clon estos categorizan el cambio en el color; sin embargo, dentro de este al tomarse un cambio en conjunto no se sabe cuál de los parámetros fue el que arrojó el mayor cambio por lo que se prefiere la estimación del cambio para los parámetros en forma individual.

El clon que presenta la menor variación del color y la menor cantidad de líneas negras es el clon 62.

## RECOMENDACIONES

---

Para la toma de mediciones se recomienda la creación de una plantilla que calce dentro del área que será expuesta directamente a la radiación para que el punto donde se tomen las mediciones sea siempre el mismo, además se recomienda el lijado previo de las piezas para una mejor exposición del color de la madera.

Se recomienda este tipo de estudios para el cambio de color en la madera pues permite dar al comprador argumentos de estética además se puede considerar una ganancia para que la madera sea mejor cotizada dentro del mercado.

Aplicar algún tipo de acabado que tenga la capacidad de adaptarse al color que se pide en el mercado nacional e internacional.

Para la variación del color por radiación se recomienda separar las muestras por procedencia para analizar mejor los cambios que se dan.

Para imitar los resultados obtenidos en este proyecto se deben seguir las mismas pautas con que se trabajaron desde un inicio.

Si se desea trabajar en nuevas plantaciones utilizando estos clones se recomienda una mayor utilización del clon 62, esto por las variaciones mínimas en su color y la poca cantidad de líneas en el duramen.

## BIBLIOGRAFIA

---

- Abarca, R., Blanco, L., Solano, P. s.f. Composición química de la *Tectona grandis*. Laboratorio de Productos Forestales, Universidad de Costa Rica. (en línea). San José, CR. Consultado 10 ago. 2010. Disponible en: <http://www.una.co.cr/inis/teca/temas/lorena1.pdf>
- Aguilar Tovar, D. 2009. Fuentes de variación en el contenido de humedad inicial y final y el cambio de color, antes y después del secado, de la madera de *Vochysia guatemalensis* proveniente de una zona húmeda y seca de Costa Rica. Tesis de graduación, Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, CR. 46 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003. Standard Practice for Operating Fluorescent Light Apparatus for UV Exposure of Nonmetallic Materials. ASTM G 154-04. Volume 14-04. Pennsylvania. (Reproved 2003).
- Ayadi, N., Lejeune, F., Charrier, F., Charrier, B., Merlin, A. 2003. Color stability of heat-treated wood during artificial weathering. European journal of wood and wood products. Vol. 61, 3; 221-226 p. (en línea). Consultado 24 oct. 2010. Disponible en <http://www.springer.com>
- Cui, W., Kamdem, P., Rystra, T. 2004. Diffuse reflectance infrared Fourier transform spectroscopy (DRIFT) and color changes of artificial weathered .Wood and Fiber Science. Vol. 36, 3; 291-301 p.

DECORESPACIO. 2009. La amenaza de las radiaciones solares para la madera. (en línea).

Consultado 9 ago. 2010. Disponible en

[http://www.decorespacio.com/maderas/radiaciones\\_solares\\_madera.html](http://www.decorespacio.com/maderas/radiaciones_solares_madera.html)

Feist, WC., Hon, DN.-S. 1984. Chemistry of Weathering and Protection. (en línea). The

chemistry of solid wood. Advances in chemistry series 207. American Chemical

Society; 1984: Chapter 11. Washington, USA. Consultado 27 oct. 2010. Disponible en:

<http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1984/feist84a.pdf>

González Aguilar, B. 2007. Caracterización genética con microsatélites de un ensayo de

progenie de Teca (*Tectona grandis* Linn f) en san mateo de Alajuela. Informe trabajo

final de graduación. Cartago, CR, ITCR. 67 p.

Govaere, G., Carpio, I., Cruz, L. 2003. Descripción anatómica, durabilidad y propiedades

físicas y mecánicas de *Tectona grandis*. Laboratorio de Productos Forestales,

Universidad de Costa Rica. (en línea). San José, CR. Consultado 10 ago. 2010.

Disponible en:

<http://www.una.ac.cr/inis/docs/teca/temas/ARTICULO%20LPF%201.pdf>

IMN. 2010. Índice Ultravioleta. (en línea). Consultado 11 ago. 2010. Disponible en

<http://www.imn.ac.cr/educacion/UV/UVA4.html>

Ishiguri, F., Maruyama, S. Takahashi, K., Abe, Z., Yokota, S., Andoh, M., Yoshizawa, N.

2003. Extractives relating to heartwood color changes in sugi (*Cryptomeria japonica*)

by a combination of smoke-heating and UV radiation exposure. Journal Wood Science.

The Japan Wood Research Society. Vol 49(2):135-139p. (en línea). Consultado 15 nov. 2010. Disponible en <http://www.springer.com>

Janin, G., Gonzalez, J., Ananias, R., Charrier, B., Fernandes, G., Dilem, A. 2001. Aesthetics appreciation of Wood colour and patterns by colometry. Part 1. Colorimetry theory for the CIELab Sistem. Madera. Ciencia y Tecnología 3 (1-2): 03-13, 2001.

Lukmandaru, G., Ashitani, T., Takahashi, K. 2009. Color and chemical characterization of partially black-streaked heartwood in teak (*Tectona grandis*). Journal Forestry Research. Vol 20(4):377-380 p. (en línea). Consultado 15 sep. 2010. Disponible en <http://www.springer.com>

MINAE. 2010. Índice Ultravioleta. (en línea). Consultado 11 ago. 2010. Disponible en <http://www.minae.go.cr/dependencias/Indice%20Ultravioleta.html>

Moya, R. s.f. Effect of weathering on color of two coating applied on *Cedrela odorata* and *Carapa guianensis* wood. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. 25 p.

Moya, R., Berrocal, A. 2009. Wood color variation in sapwood and heartwood of Young trees of *Tectona grandis* and its relationship with plantation characteristics, site, and decay resistance. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Annals of Forest Science . vol 67, 1 (en línea). Cartago, CR. Consultado 5 nov. 2010. Disponible en <http://www.afs-journal.org>

Moya, R., Marín, JD., Murillo, O., Leandro, L. s.f. Genetic study of several physical properties, wood color, decay resistance and stiffness of *Tectona grandis* clones. Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. 25 p.

Murallas Reyes, SM. 2008. Caracterización química de la madera de la especie Teca. (*Tectona grandis* L.F.). Tesis Ing. Qui. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala. 142 p.

Ortiz Malavasi, Dr. E. 2007. Crecimiento y rendimiento forestal. Escuela de Ingeniería Forestal. ITCR. Cartago, CR. 89p

Q-LAB. s.f. Cámaras de ensayo de intemperismo acelerado. (en línea). Consultado 13 ago. 2010. Disponible en [http://www.lumaquin.com/biblioteca/archivos/Folleto%20QUV%20\(espa%20ol\).pdf](http://www.lumaquin.com/biblioteca/archivos/Folleto%20QUV%20(espa%20ol).pdf)

Rodríguez Anda, R., Fuentes Talavera, FJ. 2003. Factores que intervienen en el proceso de envejecimiento de la madera. Revista Chapingo. Vol. 9, 1; 95-100 p

Souza, LA. s.f. Conservação Preventiva-Notas Técnicas. Laboratório de Ciências da Conservação, Universidade Federal de Minas Gerais. (en línea). Belo Horizonte, Br. Consultado 2 ago. 2010. Disponible en: [http://www.patrimoniocultural.org/demu/bibliografia/archivos/Notas\\_tecnicas\\_souza.pdf](http://www.patrimoniocultural.org/demu/bibliografia/archivos/Notas_tecnicas_souza.pdf)

TEMIS. 2008. Índice ultravioleta (UVI). (en línea). Consultado 11 ago. 2010. Disponible en <http://www.temis.nl/uvradiation/nrt/uvindex.php?lon=-84&lat=10>

## ANEXOS

**Anexo 1.** Periodos de evaluación del color para las diferentes muestras que estén dentro de la cámara. Costa Rica; 2010.

Hora	Semana 1							Semana 2							Semana 3							Semana 4				
	K	M	J	V	S	D		L	K	M	J	V	S	D		L	K	M	J	V	S	D		L	K	
01:25 a.m.																										
02:25 a.m.																										
03:25 a.m.																										
04:25 a.m.																										
08:25 a.m.	Eval.i																									
09:25 a.m.																										
10:25 a.m.			1Eval																							
11:25 a.m.																										
12:25 p.m.					2Eval																					
01:25 p.m.																										
02:25 p.m.							3Eval																			
03:25 p.m.																										
04:25 p.m.										4Eval																
05:25 p.m.																										
06:25 p.m.											5Eval															
07:25 p.m.																										
08:25 p.m.														6Eval												
09:25 p.m.																										
10:25 p.m.															7Eval											
11:25 p.m.																										
12:25 a.m.																							8Eval			
<b>Total</b>	<b>0</b>	<b>50</b>	<b>100</b>					<b>150</b>	<b>200</b>	<b>250</b>	<b>300</b>				<b>350</b>	<b>400</b>	<b>450</b>						<b>500</b>			

Anexo 2. Presupuesto

<b>Presupuesto para ejecución de tesis de grado - II Semestre 2010</b>	
Tema	<b>Efecto del intemperismo en el color natural de la madera en clones de <i>Tectona grandis</i> Linn F. provenientes de la zonas de Peñas Blancas y Garzas, Costa Rica</b>
<b>Costos fijos</b>	
Traslado (¢/mes)	¢ 30.000,00
Seguro (póliza del INS)	¢ 1.030,00
<b>Total costos fijos</b>	<b>¢ 31.030,00</b>
<b>Costos variables</b>	
<b>Gasto Materiales</b>	
Libreta de campo	¢ 5.000,00
Suministros varios (lápices, borradores)	¢ 3.000,00
<b>Total gasto materiales</b>	<b>¢ 8.000,00</b>
<b>Gasto Equipo</b>	
Pie de rey (1)	Suministrado por el Instituto
Cámara QUV (1)	Tecnológico de
Espectrofotómetro (1)	Costa Rica
<b>Gastos de reproducción</b>	
Impresión de material	¢ 90.000,00
Servicio fotocopiado	¢ 6.000,00
Empastado	¢ 12.000,00
Caja de discos compactos (10)	¢ 5.000,00
<b>Total gastos de reproducción</b>	<b>¢ 113.000,00</b>
<b>Total costos variables</b>	<b>¢ 121.000,00</b>
<b>Total costos fijos + costos variables</b>	<b>¢ 152.030,00</b>
Imprevistos (15%)	¢ 22.804,50
<b>Total general</b>	<b>¢ 174.834,50</b>