



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**EFFECTO DEL ESPACIAMIENTO Y DESCOPE EN EL CRECIMIENTO Y
CALIDAD DE PLANTACIONES DE *TECTONA GRANDIS* EN LA ZONA SUR DE
COSTA RICA**

LUIS MANOLO ALVARADO BLANCO

CARTAGO, COSTA RICA

2011



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

TESIS DE LICENCIATURA

**EFECTO DEL ESPACIAMIENTO Y DESCOPE EN EL CRECIMIENTO Y
CALIDAD DE PLANTACIONES DE *TECTONA GRANDIS* EN LA ZONA SUR DE
COSTA RICA**

Luis Manolo Alvarado Blanco

CARTAGO, COSTA RICA
2011



EFFECTO DEL ESPACIAMIENTO Y DESCOPE EN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD DE PLANTACIONES DE *TECTONA GRANDIS* EN LA ZONA SUR DE COSTA RICA

Manolo Alvarado Blanco *

RESUMEN GENERAL

Las plantaciones forestales como actividad comercial han crecido durante los últimos años, en los cuales estas se han desarrollado y posicionado en el mercado nacional como una actividad de importancia en el sector forestal, sin embargo exigen una alta calidad y rendimiento en su producto debido a sus largos turnos de cosecha. En esta investigación se evalúan tratamientos silviculturales que relacionan calidad de la plantación forestales, crecimiento y la calidad de la madera con intensidades de siembra y alturas de descope en plantaciones de *Tectona grandis* en la zona sur del país. Como antecedente, la empresa BARCA S.A: estableció un diseño experimental de bloques completos al azar en el año 2007 donde se evalúan cuatro densidades de siembra inicial (4x4m, 3x3m, 2,5x2,5m y 2,5x4m), en parcelas de 9 árboles para el espaciamiento 4x4 m y de 16 árboles para los demás espaciamientos. A los tres años de su establecimiento se aplicó un descope a tres diferentes alturas desde el nivel del suelo y se dejó un testigo sin descopar. El diseño experimental consistió en parcelas divididas donde las alturas de descope fue la parcela mayor y los espaciamientos la menor. Para este estudio se aplicó un raleo (a los cuatro años de edad) y se tomaron muestras de la madera para sus respectivas pruebas. La intensidad del raleo se aplicó en función de cada densidad de plantación. Para determinar posibles diferencias entre espaciamientos y alturas de descope fueron evaluadas treinta variables.

Este estudio se divide en cuatro capítulos a saber:

- *Capítulo I: Efecto del espaciamiento en el crecimiento inicial de Tectona grandis.*
- *Capítulo II. Efecto del espaciamiento y el descope en la calidad de Tectona grandis.*
- *Capítulo III. Efecto del espaciamiento y el descope en parámetros de crecimiento Tectona grandis.*
- *Capítulo IV. Efecto del espaciamiento y el descope en las propiedades de la madera de Tectona grandis.*

Palabras claves: *Tectona grandis, Plantaciones forestales, tratamientos silviculturales, intensidades de siembra, alturas de descope, raleo y parámetros de crecimiento.*

*Manolo Alvarado Blanco. 2011. Efecto del espaciamiento y descope en el crecimiento y calidad de plantaciones de *Tectona grandis* en la zona sur de Costa Rica. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 104 p.



Spacing and pruning effect related to growth and quality of *Tectona grandis* plantations in the south of Costa Rica.

Luis Manolo Alvarado Blanco

GENEREAL ABSTRACT

Forest plantations have grown as a commercial activity in recent years; these have been developed and placed in the national market as a major activity in the forestry sector, but demand high quality and performance of the product due to long shifts harvest. This research evaluated silvicultural treatments in plantations of *Tectona grandis* in the south of Costa Rica, that relate quality of forest planting, growth and quality of wood at different intensity planting and coppiced heights.

As background, the company BARCA SA, established an experimental design of randomized complete blocks in 2007, which evaluates four initial plant densities (4x4m, 3x3m, 2.5 x2, 5m and 2.5 x4m) plots of trees 9 for spacing 4x4 m and 16 trees for the other spacings. After three years of its establishment was applied to three different heights coppiced from the ground and left a witness without coppiced. The experimental design was split plot where the height of the plot coppiced was larger and the smaller spacings. For this study we applied a thinning (at four years old) and samples of wood for their respective tests. The intensity of thinning was applied according to each planting density. Thirty variables were evaluated to determine possible differences between spacings and heights of coppiced.

This study is divided into four chapters:

- Chapter I: Spacing effect on inicial growth of *Tectona grandis*

- Chapter II. Spacing and pruning effect in tree quality of *Tectona Grandis* (teak).

- Chapter III. Spacing and pruning effect in growth parameters of *Tectona grandis* (teak) plantation.

- Chapter IV. Spacing and pruning height effect in wood properties of *Tectona grandis* (teak) at 4 years of established.

ACREDITACIÓN

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 ESPACIAMIENTO Y DESCOPE EN EL CRECIMIENTO Y CALIDAD DE PLANTACIONES DE *TECTONA GRANDIS* EN LA ZONA SUR DE COSTA RICA

Miembros del Tribunal Evaluador

Olman Murillo Gamboa, Ph.D.

Director de Tesis

Gustavo Torres Cordoba, M.Sc.

Lector

Nancy Guzmán Solano, Bach

Lectora por parte de BARCA.S.A.

Manolo Alvarado Blanco

Estudiante

DEDICATORIA

Principalmente a mi señor Dios que fue mi fuerza en el proceso.

A mi familia que son de vital importancia en mi vida. A mi padre Marden Alvarado, un ejemplo a seguir, un hombre de trabajo, valiente, responsable y que siempre me apoya sin importar la dificultad de mis proyectos y de las pruebas que llegan en la vida. A mi madre Lillian Blanco, que siempre está a mi lado, apoyándome, dándome fuerza, aconsejándome y orando por mí, mi amiga, mi mamá, que me quiere y me apoya. A mi hermano Gustavo Alvarado, una persona divertida, cariñoso, valiente, luchadora, con un carácter impresionante que lo llevara a ser un triunfador en la vida.

A mis abuelos que con sus consejos y oraciones siempre me apoyan y me acompañan a pesar que algunos han partido y no puedo gozar de su compañía en estos momentos.

A mi novia, Carmen Ulate, que ha estado a mi lado en los momentos de tristeza y dificultad, pero que ha llenado mi vida de momentos únicos que llenos de felicidad y dulzura. También a su familia que me han dado su apoyo y confianza.

Manolo Alvarado Blanco

AGRADECIMIENTO

Primeramente quiero agradecer a Dios que ha sido de suma importancia en mi vida.

A mi familia, que son fundamentales en mi vida y que siempre me han brindado su apoyo.

A Olman Murillo, mi profesor tutor, por el apoyo que me dio en el proceso de realización de este estudio.

También agradezco a BARCA.S.A. por brindarme la oportunidad y facilidades en el desarrollo de esta investigación. A Nancy Guzmán por la ayuda e información brindada.

A Gustavo Torres profesor y miembro del tribunal evaluador, por la ayuda brindada tanto en la evaluación del documento como en el proceso de desarrollo del mismo.

A todos los profesores y amigos que siempre estuvieron apoyando la formación en mi carrera.

A mi tío Rudelman que además de su apoyo moral me ayudo en el proceso de financiamiento de mi carrera.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN GENERAL	iii
GENEREAL ABSTRACT	v
ACREDITACIÓN	vii
DEDICATORIA	viii
AGRADECIMIENTO	ix
ÍNDICE GENERAL	x
ÍNDICE DE CUADROS	xii
ÍNDICES DE FIGURAS	xiii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	15
2. METODOLOGÍA GENERAL.....	16
2.1. Descripción del área de estudio:	16
2.2. Diseño experimental	18
2.3. Delimitación de la parcela útil.	19
3. <i>Capítulo I: Efecto del espaciamiento en el crecimiento inicial de Tectona grandis.</i> 21	
3.1. Resumen.....	21
3.2. Abstract	22
3.3. Introducción	23
3.4. Metodología	24
3.5. Resultados	25
3.6. Discusión	29
3.7. Conclusiones	33
3.8. Recomendaciones	33
3.9. Bibliografías.....	34
4. <i>Capítulo II. Efecto del espaciamiento y el descope en la calidad de los árboles de Tectona grandis.</i>	36
4.1. Resumen.....	36
4.2. Abstract	37
4.3. Introducción	38
4.4. Metodología	39

4.4.1.	Obtención de las variables utilizadas.....	39
4.4.2.	Análisis de los datos	41
4.5.	Resultados	42
4.6.	Discusión	48
4.7.	Conclusiones	54
4.8.	Recomendaciones	54
4.9.	Bibliografías.....	55
5.	<i>Capítulo III. Efecto del espaciamiento y el descope en parámetros de crecimiento de la plantación de Tectona grandis.</i>	57
5.1.	Resumen.....	57
5.2.	Abstract	58
5.3.	Introducción	59
5.4.	Metodología	60
5.4.1.	Mediciones de campo.	60
5.4.3.	Análisis de los datos	61
5.5.	Resultados	62
5.6.	Discusión	69
5.7.	Conclusiones	75
5.8.	Recomendaciones	76
5.9.	Bibliografía	76
6.	<i>Capítulo IV. Efecto del espaciamiento y la altura de descope en las propiedades de la madera de Tectona grandis a los cuatro años de edad.</i>	78
6.1.	Resumen.....	78
6.2.	Abstract	79
6.3.	Introducción	80
6.4.	Metodología	81
6.4.1.	Raleo del ensayo.....	81
6.4.2.	Obtención de las muestras de madera	83
6.4.3.	Densidad y contenido de humedad	84
6.4.4.	Porcentaje de albura-duramen.	84
6.4.5.	Estimación de la excentricidad de médula.	85

6.4.6. Análisis de los Datos.....	85
6.5. Resultados.....	86
6.6. Discusión.....	90
6.7. Conclusiones.....	95
6.8. Recomendaciones.....	96
6.9. Bibliografía.....	97
7. ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Variables de crecimiento a los dos años de edad de <i>Tectona grandis</i> en el ensayo de espaciamientos BARCA.S.A. en Salamá, Piedras Blancas de Osa, Costa Rica. (Medición en Junio 2009).....	26
Cuadro 2: Variables analizadas en el crecimiento de la <i>Tectona grandis</i> en el ensayo de espaciamiento BARCA.S.A. Salamá, Piedras Blancas de Osa, Costa Rica. (Medición en Junio 2010).	26
Cuadro 3: Resultados de la comparación estadística de las medias analizadas en el análisis de crecimiento del ensayo de espaciamientos de la empresa BARCA.S.A.	27
Cuadro 4: Efecto de la altura del descope en parámetros de calidad del árbol de <i>Tectona grandis</i> en Osa, Puntarenas.	43
Cuadro 5: Efecto del espaciamiento en parámetros de calidad de los árboles de <i>Tectona grandis</i> en Osa, Puntarenas.	44
Cuadro 6: Efecto de la interacción ente la altura de descope y la densidad de siembra (espaciamiento) en la calidad de los árboles de <i>Tectona grandis</i> en Osa, Puntarenas.	46
Cuadro 7: Porcentaje medio del fuste del árbol que se encuentra libre del defecto de rama gruesa, para el ensayo de espaciamiento y altura de descope. BARCA.S.A. Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.	50
Cuadro 8: Análisis del efecto de la altura de descope en <i>Tectona grandis</i> en variables de crecimiento en Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica.	63
Cuadro 9: Análisis del efecto del espaciamiento inicial en el crecimiento en <i>Tectona grandis</i> BARCA.SA Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.....	64
Cuadro 10: Análisis de la interacción entre la altura de descope y la densidad de siembra (espaciamiento) en parámetros de crecimiento en <i>Tectona grandis</i> en Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica.	65
Cuadro 11: Mortalidad para cada espaciamiento en <i>Tectona grandis</i> en Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica.	68
Cuadro 12: Análisis de varianza de la mortalidad en <i>Tectona grandis</i> según espaciamiento en Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica.	68

Cuadro 13. Intensidades de raleo según la densidad de siembra en el ensayo establecido en BARCA S.A, en Salamá, Osa, Puntarenas, Costa Rica. 2011.....	82
Cuadro 14: Resultados del análisis de las variables medidas en relación a la altura de descope.	86
Cuadro 15: Resultados del análisis de las variables medidas en relación a la densidad de siembra (espaciamento).	87
Cuadro 16: Medias, coeficientes de variación, espaciamento y significancia de la comparación entremedias para el estudio de las variables analizadas a nivel de madera. ...	88

ÍNDICES DE FIGURAS

Figura 1. Localización geográfica del ensayo de densidad de siembra y descope ubicado al borde de la finca 28, BARCA S. A, Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas.....	17
Figura 2. Ensayo de densidad de siembra y descope BARCA S.A. finca 28, Salamá, Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica. 2007.....	18
Figura 3. Disposición en el campo del ensayo de altura de descope realizado en BARCA S.A en la finca 28, Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica. (Fuente: BARCA S.A. 2010).	19
Figura 4: Ubicación de la parcela útil en los tratamientos de densidad de siembra BARCA.S.A., Salamá, Osa, Puntarenas, Costa Rica.	20
Figura 5: Gráficos de tendencias según las variables analizadas en el ensayo de espaciamento BARCA.S.A, Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.	28
Figura 6. Esquema de las variables tomadas en cuenta en la calificación de la calidad en una plantación forestal de <i>Tectona grandis</i> (Fuente: Murillo y Badilla 2010a).....	38
Figura 7: Efecto de la altura de descope y el espaciamento inicial en la calidad del árbol de <i>Tectona grandis</i>	47
Figura 8. Croquis del ensayo de altura de descope y espaciamentos en <i>Tectona grandis</i> , donde se muestra el sentido de las hileras y las filas. Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica. 2007.....	60
Figura 9: Tendencias en la respuesta del crecimiento de la <i>Tectona grandis</i> al efecto del espaciamento y de la altura de descope.	67
Figura 10. Ubicación de la muestra que se tomó para analizar propiedades físicas y generales de la madera de <i>Tectona grandis</i> proveniente del ensayo de densidad y descope, BARCA S. A. Salamá Piedras Blancas, Osa, Puntarenas. Costa Rica. 2011.....	83
Figura 11: Ubicación de la dirección de los diámetros marcados en la sección transversal del árbol.	84
Figura 12: Efecto del espaciamento y altura de descope en propiedades físicas estudiadas en la madera de <i>Tectona grandis</i> , en BARCA.SA, Salamá, Pierdas Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica. 2011.	89

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Medias de las variables establecidas para la determinación de la calidad de plantación en el ensayo de espaciamiento y descope en BARCA.SA Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.	100
Anexo 2: Medias de las variables establecidas para la determinación de parámetros de crecimiento en <i>T. grandis</i> en el ensayo de espaciamiento y descope en BARCA.SA Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.....	101
Anexo 3: Análisis estadístico respectivo para el estudio de mortalidad de los árboles por hectaea en el ensayo de espaciamiento y descope en BARCA.S.A. Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.	102
Anexo 4: Medias de las variables analizadas en la madera de <i>T. grandis</i> en el ensayo de espaciamiento y descope en BARCA.SA Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.....	103
Anexo 5: Formulario de campo para la medición de variables en el ensayo de densidad y descope.	104

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La reforestación en Costa Rica es una actividad que ha crecido durante los últimos años. Los objetivos por los cuales se ha reforestado son varios; sin embargo, el principal es producir madera para aserrío. La alta demanda de madera y el deficiente control que ha existido en la explotación forestal ha ocasionado una acelerada disminución de las fuentes de madera, principalmente la proveniente de bosque natural, por lo que las plantaciones se han convertido en una alternativa interesante para disminuir la presión sobre el bosque natural por tratarse de una fuente potencial de madera a mediano plazo (Blanco 1996).

El grave problema de deforestación que tiene nuestro país, se intensificó rápidamente debido a que la tasa de nuevas plantaciones forestales no es suficiente para contrarrestar la tasa de cosecha anual. Las plantaciones forestales producto de esta reforestación, al igual que otras tantas especies tropicales, deben recibir el mejor manejo silvicultural con el fin de obtener los productos forestales en el menor tiempo, de la mejor calidad y rentabilidad (Sánchez 1985).

El desarrollo de la silvicultura de plantaciones moderna está sin duda basado en la productividad y retribuciones económicas que esta le pueda dar al inversionista o al Estado. Es por este motivo que como opción del uso de la tierra las plantaciones forestales compiten con los cultivos anuales y la ganadería, que tienen flujos financieros muy atractivos y a un plazo mucho menor. El retorno económico a mediano y largo plazo (entre 10 y 20 años dependiendo de la especie forestal, calidad de sitio, calidad genética de la semilla y los objetivos de producción), le exigen al cultivo de madera niveles altos de rentabilidad y en especial, de garantía de logro de objetivos de producción (Murillo y Badilla 2010a).

Conceptos como competitividad, calidad y productividad en la actividad forestal, sólo pueden ser alcanzados si se introduce una cultura de evaluación y control de calidad, que debe iniciar desde la calidad de la semilla y la planta en vivero, hasta la cosecha final del producto. El poder conocer la calidad actual, el potencial productivo y el valor a futuro de la plantación forestal, se convierte entonces en un insumo vital para la toma de decisiones oportunas (Murillo y Badilla 2010a).

En el sector forestal nacional, existe un gran vacío de información en cuanto a experimentos de espaciamiento, descope y combinación de estos, principalmente de los dos últimos. La presente investigación estudia la calidad de una plantación de *Tetona grandis* y su madera, utilizando diferentes prácticas de manejo de la densidad de siembra y el descope a diferentes alturas.

2. METODOLOGÍA GENERAL

La metodología utilizada consistió en una fase de trabajo de campo así como de laboratorio para el estudio de las muestras de madera.

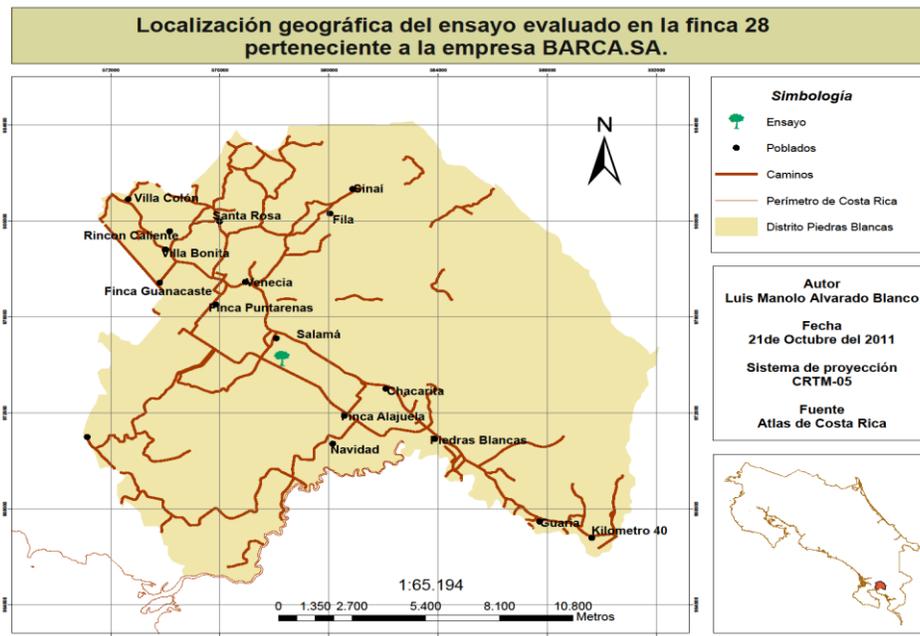
2.1. Descripción del área de estudio:

El estudio se llevó cabo en una sección de terreno al borde de la Finca 28 de la empresa Brinkman & Asociados Reforestadores de Centro América S.A. (BARCA S. A.), la cual se encuentra ubicada en Salamá, perteneciente al distrito de Piedras Blancas, cantón de Osa, en Puntarenas, Costa Rica.

La topografía del sitio es plana, con suelos que se caracterizan por tener poco desarrollo de horizontes. La localidad se encuentran a una elevación aproximada a los 15 msnm y pertenece a la zona de vida bosque muy húmedo tropical (bmh) piso basal según la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1982). Datos climáticos para el sitio Venecia, ubicado a 2 km de Salamá, demuestran que el clima de esta zona es muy húmedo, en promedio llueve 4852 milímetros, distribuidos en 12 meses del año, para un monto total de 209 días con precipitación. Un balance hídrico determinado para una plantación de *Tectona grandis* con una capacidad máxima de retención de 442 mm en una textura franco arenosa, para un sistema radicular efectivo de 66 centímetros en Venecia, Palmar Norte de Osa, además indica con un 75% de probabilidad, que siempre hay exceso de agua en todos los meses; más abundante en septiembre y octubre, y menos lluviosos de enero a marzo. Los meses de más lluvia son setiembre y octubre (Arguedas *et al.* 2006). Los vientos alcanzan velocidades de 4,1 a 5,3 km/h, siendo febrero y marzo los meses más ventosos, con una dirección predominante hacia el Oeste durante todo el año (Guzmán, 2007).

La clasificación taxonómica del suelo es Fluvaquentic Eutrudepts. Es un suelo del orden inceptisol, que presenta un régimen de humedad údico o sea aquellos que no presentan una estación seca marcada, incipiente, inmaduro, con desarrollo pedogenético (pero escaso). Estos suelos presentan un horizonte B toxico conocido como cámbico, el cual muestra principalmente desarrollo de estructura y colores propios del suelo. Presenta una textura franco arenosa y una alta saturación de bases, son de origen aluvial (Fluvaquentic) y con drenaje moderadamente lento (Mata 2006). Terreno plano con pendientes suaves entre 0-5% (ITCR 2004).

El área del ensayo fue destinada inicialmente para el evaluar diferentes tipos de espaciamiento. El ensayo fue establecido en el año 2007 y al año 3 (junio del 2010), se aplicó el descope de los árboles a diferentes alturas. En la figura 1 se muestra la ubicación de la finca 28, perteneciente a la empresa BARCA S. A., sitio donde se encuentra el ensayo evaluado.

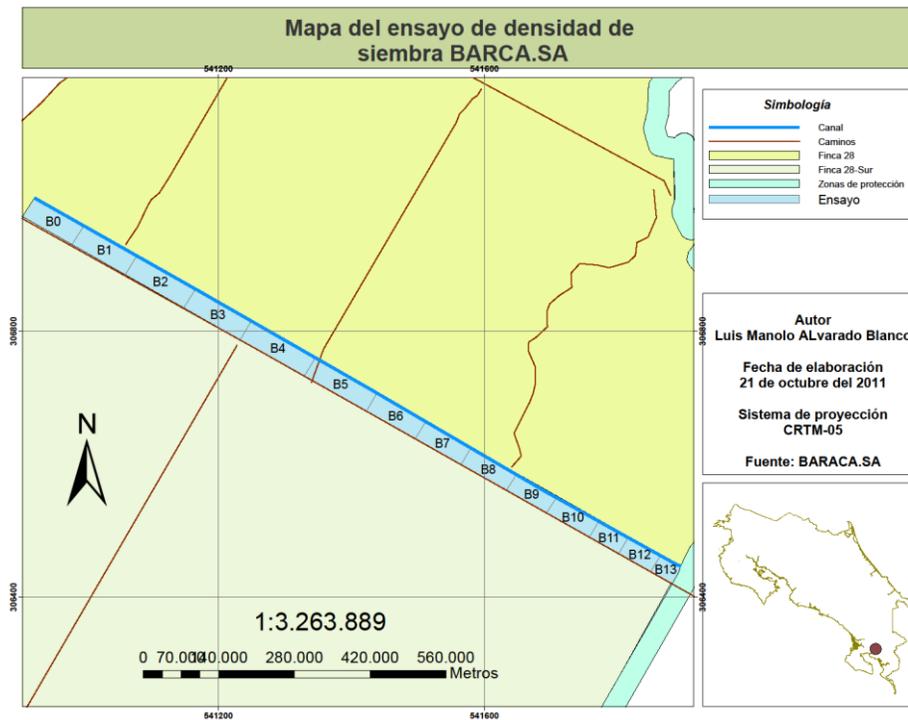


Atlas de Costa Rica. 2008

Figura 1. Localización geográfica del ensayo de densidad de siembra y descope ubicado al borde de la finca 28, BARCA S. A, Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas.

2.2. Diseño experimental

El ensayo de espaciamento fue establecido en mayo del 2007 y cuenta con 13 bloques completos y uno incompleto. Para efectos de este estudio, se trabajó con los primeros 12 bloques, enumerados de cero a 11 en el campo. Cada bloque contó con cuatro diferentes tratamientos de densidad de siembra (3mx3m, 4mx4m, 2,5mx2,5m y 2,5mx4m). Cada uno de estos tratamientos cuenta con seis filas de frente sembradas al mismo espaciamento y con distinto número de árboles hacia el fondo, debido a que se sembró una franja delimitada entre el camino de acceso y un canal, con las diferentes densidades de siembra de acuerdo al tamaño de la franja. A continuación se presenta un mapa del ensayo de densidad de siembra.



Fuente: BARCA S.A. 2010

Figura 2. Ensayo de densidad de siembra y descope BARCA S.A. finca 28, Salamá, Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica. 2007

Dentro del ensayo de espaciamientos se estableció un ensayo de altura de descope, en junio 2010. La empresa tomó la decisión de evaluar el efecto de distintas alturas de descope en el crecimiento y calidad de los árboles. Este ensayo se basó en cuatro tratamientos de descope a saber: a) Testigo, en el cual los árboles no se descoparon, b) descope a de altura a los 6,5 m, c) descope a los 8,5m de altura y d) descope a los 10,5m de altura. Cada tratamiento contó con tres repeticiones cada uno. En este ensayo a cada bloque se le aplicó un solo tratamiento de descope. Estos tratamientos se distribuyen de forma aleatoria en el campo. La distribución de los tratamientos se presenta en la figura 3.

Ensayo de descope de árboles a diferentes alturas

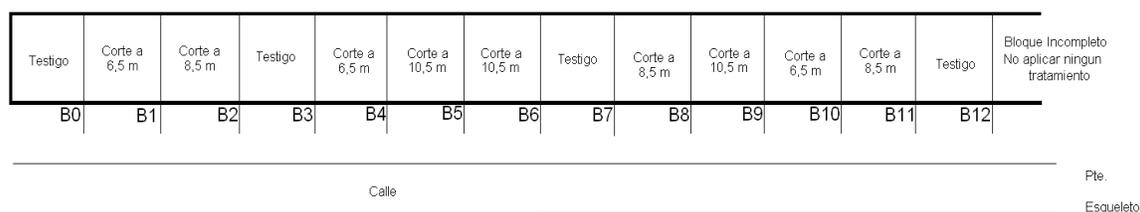


Figura 3. Disposición en el campo del ensayo de altura de descope realizado en BARCA S.A en la finca 28, Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica. (Fuente: BARCA S.A. 2010).

2.3. Delimitación de la parcela útil.

Como se mencionó anteriormente, los tratamientos de cada bloque no contaron con la misma cantidad de árboles, por tal razón para este estudio se igualó un número (N) de árboles definido para cada tratamiento en los bloques. De esta manera se tomó como parcela útil un total de 16 árboles para los tratamientos de 2,5x2,5, 3x3, 4x2,5 y de nueve árboles para el tratamiento de 4x4m, estas parcelas se ubicaron en el centro de cada tratamiento. El N establecido fue determinado de la siguiente manera: cada tratamiento cuenta con seis filas de árboles; para minimizar el efecto de borde no se tomaron en cuenta ni la primera ni la última fila de cada tratamiento de 2,5x2,5, 3x3, 4x2,5m (figura 4A).

Para el caso de densidad de siembra de 4x4m se descartaron dos filas de uno de los bordes y una fila del borde opuesto. Se definió la posición de la parcela en el campo dependiendo de la cantidad de árboles o bien, de la mejor ubicación espacial que estos presentan, esto a criterio del desarrollador (figura 4A) Una vez descartadas las filas definidas anteriormente, se contabilizaron cuatro y tres árboles de fondo por fila para los tratamientos de 2,5x2,5, 3x3, 4x2,5m y el de 4x4m respectivamente. De esta manera se definieron cuadrículas de cuatro árboles de frente por cuatro de fondo y de tres árboles de frente por tres de fondo, para un total de 16 árboles por tratamiento en los casos de una densidad de siembra de 2,5x2,5, 3x3, 4x2,5m y de nueve árboles para el caso de una densidad de siembra de 4x4m. El número de árboles seleccionado también obedece a que en algunos tratamientos no se tiene la cantidad necesaria de individuos y solo se pueden ubicar parcelas con un total de 9 árboles, esto para la densidad de siembra de 625 árboles por hectárea (Figura 4B y 4C).

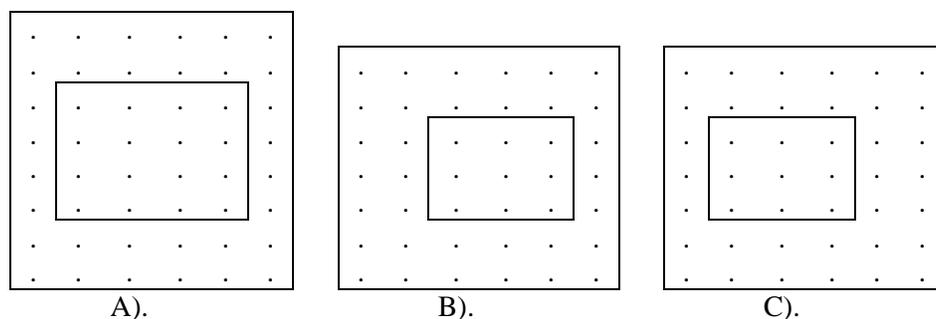


Figura 4: Ubicación de la parcela útil en los tratamientos de densidad de siembra BARCA.S.A., Salamá, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

3. Capítulo I: Efecto del espaciamiento en el crecimiento inicial de *Tectona grandis*.

3.1. Resumen

Se estudio el efecto de densidad de siembra en el crecimiento de plantación de *Tectona grandis*, establecida por la empresa BARCA.S.A. en un ensayo de espaciamiento y altura de descope en la finca Salamá, localizada en Piedras Blanca, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

El diseño experimental contó 12 bloques completos, donde cada uno presentó con cuatro densidades de siembra. Por estas características el diseño correspondió al diseño experimental estadístico de bloques completos al azar.

El ensayo presentaba 3 años de edad al momento de la última medición para este estudio. Debido a los distintos espaciamientos muestreados se implementó el uso de parcelas circulares de 200 m² con un radio de 7,98m de tal manera que la cantidad de árboles muestreados para cada espaciamiento es variable.

Las variables evaluadas fueron: Diámetro a 1,3m de altura (Dap), altura, área basal (individual o por hectárea), volumen (individual y por hectárea), IMA (dap, área basal y volumen) e ICA (dap, área basal y volumen). Con los análisis estadísticos respectivos para estas variables, se pudo determinar que a la edad de 3 años el efecto del espaciamiento muestra diferencias significativas en crecimiento en árboles y en volumen/ha. El espaciamiento 3 x 3 m es el que presentó mejores resultados de crecimiento para las variables analizadas, mientras que el espaciamiento 2,5x2,5m fue el que reflejó los menores crecimientos.

El diámetro presenta un comportamiento de disminución conforme aumenta la densidad de siembra, la cual se hace más notoria a partir del segundo o tercer año, cuando sus copas se empiezan a cerrar y la competencia se intensifica. Los mayores incrementos volumétricos por hectárea los propician las mayores densidades de siembra, sin embargo éstas son las que tienen menores incrementos volumétricos a nivel de árbol individual.

Palabras claves: Densidad de siembra, *Tectona grandis*, espaciamiento, incrementos volumétricos

3.2. Abstract

Chapter I: Spacing effect on inicial growth of *Tectona grandis*

Were studied the effect of plant density on the growth of *Tectona grandis* plantations, established by the company BARCA.SA in a trial-spacing and height coppiced of the farm Salama, located at Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

The experimental design has 12 full blocks, where each one has four seeding rates. For these design features corresponds to the statistical experimental design of randomized complete blocks. The trial had 3 years of age at the last measurement for this study. Due to the different areas sampled were implemented using circular plots of 200 m² with a radius of 7.98 m so that the number of trees sampled for each spacing is variable.

The variables evaluated were: diameter at 1.3 m in height (dbh), height, basal area (individual or per hectare), volume (individual and per hectare), IMA (dbh, basal area and volume) and ICA (dbh, area basal and volume). With the respective statistical analysis for these variables, it was determined that at the age of 3 years the effect of spacing show significant differences in tree growth and volume / ha. The 3 x 3 m spacing is the growth showed better results for the analyzed variables, while the spacing 2,5 x2, 5m was reflecting the lower growth

The diameter has a decreasing behavior with increasing planting density, which becomes more noticeable after the second or third year, when their crowns begin to close and the competition intensifies. The largest increases in volume per hectare foster the highest densities of planting, but these are the volumetric increases with lower individual tree level

Keywords: Plant density, *Tectona grandis*, spacing, volumetric increases

3.3. Introducción

Tectona grandis es una especie latifoliada, que pertenece a la familia de las Verbenaceae y su nombre común es *Tectona grandis* (Webb 1980). Es un árbol de gran porte, de hasta 40 m ó más de altura y de 1,5 m de diámetro, de fuste recto, cilíndrico y limpio (Arguedas y Torres 1996).

Esta especie presenta un crecimiento inicial bastante rápido que disminuye después de 8 ó 10 años. El crecimiento se ve reducido en sitios desfavorables; el poco aumento en diámetro se debe, a suelos pobres o a la falta de raleos (Webb, 1980). Altitudes mayores a 1000 m.s.n.m afectan negativamente el crecimiento, así como los sitios bajos con alta precipitación (mayores a 3500 mm al año) o sin un período seco definido de al menos tres meses no son recomendados para plantar la especie. (Fonseca, 2004). La calidad de sitio es muy importante ya que sus características topográficas, climáticas y edáficas, tienen una estrecha interacción con las características biológicas de una determinada especie, de tal manera que el crecimiento puede verse afectado (Blanco 1996). Es de suma importancia investigar la calidad de los terrenos y clasificar esas áreas con base en su calidad, para así poder estimar cuál es el potencial de crecimiento esperado para una especie en particular en un sitio específico (Chinchilla, 1989).

Estudios anteriores demuestran que algunas prácticas de manejo de plantaciones son capaces de acelerar el crecimiento de los árboles y a la vez, disminuir la gravedad específica de la madera. Tal es el caso de los raleos, que además si se realizan en conjunto con las fertilizaciones, podrían dar mejores resultados, tanto en crecimiento como en el peso específico de la madera (Zhang, 1995).

A raíz de esto, en la zona sur del país, la empresa BARCA.SA, establece un experimento de espaciamientos, con el objetivo de dar seguimiento a distintas variables en el crecimiento de la *Tectona grandis* en la zona. Con este fin se midieron las siguientes variables en este ensayo: diámetro a 1,3 metros de altura, altura total, daños por viento y calidad del fuste en sus primeros cuatro trozas, como se explica en detalle más adelante.

Este capítulo tiene como objetivo principal determinar y analizar el efecto del espaciamiento en el crecimiento inicial de *Tectona grandis*.

3.4. Metodología

El ensayo de espaciamiento contó con 12 bloques completos, con parcelas permanentes de muestreo para monitorear el comportamiento en crecimiento. En junio del 2009 fueron establecidas 12 parcelas permanentes. Estas se encontraban ubicadas en los bloques número cuatro, ocho y nueve, distribuidas cuatro parcelas por bloque, de tal manera que para cada espaciamiento existió una parcela. En el año 2010 se establecieron 4 parcelas más en el bloque 3 con el fin de mejorar la calidad de la muestra del ensayo.

Estas parcelas de muestreo fueron de forma circular y tiene un área de 200 m² (radio: 7,98 m). Las variables evaluadas anualmente son diámetro (cm) a 1,3 metros de altura, calidad, efecto de doblamiento (1=sin doblamiento, 2=doblamiento moderado, 3=doblamiento severo), y presencia de ramas gruesas (≥ 3 cm de diámetro) por debajo los 5m de altura.

Con las mediciones de años anteriores, se procedió al análisis del incremento del diámetro, área basal y volumen según el espaciamiento. Para determinar el comportamiento de la tasa de crecimiento general de cada espaciamiento, se calcularon los valores del Incremento Medio Anual (IMA) e incremento corriente anual (ICA) para las variables diámetro a 1,3m de altura del suelo y altura total.

Las formulas de cálculo de estos dos índices son las siguientes:

$$\text{IMA} = \text{Variable}_{\text{Año } n} / \text{Edad}_{\text{Año } n}$$
$$\text{ICA} = \text{variable}_{\text{año } n} - \text{variable}_{\text{año } (n-1)}$$

Para los años 2009 y 2010 la altura fue estimada mediante el uso de un hipsómetro, por tanto estos datos contienen un gran porcentaje de error en la estimación, por tanto la altura total fue estimada mediante una regresión con respecto al diámetro, con el fin de tener datos más cercanos al real para todos los años. Dicha regresión se realizó a partir de un modelo basado en datos obtenidos de 144 árboles tumbados. Estos árboles se obtuvieron de la corta de 3 individuos por cada espaciamiento, esto para cada uno de los doce bloques (cada bloque cuenta con los 4 espaciamientos evaluados). Sin embargo, el ensayo incluyó árboles descopados a distintas alturas, estos fueron excluidos de la regresión debido a que

no son válidos para llevar a cabo una estimación de la altura total. En síntesis, para este análisis se tomaron en cuenta solo los árboles pertenecientes a bloques donde no hubo descope (0, 3 y 7) resultando un total de 35 árboles tumbados que fueron los analizados para la regresión.

De esta manera se completó la base de datos necesaria para el análisis del crecimiento en el ensayo de espaciamientos en *Tectona grandis*. Una vez tabulados los datos, se realizaron los análisis de varianza pertinentes para determinar la existencia de diferencias significativas entre los valores de las medias para las variables analizadas.

3.5. Resultados

En los cuadros 1 y 2 se muestra el resumen general de los resultados obtenidos del análisis de los datos de las variables medidas para este estudio.

Para el año 2009 se puede notar que el espaciamiento con mayor incremento medio anual (IMA) respecto al diámetro es el de 4x4m (cuadro 1), el cual presenta un valor de 5,8 cm de IMA. Este mismo espaciamiento es el que presenta mayores promedios de diámetro a 1,3 metros (Dap), IMA (dap), área basal por árbol (G/árbol), volumen por árbol (vol/árbol), sin embargo es el que presenta los menores valores de área basal por hectárea (G/Ha) y volumen por hectárea (Vol/Ha). Este comportamiento es inversamente proporcional al presentado por el espaciamiento 2,5x2,5m.

En el cuadro 2 se muestran los resultados obtenidos del análisis de las variables estudiadas para el año 2010, y en general se nota la misma tendencia que para el año 2009, en donde el espaciamiento 4x4m es el que presenta mayores valores para todas las variables analizadas exceptuando en volumen por hectárea y el área basal por hectárea que los mejores resultados los presentó el espaciamiento 2,5x2,5m.

Cuadro 1: Variables de crecimiento a los dos años de edad de *Tectona grandis* en el ensayo de espaciamientos BARCA.S.A. en Salamá, Piedras Blancas de Osa, Costa Rica. (Medición en Junio 2009).

Espaciamientos	N	Dap (cm)	Altura (m)	IMA Dap (m)	IMA Altura (m)	G (m ²)	Vol (m ³)	G/ha (m ²)	Vol/ha (m ³)	IMA G/ha (m ²)	IMA Vol/ha (m ³)
2,5x2,5	1350	10,18	12,61	5,01	6,30	0,00842	0,03960	11,37	53,45	5,69	26,73
2,5x4	883	10,60	12,92	5,30	6,46	0,00934	0,04678	8,25	41,33	4,12	20,66
3x3	967	10,39	12,84	5,16	6,42	0,00890	0,03807	8,60	36,80	4,30	18,40
4x4	567	11,61	13,98	5,80	6,99	0,01082	0,05280	6,13	29,92	3,07	14,96

N: Número de árboles

Dap: diámetro a 1,3 metros de altura

IMA: incremento medio anual

G: área basal determinada en la parcela

G/ha: área basal por hectárea

Vol: volumen determinado en la parcela

Vol/ha: volumen por hectárea

Cuadro 2: Variables analizadas en el crecimiento de la *Tectona grandis* en el ensayo de espaciamiento BARCA.S.A. Salamá, Piedras Blancas de Osa, Costa Rica. (Medición en Junio 2010).

Espaciamientos	N	Dap (cm)	Altura (m)	IMA Dap (cm)	ICA Dap (cm)	G (m ²)	Vol (m ³)	G/ha (m ²)	Vol/ha (m ³)	IMA G/ha (m ²)	IMA Vol/ha (m ³)	ICA G (m ²)	ICA Vol (m ³)
2,5x2,5	1325	13,64	15,38	4,52	3,28	0,01519	0,091	20,1	121,4	6,7	40,5	8,8	67,9
2,5x4	880	14,65	15,96	4,88	3,89	0,01779	0,111	15,8	101,0	5,3	33,7	7,5	59,7
3x3	950	14,29	15,85	4,76	3,78	0,01668	0,094	15,8	90,6	5,3	30,2	7,2	53,8
4x4	560	17,07	17,61	5,69	5,25	0,02335	0,151	13,4	86,7	4,5	28,9	7,3	56,8

N: Número de árboles

Dap: diámetro a 1,3 metros de altura

IMA: incremento medio anual

ICA: incremento corriente anual

G: área basal determinada en la parcela

G/ha: área basal por hectárea

Vol: volumen determinado en la parcela

Vol/ha: volumen por hectárea por hectárea

Seguidamente en el cuadro 3 se muestra los resultados determinados en las comparaciones estadísticas realizadas para las variables.

Cuadro 3: Resultados de la comparación estadística de las medias analizadas en el análisis de crecimiento del ensayo de espaciamientos de la empresa BARCA.S.A.

Variable	SCC	gl	CM	Fc	P-value
Dap	7,274307835	3	2,424769	6,75056	0,0756 ns
IMA Dap	1,076392479	3	0,358797	24,6848	0,0129 **
G/árbol	3,17E-05	3	1,06E-05	3,317508	0,1755 **
G/ha	36,52816927	3	12,17606	48,35703	0,0049 ns
Vol/árbol	0,001744227	3	0,000581	2,607464	0,226 **
Vol/ha	962,4133576	3	320,8045	17,31969	0,0213 ns

SC: suma de cuadrados

gl: grados de libertad

CM: cuadrado medio

Fc: F calculada

Dap: diámetro a 1,3 m

IMA: incremento medio

anual

G: área basal

Vol: volumen

ns: diferencia no

significativa

****:** diferencia significativa

a 95% de probabilidad.

En los análisis estadísticos realizados se determinó que existen diferencias significativas entre años para todas las variables analizadas. Lo cual fue lo esperado, debido a que el crecimiento de un año a otro fue significativo. Por otro lado, para las mismas variables cuando fueron estudiadas a nivel de espaciamiento, solo en algunas de ellas se registraron diferencias significativas. El área basal por hectárea y volumen por hectárea según el análisis estadístico realizado no presenta diferencia significativa entre el valor de sus medias.

En la figura 5 se muestran los principales comportamientos del crecimiento del ensayo de *Tectona grandis* evaluado.

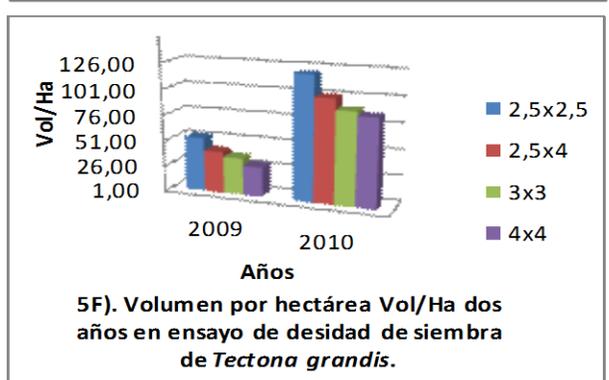
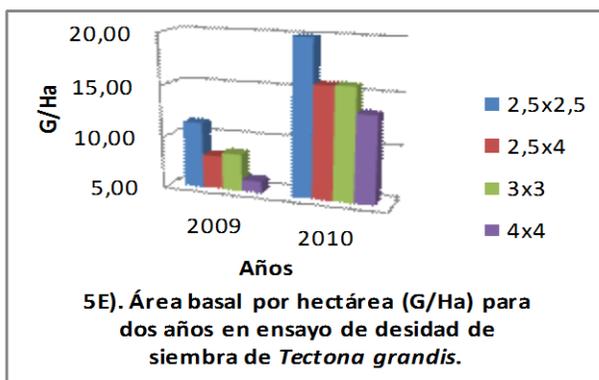
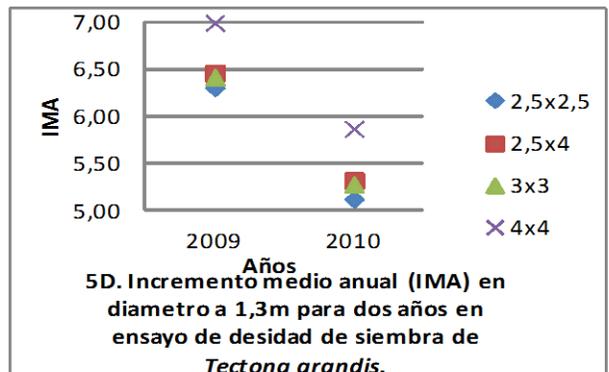
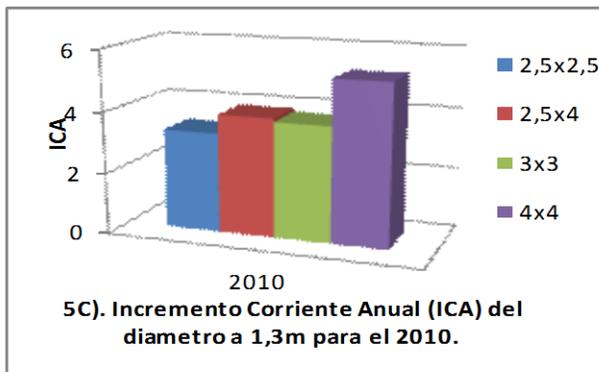
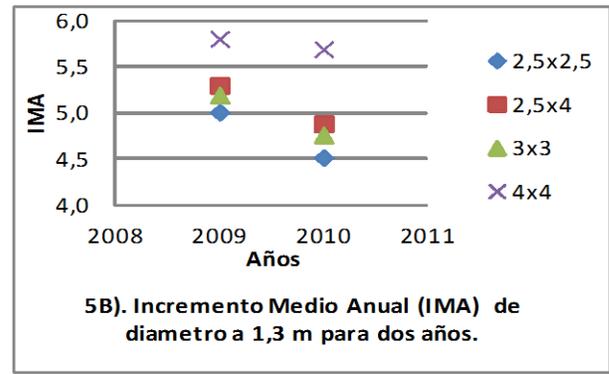
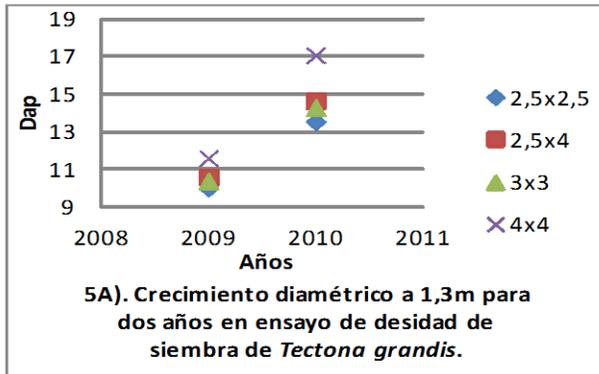


Figura 5: Gráficos de tendencias según las variables analizadas en el ensayo de espaciamiento BARCA.S.A, Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

3.6. Discusión

El espaciamiento en las plantaciones de *Tectona grandis* depende en gran medida del producto deseado, ya sea leña, postes, madera o una mezcla de productos a obtener durante el ciclo de crecimiento, cosechas parciales y cosecha final. Los espaciamientos tradicionales para las plantaciones de *Tectona grandis* varían, sin embargo, se podría decir que un espaciamiento de 3 por 3 m se usa comúnmente para la producción de madera para aserrío. Este estudio determinó la influencia del espaciamiento en el crecimiento de la *Tectona grandis*, mediante el análisis de sus incrementos en diámetro, altura, área basal y volumen.

- Diámetro a la altura del pecho (DAP)

Según el análisis estadístico se pudo determinar que el valor del diámetro a 1,3 metros de altura sobre el suelo presentó diferencia significativa tanto para los valores de cada año como entre sus espaciamientos (cuadro 3). Tanto para el año a 2009 como para el año 2010, el espaciamiento 4x4 m con medias de 11,6 cm y 17,1 cm respectivamente, se ubica en la primera posición en crecimiento. Mientras que el espaciamiento con el menor crecimiento en diámetro fue el de 2,5x2,5 m para ambos años. Se puede decir que el incremento en diámetro disminuye conforme aumenta la densidad de siembra (figura 5A). Esta tendencia se mantiene en el tiempo pero se hace más notoria a partir del segundo o tercer año, cuando sus copas se empiezan a cerrar y a establecerse la competencia.

Este comportamiento se ve reflejado directamente en el IMA, donde se observa que la competencia produce un mayor aumento en el DAP que en la altura. Lo anterior es lo que normalmente se espera. Estas diferencias se pueden notar en el cuadro 1 y 2, donde para el año 2009 los valores de sus medias por espaciamiento se encontraban entre 5 y 5,8 cm, mientras que para el 2010 este rango se amplía, quedando en evidencia una disminución en crecimiento, en donde el espaciamiento 2,5x2,5 m paso de crecer 5 cm por año a crecer 4,5 cm por año. En el espaciamiento 4x4m (mayor área de crecimiento para el árbol, por tanto menos competencia) mantiene su tasa de crecimiento anual media constante (figura 5B). Según Chávez y Araya (1992), mencionados por Fonseca (2004); Costa Rica presenta un crecimiento medio anual diamétrico para *Tectona grandis* que va desde 1,41 a 1,91cm por

año, esto basado en un ciclo de 20 años, el cual es mucho menor al IMA para diámetro obtenido en ese estudio, que supera los 5 cm para el 2009 y los 4,5cm para el 2010. Esta tasa de incremento según Fonseca (2004), se clasifica dentro de una categoría muy alta, ya que supera los 2 cm establecidos en la clasificación presentada en su estudio.

El incremento corriente anual (ICA) también se ve influenciado por el espaciamiento de siembra, ya que para los árboles con mayor espaciamiento (4x4m), se registran incrementos mayores en un año respecto a densidades mayores de siembra (figura 5C). Para este experimento, el espaciamiento que registró el mayor ICA fue el espaciamiento 4x4 m con un valor de 5,25 cm en el año 2009-2010, mientras que los otros espaciamientos oscilan entre valores 3,27 y 3,28 cm.

- **Altura:**

Como se mencionó se estimó la altura de los árboles mediante una regresión debido a que esta variable fue estimada para los años anteriores mediante el uso de un hipsómetro, el cual genera un error alto en la estimación de la altura, es por esto que la altura para este estudio presentan una relación directa con el diámetro de los árboles y no reflejan el verdadero comportamiento del espaciamiento en la altura total de los árboles, es por esto que este dato fue utilizado solamente para el cálculo del volumen y no se analizó su incremento en el tiempo, ya que los valores que estos podrían brindar no son representativos como diferencias de espaciamiento.

Para el estudio se procedió a ajustar un modelo de regresión para poder estimar la altura en función del diámetro. Mediante un análisis de regresión, se ajustó el mejor modelo para la estimación de la respecto al diámetro

$$A = 9,3439 * \ln(Dap) - 8,8103$$

Donde:

A: Altura;

Dap: diámetro a 1,3 metros de altura

El modelo tuvo un ajuste de $R^2 = 0,71$

- Área basal

En densidades de siembra menores se presentó un mayor área basal por árbol, sin embargo una menor área basal colectiva, debido al menor número de individuos por ha. Caso contrario se registró en densidades de siembra mayores (2,5x2,5 m para este estudio), donde el área basal por árbol es menor pero si se analiza el rodal, se obtiene un valor mayor de área basal respecto a otros espaciamientos. Este efecto de la densidad de siembra es fundamental para la toma de decisiones técnicas de una empresa.

Para este estudio este comportamiento se muestra en los cuadros 1 y 2, el cual para los años 2009 y 2010 se mantiene una tendencia clara de aumento del área basal en los espaciamientos más densos. El área basal por hectárea presentó diferencia significativa entre los espaciamientos (donde la mayor diferencia la presentan los espaciamientos 2,5x2,5 y 4x4m) cada año. En el 2009 el área basal por hectárea fue de 11,37 m²/ha para el espaciamiento 2,5x2,5 m y disminuye conforme disminuye la densidad hasta llegar a un valor de 3,13 m²/ha para el espaciamiento 4x4m. Estos resultados evidencian la tendencia mencionada. Mismo comportamiento se presenta en el año 2010, donde los valores disminuyen desde 20,1 m²/ha para densidades de siembra de 2,5x2,5 m hasta 13,4 m²/ha para 4x4m(figura 5E). El área basal por individuo sigue el patrón esperado del comportamiento del DAP. Significa esto, que a mayor densidad menor área basal individual. Por el contrario, el área basal/ha está afectado por el número de individuos/ha. Por tanto, a mayor densidad de siembra mayor área basal, a pesar de que individualmente los árboles registren un diámetro medio inferior. Chaves (1989), registra este mismo patrón en su estudio, por lo que se puede corroborar y respaldar las tendencias obtenidas en esta investigación.

- Volumen

El volumen presenta el mismo comportamiento que el área basal para los dos años analizados, donde el mayor volumen por hectárea lo presentan las densidades de siembra mayores (2,5x2,5m). Este disminuye conforme se reduce el número de individuos/ha (N) hasta llegar a los espaciamientos 4x4m, donde se registra un menor volumen por hectárea y a su vez una menor densidad de siembra por hectárea (figura 5F).

El análisis estadístico de sus valores promedio registró diferencias significativas entre los espaciamientos de cada año, en donde para el 2009 y 2010 el mayor volumen por hectárea lo presenta el espaciamiento 2,5x2,5 m con volúmenes de 53,45 y 121,4 cm respectivamente (cuadro 3).

Para el volumen por árbol no se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados valores de sus medias. Hay que tomar en cuenta que si se analizan estos espaciamientos a nivel del área basal/hectárea, sí se registran diferencias significativas entre los valores de sus medias, esto debido principalmente al número variable de árboles presentes por hectárea.

En general, se reporta un crecimiento de volumen total anual en *Tectona grandis* para Costa Rica, que varía entre 10 y 25 m³/ha/año (Chávez y Fonseca 1991). En estudios realizados en la región Chorotega en Costa Rica, Vásquez y Ugalde (1995) encontraron que a la edad de 10 años es posible tener incrementos desde 5,4m³/ha/año hasta 22 m³/ha/año. Por otro lado, datos de parcelas permanentes de empresas privadas (BARCA S.A.) reportan incrementos en los primeros 10 años entre 10 m³/ha/año hasta 25 m³/ha/año (González 2001). Para este estudio el incremento medio anual registrado sobrepasa los valores reportados en la literatura. Los datos de crecimiento del volumen registrados en este estudio, corresponden con los reportados para *Tectona grandis* a los 10 años de edad (Chaves y Fonseca, 1991), a pesar de que en este estudio las mediciones son a los 4 años de edad. Es importante conciderar que los mayores incrementos en crecimiento en los árboles ocurren en los primeros años de vida y conforme aumenta el tiempo la tasa de crecimiento disminuye, lo que podría explicar los valores menores reportados en los estudios mencionados.

3.7. Conclusiones

- El diámetro presenta un comportamiento de disminución conforme aumenta la densidad de siembra y esta tendencia se mantiene en el tiempo. Se hace más notoria a partir del segundo o tercer año de edad, cuando las copas se empiezan a cerrar y la competencia se intensifica.
- Los mayores incrementos volumétricos por hectárea se registraron en las mayores densidades de siembra, sin embargo éstas son las que dan menores incrementos volumétricos a nivel de árbol individual.
- Las condiciones de sitio posiblemente influyeron en los crecimientos de los árboles de un año a otro, de tal manera que sobrepasaron los rangos reportados en la literatura.

3.8. Recomendaciones

- Incluir la medición de la altura total de los árboles mediante el uso de vara telescópica en futuras mediciones de las parcelas permanentes de la empresa. De esta manera se podría utilizar datos de mediciones y no de estimaciones para poder realizar un análisis minucioso del efecto del espaciamiento en la altura total del árbol. Estas mediciones pueden ser determinantes en la comercialización de la madera en la empresa, ya que de la altura depende en gran medida la cantidad de trozas comerciales que se obtienen de un árbol.
- Se recomienda la implementación de más parcelas permanentes de medición en los bloques que no fueron descopados (0, 3, 7 y 12), para así contar con más datos de árboles testigos en los análisis, de esta manera, tener un panorama más claro de las diferencias que presentan los árboles en diferentes espaciamientos.

3.9. Bibliografías

- Arguedas, M y Torres, G. 1996. Especies forestales de mayor utilización en Costa Rica. Editorial Tecnológica. Cartago, CR. 33 p.
- Arguedas, M y Mata, R; Herrera, W; Arias, D; Calvo, J; Salas, B. 2006. Síndrome de decaimiento lento de la *Tectona grandis* en Costa Rica, Segunda etapa, Informe Final. Escuela de Ingeniería Forestal, Centro de Investigación e Integración Bosque Industria. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago Costa Rica. 186 p.
- Blanco, M. 1996. Determinación de la productividad en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. Tesis B.Sc. Cartago. CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 71 p.
- Chinchilla, O. 1989. Curvas de Índice de Sitio para ciprés (*Cupressus lusitanica*) en la zona de distribución artificial. Tesis Lic. San José, CR. Universidad Nacional. 4-5p.
- Chaves, E y Fonseca, w. 1991. *Tectona grandis* L.f. Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Ed. E Rodríguez Araya. Turrialba, CR. Litografía e Imprenta LIL, S.A. Serie técnica. Informe técnico / CATIE; no.179. 47 p.
- Chaves, S.E. 1989. Factores limitantes en el crecimiento de *Tectona grandis* (teca.) en la zona de Puntarenas, Costa Rica. Guía Agropecuaria (C.R.) 7(14):64-66
- Fonseca, W. 2004. Manual para productores de Teca (*Tectona grandis* L.f.) en Costa Rica. Heredia (en línea). Consultado el 24 de noviembre del 2006. Disponible en: http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/ManualProductoresTectona_grandis.pdf
- González, E. 2001. Análisis financiero de rendimientos de la producción de *Tectona grandis* EN la región pacifico central de Costa Rica. Tesis B.Sc. Cartago, CR. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 130 p.
- Guzmán, N. 2007. Evaluación del doblamiento de teca (*Tectona grandis* l.f.) en plantaciones jóvenes de la empresa BARCA S. A. Tesis B.Sc. Cartago. CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 103 p.
- Holdridge, L. R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Trad. Humberto Jiménez Saa. San José, C.R. IICA. 216 p.
- ITCR. 2004. Atlas de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. (CD-ROOM). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 1 CD-ROOM.

- Mata, R. 2006. Informe del estudio de suelos de dos perfiles en la Finca Salamá ubicada en Salamá, Osa, Puntarenas. En digital. 7 pag.
- Murillo, O y Badilla, Y. 2010a. Calidad de plantaciones forestales (en prensa). Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. p 66.
- Sánchez, V. 1985. Informe de práctica de especialidad. Raleos iniciales en una plantación de *Alnus acuminata* (H.B.K) o KTZE, en Cascajal de Coronado, San José Costa Rica. Tesis B.Sc. Cartago, CR. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 112p.
- Vásquez, W y Ugalde, L. 1995. Rendimiento y calidad de sitio para *Gmelina arborea*, *Tectona Grandis*, *Bombacopsis quinatum* y *Pinus caribea* en Guanacaste, Costa Rica. CATIE, Turrialba, Costa Rica. P 40.
- Webb, B.D. 1980. Guía y clave para seleccionar especies en ensayos forestales de regiones tropicales y subtropicales. Londres, G.B., Overseas Development Administration. 275 p.
- Zhang, S.Y. 1995. Effect of growth rate on Wood specific gravity and selected mechanical properties in individual species from distinct Wood categories. *Wood Science and Technology*. 29: 451-465.USA

4. Capítulo II. Efecto del espaciamiento y el descope en la calidad de los árboles de *Tectona grandis*.

4.1. Resumen

Se estudio el efecto de la densidad de siembra y altura de descope en la calidad de los árboles y de la plantación de *Tectona grandis*, en un ensayo de espaciamiento y altura de descope en la finca Salamá manejada por BARCA S.A y localizada en el distrito de, Piedras Blanca, Osa, Puntarenas, Costa Rica. El diseño experimental cuenta con 12 bloques en los que se aplicó 3 tratamientos de descope a los árboles a los 6,5m, 8,5m y 10,5m con tres repeticiones de cada tratamiento. Además, cada bloque cuenta con cuatro densidades de siembra: 4x4m, 3x3m, 2,5x2,5m y 4x2,5m. El diseño experimental utilizado fue el de parcelas divididas, en donde la parcela mayor es la altura de descope y el espaciamiento corresponde a la parcela menor. El ensayo contaba con 4 años de edad al momento de la medición. En cada uno de los bloques muestreados se establecieron 4 parcelas temporales (una por cada espaciamiento), para un total de 48 parcelas. Cada parcela de evaluación contempló una parcela útil interna rodeada por 1 o 2 hileras de árboles. Las variables evaluadas fueron: posición sociológica, altura de la primer rama gruesa, número de ramas a los 2,5 metros de altura, número de ramas gruesas a los 5 metros de altura, presencia de bifurcación y/o reiteración, tipo de daño por viento, altura a la que se presentó el daño por viento. Se determinó que tanto a la edad de 4 años el efecto del descope y el espaciamiento en combinación aun no reflejan diferencias en la calidad de los árboles. Sin embargo, al analizar por separado el efecto del espaciamiento y de descope, si se determinó un resultado significativo. Entre las tres alturas de descope evaluadas, el tratamiento de descope a 8,5m fue el que presentó mejores resultados en menor número de ramas gruesas a los 5m, porcentaje de bifurcación y calidad de los árboles. Para las variables reiteración, daño por viento y altura de daño por viento, los mejores resultados (menor daño) se obtuvieron con el descope realizado a los 6,5 metros de altura. A nivel de densidad de siembra, los mejores resultados en cuanto a la calidad de los árboles, se registraron en los espaciamientos 2,5x2,5m (número de ramas los 2,5 m, número de ramas gruesas en los primeros 5m de altura, reiteración y altura a la que se presenta en daño por viento) y 4x4 m (altura de la primera rama gruesa, bifurcaciones, y calidad). En relación con el daño por viento, el menor impacto se registró en el espaciamiento 4x2,5 m.

4.2. Abstract

Chapter II. Spacing and pruning effect in tree quality of *Tectona Grandis* (teak).

The density effect of sowing and pruning height in the quality of *Tectona grandis* plantation was studied, in a spacing and pruning height essay in the Salamá property managed by BARCA S.A., located in Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica. The experimental design counts with 12 blocks in which were applied 3 pruning treatments to the trees at 6,5m ; 8,5m and 10,5m with three repetitions in each treatment. Also, each block counts with four sowing densities: 4x4m, 3x3m, 2,5x2,5m and 4x2,5m. The experimental design chosen was divided fields, where the main field is pruning height and spacing is the smaller one.

The essay had 4 years of established when it was measured. In every sampled block were established 4 temporary fields (one for each spacing), for a 48 fields total. In every field an intern useful field was contemplated, surrounded by 1 or 2 rows of trees.

The evaluated variables were: sociological position, height of the first gross branch, branch number at 2,5m height, gross branch number at 5m height, bifurcation and/or reiteration presence, type of wind damage, wind damage height.

It was determined that at age of 4 years, the pruning effect and spacing combined don't reflect yet any differences in the tree quality. Although, when the spacing and pruning were separately analyzed, they showed a significant result.

Between the evaluated pruning heights, the treatment of pruning at 8,5m was the one with better results in a lower number of gross branches at 5m, bifurcation percentage and quality of the trees. For reiteration, wind damage and wind damage height, the best results (less damage) were obtained with pruning at 6,5m height. In sowing density level, the best results in tree quality were registered in spacing of 2,5x2,5m (branch number at 2,5m; gross branch number at firsts 5m height, reiteration and damage wind height) and 4x4m (first gross branch height, bifurcations and quality). In connection with wind damage, le lower impact was in spacing of 4x2,5m.

4.3. Introducción

El concepto de calidad puede resultar ambiguo si no se define con claridad el modelo ideal a seguir, por tanto, se puede definir como plantación forestal de buena calidad a aquella que presenta una alta productividad, se encuentra en excelentes condiciones fitosanitarias y presentan fustes con alto potencial de aprovechamiento industrial (Murillo y Badilla 2010a). Murillo (2000) menciona que una plantación de alta calidad es aquella que reúne al menos 400 individuos/ha de calidad 1 y 2, que son aquellos que constituirán los árboles a cosechar en el último raleo y en la cosecha final.

En otros países se han desarrollado experiencias sobre calidad de plantaciones (Torres y Magaña 2001), sin embargo, su orientación ha sido al nivel de la calidad del árbol completo, en clara discrepancia con el mercado de la madera que se basa en trozas comerciales de largos determinados (Chiari *et al.* 2003).

La calidad de la plantación forestal es el resultado de dos causas: 1) la calidad del manejo y 2) a calidad genética del material original (semilla) (Murillo y Badilla 2010a). En la figura 6 se muestra un esquema de las variables tomadas en cuenta en la calificación de una plantación forestal.

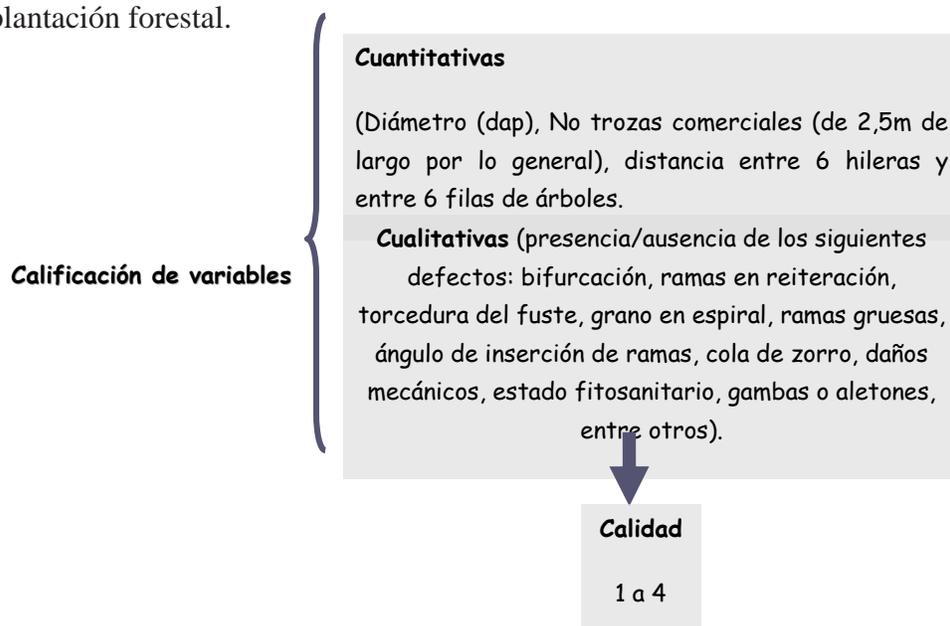


Figura 6. Esquema de las variables tomadas en cuenta en la calificación de la calidad en una plantación forestal de *Tectona grandis* (Fuente: Murillo y Badilla 2010a).

Tomando en cuenta lo anterior, se puede decir que la calidad de plantaciones forestales es un factor general que integra todas las variables específicas mencionadas anteriormente. Su finalidad es simplemente obtener una designación global sobre el estado de la calidad de cada árbol, aunque si se desea obtener información de mayor precisión es preferible valorar la calidad troza por troza, en cada una de las primeras cuatro trozas de cada uno de los árboles incluidos en las parcelas de muestreo. La calidad global del árbol se podrá luego determinar, con base en un promedio ponderado de la calidad individual de sus trozas y el valor económico según su posición dentro del árbol (Murillo y Badilla 2010a).

De esta manera, este estudio pretende determinar el efecto del espaciamiento y el descope en la calidad, parámetros de crecimiento y propiedades de la madera de 4 años de edad.

4.4. Metodología

4.4.1. Obtención de las variables utilizadas.

- Posición sociológica.

Se anotó la posición sociológica de cada árbol en la parcela, utilizando la siguiente simbología: Dominante (D), codominante (CD), intermedio (I) y suprimido (S). Para facilitar su análisis estadístico, se cambiaron las letras por números del cero (0) al cien (100), donde cien representan los dominantes y cero a los suprimidos respectivamente.

- Altura del nivel del suelo a la primer rama gruesa

Una rama se considera gruesa cuando su diámetro supera los 4 cm, o también, cuando su diámetro alcanza aproximadamente 1/3 del diámetro del fuste principal (Murillo y Badilla 2010a). Con ayuda de una cinta métrica se midió la altura desde la base del árbol hasta encontrar la primera rama gruesa.

- **Número de ramas a los 2,5m y ramas gruesas a los 5m sobre el nivel del suelo.**

Para esta variable se contabilizaron la cantidad de ramas presentes en los primeros 2,5m de altura del árbol (primera troza) y las ramas gruesas encontradas en los primeros 5m de altura (dos primeras trozas).

- **Bifurcación y reiteración**

Según Murillo y Badilla (2010a) la bifurcación es una división del fuste del árbol, mientras que la reiteración se refiere a la presencia de ramas gruesas que compiten con el eje dominante y por lo general, emergen en un ángulo muy agudo con respecto al fuste. Para efecto de este estudio, los árboles bifurcados y con reiteraciones fueron identificados con las letras “B” y “R”, dato acompañado del número de troza en donde se encontró la característica descrita. Es decir, si un árbol se encontró bifurcado o con reiteración en la troza número dos, se identificó de la siguiente manera: “B2” o “R2” según sea el caso.

- **Daños por viento**

Para la medición de daños por viento se utilizó la metodología propuesta por Guzmán (2007), la cual se basa en la categorización:

- Categoría 1:** el árbol se observa completamente recto, sin ningún doblamiento visible en todo el largo del fuste.
- Categoría 2:** el árbol presenta daño parcial; el doblamiento alcanza un ángulo estimado igual o menor a 30°.
- Categoría 3:** el árbol presenta un daño severo de doblamiento en el fuste que alcanza un ángulo estimado mayor a 30°.
- Categoría 4:** El árbol se quebró y perdió su copa.

Además de esta medición se tomó la altura a la cual se encontró el daño, de esta manera se pudo evaluar una altura promedio y el tipo de daño que presentaron los árboles y por consiguiente la plantación en general.

- **Calidad de la troza**

La calidad de las trozas se valoró troza por troza para cada una de las primeras cuatro trozas de cada árbol. La calidad global del árbol se pudo luego determinar, con base en un promedio ponderado de la calidad individual de sus trozas. La determinación de la calidad de la troza se llevó a cabo bajo la clasificación propuesta por Murillo y Badilla (2010a), donde cada troza se calificó bajo alguna de las siguientes categorías:

- a. Calidad 1:** Troza completamente recta o muy levemente torcida. Ausencia de plagas y enfermedades, heridas, nudos grandes, grano en espiral, rabo de zorro. La troza de calidad 1 se presenta absolutamente libre de ramas.
- b. Calidad 2:** Troza con el fuste recto o aserrable, con ramas en ángulo de 60°. Presencia o evidencia de la existencia de ramas gruesas, muchas ramas o fuste levemente inclinado.
- c. Calidad 3:** Troza que presenta torceduras severas, grano en espiral, en árboles muy inclinados, con bifurcaciones, ramas muy gruesas, abundantes o insertadas en ángulo menor de 45°, heridas importantes, ramas muertas o daños por plagas y enfermedades, o que no tiene las medidas mínimas de comercialización (2 m).
- d. Calidad 4:** Troza no aserrable, por sus características físicas. Su utilidad es exclusiva para leña, en postes rollizos o biomasa.

4.4.2. Análisis de los datos

Para poder analizar los datos con mayor precisión fue necesario hacer una clasificación de los mismos antes de su análisis. La clasificación se hizo en dos grupos: uno es para el de variables donde la unidad de muestreo era el árbol individual y el otro en donde la unidad de muestreo fue la parcela completa de medición, la cual genera una variable con un único valor a partir del promedio de los árboles presentes en ella. Los datos obtenidos en esta segunda categoría fueron analizados en Excel según la metodología de Murillo y Badilla (2010b). En este grupo de variables se incluyó: área basal por hectárea, número de árboles por hectárea, número de trozas comerciales por ha, volumen en trozas comerciales por hectárea, así como el índice de calidad estimado del 1 a 100 (Obando 2010).

Una vez tabulados los datos se procedió al análisis mediante el diseño estadístico de parcelas divididas. Este relaciona los efectos de la parcela mayor y de la parcela menor. Para este caso específico, se denominó a la parcela mayor como el tratamiento de altura de descope, mientras que la parcela menor fue el tratamiento de espaciamiento de siembra. Finalmente se analizaron los datos obtenidos de las comparaciones con el fin de determinar cuál tratamiento de altura de descope, de densidad de siembra o combinación de ambos produce mejores resultados en la calidad de la plantación.

4.5. Resultados

Para dar una idea generalizada de las mediciones realizadas, en el anexo 1 se muestran las medias generales de las variables analizadas para cada espaciamiento según la altura de descope. En los cuadros 4 y 5 se muestra la comparación estadística entre las medias de las variables estudiadas. Estas se encuentran ordenadas de forma descendente, además están acompañadas del coeficiente de variación (Cv), altura de descope (6,5, 8,5, 10,5 y 0), espaciamiento (1=3x3m, 2=4x4m, 3=2,5x2,5 y 4=4x2,5m) y nivel de significancia (las letras diferentes corresponden con diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$)). La variable “Posición sociológica” fue analizada solo para los bloques que no fueron descopados (bloques cero, tres y siete), debido a que en los demás no tiene objeto este análisis al haber sido alterada por el descope. Además, debido al poco tiempo transcurrido desde la aplicación del descope, aún no se registra claramente el efecto de competencia entre los árboles.

Cuadro 4: Efecto de la altura del descope en parámetros de calidad del árbol de *Tectona grandis* en Osa, Puntarenas.

Posición sociológica		Altura de la 1er rama gruesa		Número de ramas a 2,5m		Número de ramas gruesas a 5m		Bifurcación	
X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv
36,38 Sin Descope.	85,38	8,21 ⁰	74,10 ^A	2,18 ^{6,5}	89,25 ^A	0,679 ^{6,5}	157,33 ^A	0,132 ⁰	257,24 ^A
		7,19 ^{10,5}	37,98 ^B	1,41 ^{8,5}	134,79 ^B	0,579 ⁰	176,78 ^A	0,115 ^{10,5}	278,27 ^A
		6,36 ^{8,5}	33,76 ^C	0,91 ⁰	154,26 ^C	0,353 ^{10,5}	198,73 ^B	0,092 ^{6,5}	316,12 ^{AB}
		5,12 ^{6,5}	34,19 ^D	0,81 ^{10,5}	157,32 ^C	0,331 ^{8,5}	173,41 ^B	0,075 ^{8,5}	352,04 ^B
Reiteración		Daño por viento (1-4)		Altura del daño por viento		% Calidad			
X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv
0,361 ^{8,5}	133,58 ^A	1,99 ⁰	55,94 ^A	12,30 ⁰	61,09 ^A	53,47 ^{8,5}	22,11 ^A		
0,355 ⁰	135,24 ^A	1,93 ^{10,5}	60,42 ^{AB}	8,45 ^{10,5}	32,42 ^B	50,83 ⁰	26,60 ^A		
0,345 ^{10,5}	138,19 ^A	1,72 ^{8,5}	59,96 ^{AB}	7,30 ^{8,5}	27,43 ^B	49,72 ^{10,5}	12,92 ^A		
0,336 ^{6,5}	141,16 ^A	1,65 ^{6,5}	71,33 ^B	5,66 ^{6,5}	30,66 ^C	49,51 ^{6,5}	13,08 ^A		

Donde:

X: media de la variable

CV: coeficiente de variación.

0, 6,5, 8,5 y 10,5: representan las alturas de descope.

Significancia: letras diferentes corresponden con diferencias estadísticamente significativas (P>0,05).

A manera de resumen, del cuadro 4 se puede decir que para el tratamiento de altura de descope los mejores resultados para cada variable son: descope a 8,5m para las variables de número de ramas gruesa a los 5m, porcentaje de bifurcación y calidad de árboles. Para las variables reiteración y daño por viento los mejores resultados se obtuvieron con el descope a los 6,5 metros de altura. Sin embargo, la menor altura de descope (6,5m) provocó la mayor cantidad de ramas a 2,5m de altura, así como la mayor cantidad de ramas gruesas a los 5m.

El daño por viento sigue el gradiente de la altura del descope. Es decir, a mayor altura de descope o la no realización del descope (testigo), mayor daño por viento. Así también, los descopes a 8,5m y 10,5m promueven un número significativamente menor de ramas gruesas en los primeros 5m y de bifurcaciones, con relación al testigo.

Cuadro 5: Efecto del espaciamiento en parámetros de calidad de los árboles de *Tectona grandis* en Osa, Puntarenas.

Posición sociológica		H. 1er rama gruesa		N. Ramas a 2,5m		N. Ramas gruesas a 5m		Bifurcación	
X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv
53,05 ²	59,23 ^A	9,43 ³	69,60 ^A	1,05 ¹	130,29 ^A	1,19 ⁴	134,51 ^A	0,724 ²	447,21 ^A
35,81 ¹	93,85 ^B	8,03 ¹	72,10 ^A	1,05 ²	146,49 ^A	0,46 ¹	182,06 ^B	0,162 ¹	230,44 ^A
33,08 ³	91,62 ^B	7,86 ²	73,33 ^A	1,00 ⁴	154,42 ^A	0,40 ²	149,56 ^B	0,148 ⁴	244,36 ^A
29,33 ⁴	84,50 ^B	7,03 ⁴	86,13 ^A	0,62 ³	201,89 ^A	0,35 ³	180,21 ^B	0,135 ³	256,47 ^A
Reiteración		Daño por viento		H. Daño por viento		Calidad			
X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv
0,48 ⁴	105,75 ^A	2,15 ²	57,01 ^A	13,09 ²	61,20 ^A	55,53 ²	25,03 ^A		
0,45 ²	113,43 ^{AB}	2,11 ³	53,37 ^A	12,66 ⁴	63,76 ^A	52,74 ¹	21,02 ^A		
0,35 ¹	137,75 ^{AB}	1,95 ¹	54,10 ^A	12,66 ¹	59,89 ^A	52,38 ³	21,67 ^A		
0,22 ³	193,02 ^B	1,78 ⁴	63,05 ^A	11,24 ³	61,62 ^A	42,68 ⁴	47,96 ^B		

Donde:

X: media de la variable

CV: coeficiente de variación.

Significancia: letras diferentes corresponden con diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$).

1= espaciamiento 3x3 m 2= espaciamiento 4x4 m 3=espaciamiento 2,5x2,5 m 4= espaciamiento 4x2,5 m.

Puede notarse que a menor densidad de árboles o competencia de plantación (ejemplo, espaciamiento 4 x 4m) se producen algunos efectos negativos en la calidad de los árboles, tales como una diferenciación mayor en la posición sociológica de los árboles (más árboles suprimidos e intermedios), mayor daño por viento, mayor tasa de bifurcación y mayor número de ramas a los 2,5m de altura (Cuadro 5). Por el contrario, el espaciamiento más denso y de mayor competencia (2,5 x 2,5m) produce un número significativamente menor de ramas a los 2,5m de altura, menor número de ramas gruesas en los primeros 5m, menor tasa de bifurcación, menor tasa de ramas en reiteración, mayor altura de la primera rama gruesa. Puede decirse que, en general, este espaciamiento mejora significativamente todos los hábitos de ramificación evaluados (Figura 7A y 7B).

De manera no esperada, se observa que en el espaciamiento 4 x 4m se registró una mayor altura de daño por viento, a pesar de que en este mismo espaciamiento se determinó la tasa mayor de daño general por viento. Sin embargo, las diferencias no fueron estadísticamente significativas en ninguno de los dos parámetros.

Finalmente, no se registraron diferencias importantes en la calidad general de los árboles según el espaciamiento, con excepción del 4 x 2,5m (N = 1000), donde claramente los árboles exhibieron significativamente la menor calidad.

Como se puede notar en el cuadro 4, en la variable posición sociológica solo se muestra una media correspondiente a los árboles sin descope, los cuales se encuentran en una posición de 36,38 %; en donde un 100 % son los árboles dominantes y el 1% son los árboles suprimidos. Esto podría catalogar a los árboles que no se les aplico descope con una posición sociológica de intermedio como un promedio general. Además, a nivel de altura de descope (cuadro 4) se puede notar diferencias significativas para las variables altura de la primera rama gruesa, número de ramas a 2,5m de altura, número de ramas gruesas a 5m, bifurcación, daño por viento, altura del daño por viento y calidad.

Con respecto a los resultados obtenidos según la densidad de siembra (cuadro 5), se determina que existe diferencia significativa entre el valor de las medias de las variables posición sociológica (solo los árboles sin descopar), número de ramas a los 5m, reiteración y calidad. La altura a la que se presenta el daño por viento, a pesar de que es estadísticamente similar, se nota un patrón definido, donde a menor cantidad inicial de árboles plantados resulta superior la altura de daño por viento. Este mismo patrón lo sigue el número de ramas a los 2,5m, donde conforme aumenta la densidad de siembra se disminuye el número de ramas a la altura de 2,5m (figura 7D).

En el cuadro 6 se muestran los resultados del análisis de variables tales como interacción de la altura de descope y la densidad de siembra. Al igual que en los casos anteriores se muestran las medias, el coeficiente de variación, el espaciamiento, la altura de descope y la significancia.

Cuadro 6: Efecto de la interacción entre la altura de descope y la densidad de siembra (espaciamiento) en la calidad de los árboles de *Tectona grandis* en Osa, Puntarenas.

Altura Descopes (m)	Posición sociológica (1-100)		Altura. 1 ^{er} rama gruesa (m)		Número de ramas a 2,5m		Número de Ramas gruesas a 5m		Bifurcación		Reiteración		Daño por Viento (1-4)		Altura del daño por viento (m)		% Calidad	
	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
0	53,1 ²	59,23 ^A	9,4 ³	69,60 ^A	1,05 ¹	130,29 ^A	1,19 ⁴	134,51 ^A	0,16 ¹	230 ^A	0,48 ⁴	105,8 ^A	2,15 ²	57,01 ^A	13,09 ²	61,20 ^A	55,5 ²	25,03 ^A
	35,8 ¹	93,85 ^B	8,0 ¹	72,10 ^A	1,05 ²	146,49 ^A	0,46 ¹	182,06 ^B	0,15 ⁴	244 ^A	0,45 ²	113,4 ^A	2,11 ³	53,37 ^A	12,66 ⁴	63,76 ^A	52,7 ¹	21,02 ^A
	33,1 ³	91,62 ^B	7,9 ²	73,33 ^A	1,00 ⁴	154,42 ^A	0,40 ²	149,56 ^B	0,14 ³	256 ^A	0,35 ¹	137,7 ^A	1,95 ¹	54,10 ^A	12,66 ¹	59,89 ^A	52,4 ³	21,67 ^A
	29,3 ⁴	84,50 ^B	7,0 ⁴	86,13 ^A	0,62 ³	201,89 ^A	0,35 ³	180,21 ^B	0,05 ²	447 ^A	0,22 ³	193 ^A	1,78 ⁴	63,05 ^A	11,24 ³	61,62 ^A	42,7 ⁴	47,96 ^A
6,5			5,3 ¹	33,91 ^A	2,95 ²	72,83 ^A	1,05 ²	102,48 ^A	0,11 ³	287 ^A	0,53 ²	97,47 ^A	1,78 ³	72,55 ^A	6,14 ²	14,10 ^A	54,6 ⁴	13,96 ^A
			5,2 ⁴	30,42 ^A	2,19 ³	82,83 ^A	0,71 ¹	193,33 ^A	0,11 ¹	295 ^A	0,34 ⁴	140,5 ^A	1,66 ¹	70,50 ^A	5,84 ⁴	25,29 ^A	50,1 ²	9,80 ^A
			5,0 ³	40,15 ^A	2,03 ¹	78,23 ^A	0,61 ³	157,82 ^A	0,11 ²	300 ^A	0,31 ³	152,9 ^A	1,63 ²	77,02 ^A	5,49 ¹	35,99 ^A	48,9 ¹	14,64 ^A
			4,8 ²	31,58 ^A	1,95 ⁴	115,72 ^A	0,53 ⁴	144,75 ^A	0,05 ⁴	430 ^A	0,26 ¹	169,6 ^A	1,53 ⁴	69,37 ^A	5,39 ³	37,55 ^A	44,5 ³	9,96 ^A
8,5			6,5 ³	33,97 ^A	1,80 ⁴	137,94 ^A	0,46 ⁴	143,77 ^A	0,11 ⁴	282 ^A	0,43 ¹	117,8 ^A	1,84 ³	59,49 ^A	7,60 ⁴	22,50 ^A	57,3 ¹	12,80 ^A
			6,4 ⁴	34,69 ^A	1,67 ²	89,67 ^A	0,38 ²	175,62 ^A	0,10 ²	316 ^A	0,40 ⁴	124,3 ^A	1,81 ²	59,57 ^A	7,43 ²	23,54 ^A	53,6 ⁴	20,23 ^A
			6,3 ²	32,85 ^A	1,20 ¹	136,34 ^A	0,30 ¹	154,70 ^A	0,05 ³	424 ^A	0,30 ³	155,9 ^A	1,71 ⁴	64,17 ^A	7,29 ¹	28,52 ^A	52,9 ³	40,81 ^A
			6,2 ¹	34,32 ^A	1,11 ³	153,07 ^A	0,22 ³	247,03 ^A	0,05 ¹	441 ^A	0,29 ²	162 ^A	1,58 ¹	57,31 ^A	6,96 ³	33,24 ^A	50,2 ²	19,29 ^A
10,5			7,6 ³	36,46 ^A	1,09 ²	141,21 ^A	0,61 ²	162,33 ^A	0,19 ¹	210 ^A	0,38 ³	129,9 ^A	2,14 ¹	60,63 ^A	8,91 ⁴	24,48 ^A	53,2 ⁴	13,88 ^A
			7,5 ⁴	35,03 ^A	0,97 ¹	144,31 ^A	0,38 ¹	180,02 ^A	0,13 ²	264 ^A	0,38 ¹	129,9 ^A	1,97 ³	61,48 ^A	8,33 ¹	32,73 ^A	50,8 ²	11,25 ^A
			6,8 ²	42,01 ^A	0,81 ³	153,38 ^A	0,32 ³	218,68 ^A	0,10 ⁴	312 ^A	0,33 ⁴	143,1 ^A	1,96 ²	54,44 ^A	8,24 ³	39,43 ^A	48,2 ¹	13,06 ^A
			6,7 ¹	40,84 ^A	0,50 ⁴	188,71 ^A	0,21 ⁴	219,51 ^A	0,05 ³	424 ^A	0,26 ²	172,1 ^A	1,69 ⁴	61,96 ^A	8,17 ²	35,12 ^A	46,7 ³	16,95 ^A

X: media de la variable

CV: coeficiente de variación.

0, 6,5, 8,5 y 10,5: representan las alturas de descope.

Significancia: letras diferentes corresponden con diferencias estadísticamente significativas (P>0,05).

1= espaciamento 3x3 m 2= espaciamento 4x4 m 3= espaciamento 2,5x2,5 m 4= espaciamento 4x2,5 m

Para representar gráficamente algunos de los resultados más importantes se presenta la figura 7, donde se ilustran las tendencias de distintas variables analizadas.

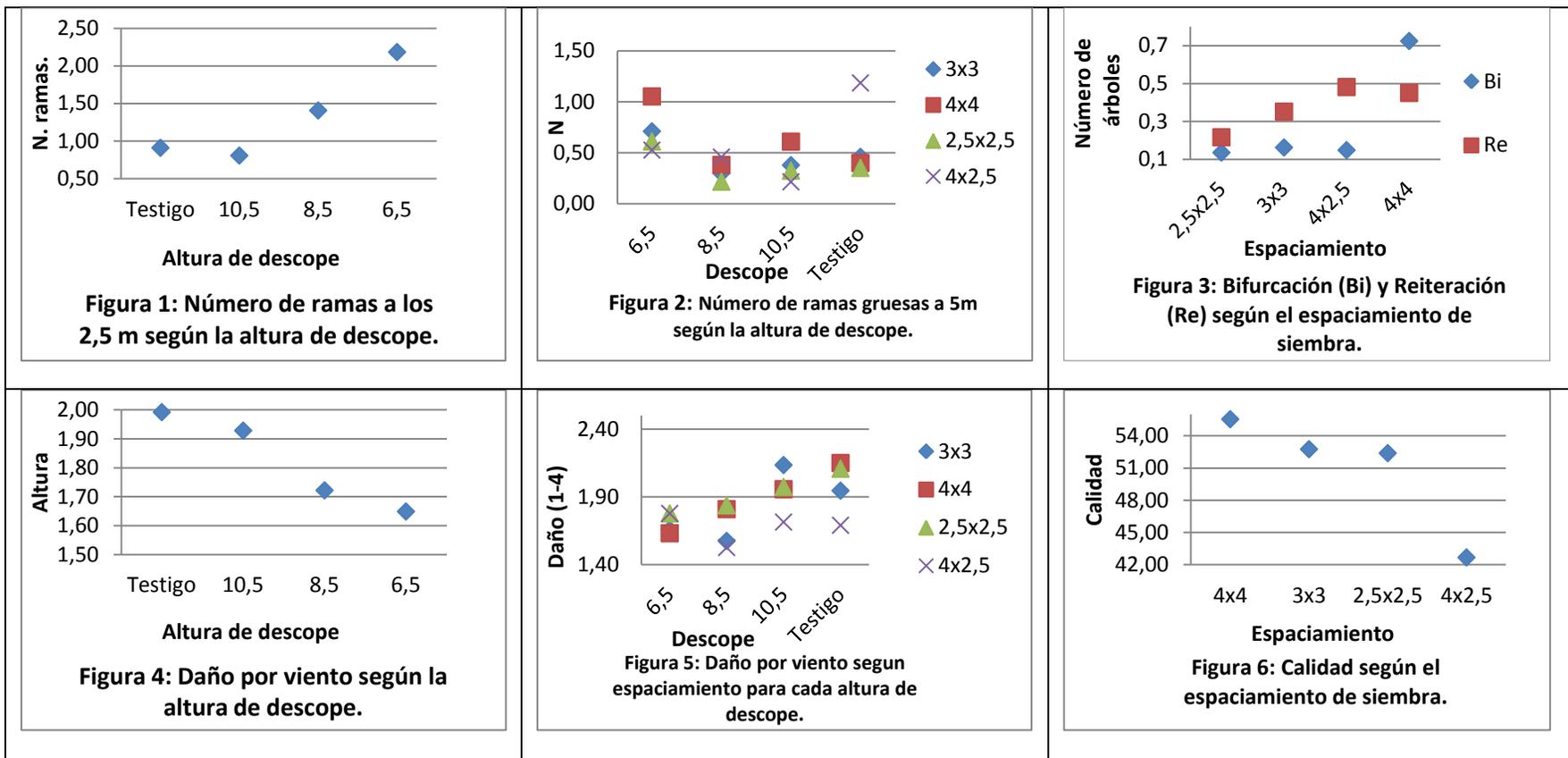


Figura 7: Efecto de la altura de descope y el espaciamiento inicial en la calidad del árbol de *Tectona grandis*.

Es importante reiterar que la posición sociológica se muestra solamente para el testigo donde no se aplicó el descope.

En el análisis de la interacción entre la altura de descope y la densidad de siembra (espaciamiento), solamente las variables posición sociológica y número de ramas gruesas a los 5 m de altura presentaron diferencias significativas exclusivamente en el tratamiento sin descope (testigo de altura de descope). Para el resto de las variables analizadas, no se registran patrones claros en relación con el gradiente de altura de descope y/o la densidad de siembra.

4.6. Discusión

En el cuadro 6 se puede observar los resultados obtenidos del análisis estadístico de la combinación de los tratamientos de altura de descope y densidad de siembra. Para la combinación de los mismos se determinó que no existe diferencia significativa entre los valores medios de las variables a excepción de la posición sociológica. Por tanto, las diferencias significativas solamente se registraron dentro de los lotes sin descope (testigo).

- Posición sociológica

La posición sociológica fue analizada solo para los árboles que no fueron descopados, ya que en los demás tratamientos se la altura total y todos los criterios asociados a este carácter. Debe también considerarse, que los tratamientos de descope se realizaron un año atrás de estas mediciones, por ende, a un año de realizada esta práctica aún no se ha presentado el efecto del tratamiento en la calidad de los árboles. En el cuadro 4 se muestra el promedio de la posición sociológica de los árboles para los bloques testigos (0, 3, 7). El mejor índice de posición sociológica está registrado para el espaciamiento menos denso (N = 625). Lo anterior se podría explicar al tener mayor área disponible de crecimiento para cada árbol. Entre mayor sea el área de crecimiento, mayor es el desarrollo de copa y menor competencia, lo que repercute en una menor diferenciación entre la altura de los árboles y en una menor tasa de autoraleo temprano.

- **Altura de la primera rama gruesa, número de ramas a los 2,5 metros de altura y número de ramas a los 5 metros de altura.**

En relación con la altura de la primera rama gruesa no se registraron diferencias significativas entre espaciamientos. Probablemente se deba a que el efecto de competencia recién se inicia y a temprana edad no se ha manifestado con claridad una diferenciación entre los tratamientos en el número de ramas en la primera o segunda troza. Sin embargo, si es posible observar un patrón que inicia, a mayor espaciamiento (4 x 4m), mayor número de ramas gruesas en los primeros 5m (cuadro 5). Como bien se sabe el mayor valor comercial de un árbol se encuentra en sus primeras trozas comerciales, es por esto que la calidad de estas es de suma importancia. Entre las variables que definen la calidad de un árbol se encuentran las ramas gruesas, en donde una troza con ramas gruesas es de menor calidad. Es interesante observar que a menor altura de descope (6,5m) se registraron mayor cantidad de ramas a los 2,5m de altura, así como la mayor cantidad de ramas gruesas a los 5m (Cuadro 4). Probablemente, el descope a menor altura implica para el árbol un estrés mucho mayor en proporción que si se le aplica el descope a 8,5m ó a 10,5m. Un árbol de *Tectona grandis* de 3 años de edad que sufre la eliminación de su copa a los 6,5m de altura, muy posiblemente habrá perdido una proporción muy grande de su copa efectiva. Este mayor nivel de estrés causado pudo haber estimulado la aparición rápida de ramas en las primeras dos trozas como mecanismo de respuesta y de sobrevivencia. Posiblemente, los descopes a 8,5 y a 10,5 provocaron en proporción, un estrés menor en los árboles, por tanto, no necesitaron responder tan pronto. Esto podría explicar que para los descopes a 8,5 y 10,5m se registrara un número significativamente menor de ramas gruesas en los primeros 5m.

Tal y como se esperaba, a menor altura de descope menor daño por viento y menor tasa de bifurcación en los árboles. El descope implica la eliminación del segmento más vulnerable al doblamiento por la acción del viento y la lluvia. Como resultado, a menor altura de descope, mayor proporción de eliminación de copa viva.

Tal y como es esperado, el espaciamiento de 4x4m (N = 625) puede ocasionar una menor calidad de árboles. Este amplio espaciamiento permite un mayor paso del viento que daña los árboles, como resultado mayor tasa de bifurcación baja. La baja densidad permite también un mayor ingreso de luz y por tanto, una mayor presencia de ramas vivas en la primera troza (cuadro 5). Por el contrario, el espaciamiento más denso o mayor competencia (2,5 x 2,5m), estimula una menor aparición de ramas, menor número de ramas gruesas en los primeros 5m, menor tasa de bifurcación, menor tasa de ramas en reiteración y una mayor altura de aparición de la primera rama gruesa. En síntesis se cree que este espaciamiento mejora significativamente todos los hábitos de ramificación en *Tectona grandis*, y por tanto, tiende a producir árboles de mejor calidad de fuste (figura 7F).

La menor calidad significativa de los árboles (Cuadro 5) se registró en el espaciamiento de 4 x 2,5m (N = 1000). Posiblemente esto se deba a la distribución espacial de este espaciamiento, donde se tiene en uno de sus ejes un callejón de 4m de ancho, que permite el ingreso del viento de manera similar al espaciamiento de 4 x 4m. Se debe considerar que este mismo espaciamiento fue el que registró la mayor tasa de daño por viento (Cuadro 4), lo que refuerza la hipótesis explicativa.

Si se analizan los daños del árbol en relación con la sección del fuste donde aparecen éstos, se puede relacionar su impacto económico al momento de la comercialización de las trozas. En el cuadro 7 puede observarse la proporción del árbol que se encuentra libre de daños, en relación con la altura de mayor valor comercial.

Cuadro 7: Porcentaje medio del fuste del árbol que se encuentra libre del defecto de rama gruesa, para el ensayo de espaciamiento y altura de descope. BARCA.S.A. Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

Tratamiento de descope	Altura de la primera rama gruesa	Altura total del árbol	Porcentaje de la troza libre del defecto
Sin descope	8,21	15,3	53,6
10,5	7,19	10,5	68,5
8,5	6,36	8,5	74,8
6,5	5,12	6,5	78,8

A pesar que la altura de la rama gruesa es menor en los árboles descopados a 6,5m (cuadro 4), se determinó que estos son los que presentan mayores porcentajes de fuste libre del defecto, ya que la primera rama gruesa se sitúa muy cerca de la altura a la que se aplicó el descope. El número de ramas gruesas a 5 metros de altura se presenta en mayor cantidad para los espaciamientos de 4x2,5 y 4x4m (figura 7B), lo que se podría explicar por la distancia entre árboles, ya que al ser esta mayor, los árboles generan más área de copa y por ende una mayor cantidad de ramas. Estos datos coinciden con los determinados por Moya y Arce (2003), donde se observó que en los mayores espaciamientos analizados en su estudio (6 m x 2 m) los árboles tendían a producir más ramas y de mayor grosor.

- **Bifurcación y reiteración**

En el cuadro 1 se muestran diferencias significativas entre la tasa de bifurcación en función de la altura comercial o descope. Sin embargo, cabe señalar que las bifurcaciones existentes en el estudio ya estaban presentes cuando se realizó el descope al año 3, donde ya el viento y lluvia habían causado daños. Por tal razón se podría determinar que el descope no es un factor que disminuya la aparición de bifurcaciones, como si lo hace el tratamiento de espaciamiento de siembra. A pesar que no se presentan diferencias significativas entre densidades (cuadro 5), si presenta una tendencia a aumentar la bifurcación conforme disminuye la densidad de siembra a 4x4m de espaciamiento (figura 7C). Esta tendencia podría ser explicada por el daño ocasionado por el viento, el cual también es mayor en densidades menores (cuadro 5). Los árboles plantados a menores densidades pueden estar más bifurcados por que el viento ha causado mayores daños o inclusive quebrándolos, de tal manera que estos generen rebrotes para continuar con su crecimiento.

En el caso de la reiteración se registra similitud según la altura de descope (cuadro 4). Por tanto, las diferencias encontradas dependen solo del espaciamiento (cuadro 5). Esta variable al igual que la bifurcación, también tiende a aumentar con la disminución en la densidad de siembra, de tal manera que los árboles con más reiteraciones se encuentran en el espaciamiento 4x4m.

- **Daño por viento y altura del daño por viento.**

El daño por viento es una variable que afecta directamente la calidad del árbol individual y al conjunto de árboles como un bloque. En esta investigación se determinó que el daño por viento disminuye conforme disminuye la densidad de siembra (a excepción del tratamiento de 4x4m de siembra que se sale del comportamiento, cuadro 5), aunque la diferencia entre sus medias no es significativa. Esta disminución se podría explicar porque en densidades menores de siembra se puede dar mayor fluidez del viento entre la plantación. Aunado a esto, la dirección de siembra de las hileras de los árboles es un factor de importancia, ya que según la posición de este se puede aumentar o disminuir el contacto del viento con los árboles. La altura del daño por viento tampoco presentó diferencia significativa cuando se evalúa el espaciamiento, ya que la diferencia entre el valor de sus medias no supera la diferencia mínima significativa determinada en el análisis estadístico ($DMS = 5,23$).

Caso contrario se determinó en el daño por viento y la altura a la que ocurre cuando se analiza la altura de descope, ya que ambos valores presentan diferencias estadísticas significativas. Según el análisis realizado, el daño por viento es mayor en tanto su promedio se acerque a un valor de cuatro. Para el tratamiento testigo de altura de descope la media alcanzada fue de 1,99. Mientras que en el descope a 6,5 metros de altura, el daño por viento disminuye significativamente a un valor de 1,63. Dado que estos valores registraron diferencias significativas, la altura de descope que presenta mayor resistencia al daño por viento fue la de 6,5 metros de altura. En el cuadro 4, se puede notar un gradiente en los valores de daño por viento, en donde se determina que a mayor altura comercial, mayor es el daño por viento (figura 7D). Este resultado podría explicarse por el efecto de vela que presentan las copas de *Tectona grandis*. Tal y como se discutió anteriormente, mientras se aumenta la altura de descope se deja un porcentaje mayor de copa viva en el árbol, de tal manera que provoca un mayor efecto de vela en el mismo. Esto ocasiona un mayor movimiento de la copa y por ende, un posible mayor daño por el viento. Al momento de aplicar el descope a los 6,5m de altura, estos árboles perdieron casi toda su copa viva. Esto implica la aparición de menos ramas en comparación con los otros tratamientos de descope, y el desarrollo de poca copa en proporción, haciéndolos menos vulnerables a daños por el viento.

En la figura 7E se presentan el patrón del daño por viento para cada espaciamiento y altura de descope. Si se analiza los descopes por separado, se puede observar una tendencia significativa de incremento del daño a mayor altura del descope.

- **Calidad del árbol**

Se determinó que no existe diferencia significativa según las alturas de descope en la calidad de los árboles y la plantación (cuadro 4). Defectos en el árbol como gambas, torceduras de fuste, grano en espiral, quebraduras entre otros, no se mejoran con la aplicación de un descope. Estos daños severos en la mayoría de los casos no son corregibles. Por tanto la calidad de plantación para este estudio está relacionada directa y únicamente a la densidad de siembra en que se estableció el ensayo. En el cuadro 5 se puede observar que existe diferencia significativa según los espaciamientos, donde los mejores valores los presenta la densidad de plantación de 625 árboles (4x4m) por hectárea. En este estudio se determinó que la calidad disminuye conforme aumenta la densidad de plantación, con excepción del espaciamiento 4x2,5m el cual se sale de la tendencia. Esto puede obedecer a distintas variables, que van desde el la fuente de material genético empleada para establecer la plantación, hasta variables como la reiteración, dado que fue este en espaciamiento en el que se presentó este defecto con mayor frecuencia.

4.7. Conclusiones

- Los árboles tienden a generar más ramas conforme se disminuya la densidad de siembra, sin embargo este estudio no se presenta una diferencia significativa entre los distintos espaciamiento.
- A menor altura de descope, mayor cantidad de ramas gruesas en las primeras dos trozas. Se presenta mayor número de ramas gruesas en los árboles descopados a menores alturas.
- A pesar de que los árboles descopados a menor altura son los que presentan mayor número de ramas gruesas, estos son los que poseen mayor porcentaje del fuste libre del defecto.
- Las reiteraciones y las bifurcaciones tienden a aumentar conforme se disminuye la densidad de siembra.
- El daño por viento y la altura a la que este ocurre es estadísticamente igual para los espaciamientos.
- Los árboles que presentaron menor daño por viento fueron los descopados a 6,5m de altura, por tanto, a mayor altura de descope se presenta un mayor daño por viento.
- La calidad de plantación está definida únicamente por la densidad o espaciamiento de siembra, ya que previo a realizar el descope ya se reflejaba una calidad de árbol definida y la cual no se ve influenciada por el descope.
- La mejor calidad de plantación se presentó en la densidad de siembra de 625 árboles por hectárea (4x4 m).
- El espaciamiento 2,5 x 2,5m mejora significativamente todos los hábitos de ramificación de *Tectona grandis* evaluados en este estudio.

4.8. Recomendaciones

- Modificar algunos largos comerciales en las trozas, ya que con medidas de 2,5m se deja de aprovechar secciones de los fustes descopados.
- Implementar el espaciamiento 4x4 m y 4x2,5 m como unos de los estándares en las plantaciones de la empresa, debido a que en este estudio estos presentaron muy buenos resultados en las variables analizadas.

4.9. Bibliografías

- Arguedas, M y Mata, R; Herrera, W; Arias, D; Calvo, J; Salas, B. 2006. Síndrome de decaimiento lento de la *Tectona grandis* en Costa Rica, Segunda etapa, Informe Final. Escuela de Ingeniería Forestal, Centro de Investigación e Integración Bosque Industria. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago Costa Rica. 186 p.
- Blanco, M. 1996. Determinación de la productividad en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. Tesis B.Sc. Cartago. CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 71 p.
- Chiari, R.; Monge, A.; Murillo, O. y Quirós, S. 2003. Variación del rendimiento en aserrío según la posición de la troza en el árbol, en plantaciones de ciprés (*Cupressus lusitanica* Mill.). Boletín Kurú 33. 2-6 p.
- Guzmán, N. 2007. Evaluación del doblamiento de *Tectona grandis* (*Tectona grandis* L.f.) en plantaciones jóvenes de la empresa BARCA S. A. Tesis B.Sc. Cartago. CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 103 p.
- Holdridge, L. R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Trad. Humberto Jiménez Saa. San José, C.R. IICA. 216 p.
- ITCR. 2004. Atlas de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. (CD-ROOM). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 1 CD-ROOM.
- Mata, R. 2006. Informe del estudio de suelos de dos perfiles en la Finca Salamá ubicada en Salamá, Osa, Puntarenas. En digital. 7 pag.
- Murillo, O y Badilla, Y. 2010a. Calidad de plantaciones forestales (en prensa). Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. p 66.
- Murillo, O y Badilla, Y. 2010b. Avalúos forestales (en prensa). Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR.
- Murillo, O. 2000. Índices de calidad para la reforestación en Costa Rica. Agronomía Costarricense 24 (2): 41-48.
- Moya R, Arce V. 2003. Estudio experimental del efecto del espaciamiento sobre las propiedades físicas de peso específico básico y contracciones en plantaciones de teca (*Tectona grandis*) de 10 años. Madera y Bosques. Otoño. 9 (02). 15-27.

- Obando, M. 2010. “Condición silvicultural y propiedades físicas y generales de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas, en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste”. Tesis Lic. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 60 p.
- Torres, J.M. y Magaña, O. 2001. Evaluación de Plantaciones Forestales. Editorial Limusa, Noriega Editores. México, D.F., México. 472 p.
- Sánchez, V. 1985. Informe de práctica de especialidad. Raleos iniciales en una plantación de *Alnus acuminata* (H.B.K) o KTZE, en Cascajal de Coronado, San José Costa Rica. Tesis B.Sc. Cartago, CR. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 112p.

5. Capítulo III. Efecto del espaciamiento y el descope en parámetros de crecimiento de la plantación de *Tectona grandis*.

5.1. Resumen

Se estudio el efecto de la densidad de siembra y altura del descope en parámetros de crecimiento de la plantación de *Tectona grandis* en un ensayo establecido en Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica. Se utilizó un diseño experimental de parcelas divididas donde la altura de descope fue la parcela mayor y los espaciamientos la parcela menor. El experimento tuvo tres repeticiones y se evaluaron tres alturas de descope, a los 6,5m, 8,5m y 10,5, junto con un lote control. Dentro de cada altura de descope se evaluó cuatro densidades de siembra, 4x4m, 3x3m, 4x2,5m y 2,5x2,5m. El descope se aplicó a los 36 meses de edad y la evaluación se realizó a los 48 meses al momento del estudio. En cada uno de los espaciamientos se establecieron 4 parcelas permanentes de medición para un total de 48 parcelas, en la cuales se estableció una zona central de 25 ó 9 árboles como parcela útil. Las variables evaluadas en cada árbol fueron: diámetro a 1,3m, diámetro a 5m, número de trozas comerciales, y diámetro de copa. En oficina se determinó, conicidad a los 5m, área de copa, área basal, volumen comercial, número de árboles por hectárea, volumen comercial por troza y volumen a 5m. Se obtuvieron diferencias significativas tanto en los tratamientos de espaciamiento, como en los de altura de descope y en sus interacciones. El mejor espaciamiento en crecimiento del rodal fue el de 2,5x2,5m, mientras que en crecimiento individual fue el de 4x4m. Las mejores combinaciones de ambos tipos de tratamiento fueron el espaciamiento 4x4m con árboles sin descope para provocar el mayor volumen por árbol; mientras que el espaciamientos de 2,5x2,5 con árboles sin descopar fue el mejor para el volumen/ha.

Palabras claves: *Densidad de siembra, descope, parámetros de crecimiento, Tectona grandis.*

5.2. Abstract

Chapter III. Spacing and pruning effect in growth parameters of *Tectona grandis* (teak) plantation.

The effect of sowing density and pruning height were studied in growth parameters in the teak (*Tectona grandis*) plantation in an essay established in Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica. An experimental design of divided fields was used, where pruning height was the main field and spacing the minor field. The experiment had 3 repetitions and 3 pruning heights were evaluated: at 6,5m; 8,5m and 10,5m, with a control lot. In every pruning height, four sowing densities were evaluated: 4x4m, 3x3m, 4x2,5 and 2,5x2,5m. The pruning was applied at 36 months old, and the evaluation was performed at 48 months at the time of the study. In each spacing were established 4 permanent measurement fields, for a total of 48 fields, in which a central zone of 25 or 9 trees was established as a useful field. The evaluated variables on each tree were: diameter at 1,3m; diameter at 5m, number of commercial logs and crown diameter.

At desk work were determined: the conicity at 5m, crown area, basal area, commercial volume, log volume, number of trees per hectare and volume at 5m. There were significant differences in both treatment spacing and pruning height and their interactions. The best spacing at stand growth was 2,5x2,5m, while in individual growth was the 4x4m one. The combinations for both treatment types that worked better, were the 4x4 spacing in trees without pruning to cause the highest volume per tree; while 2,5x2,5 spacing with trees without pruning was the better one for volume per hectare.

Key words: sowing density, pruning, growth parameters, Tectona grandis.

5.3. Introducción

La silvicultura de plantaciones ha logrado grandes avances en los últimos años y cada vez más se cuenta con mayores conocimientos para la siembra y manejo de especies maderables nativas e introducidas que ya han sido evaluadas (Arias, 2005).

La *Tectona grandis* es una especie heliófita, con alta demanda de luz vertical y requiere de un espacio amplio alrededor para el desarrollo apropiado. (Fonseca 2004). El buen precio de la madera de *Tectona grandis* en el mercado internacional ha promovido el establecimiento y manejo de plantaciones para producir madera para aserrío, utilizándose principalmente espaciamientos de 3,0 x 3,0 m. Esto favorece el establecimiento de un sotobosque que protege el suelo, evitando la realización de raleos muy tempranos, baja los costos de establecimiento y, además, mejora el crecimiento (Moya y Arce. 2003). Sin embargo, la manipulación de la espesura es el medio más eficiente de que dispone el silvicultor para lograr los objetivos del manejo de plantaciones forestales. El nivel de espesura (ocupación) del rodal afecta una serie de atributos del mismo, tales como su diámetro medio, volumen, conicidad media, longitud media de copa, tamaño de ramas, vigor de los árboles y longitud de la rotación. A la vez, estos atributos afectan la cantidad y calidad de la madera producida y por ende su valor comercial (Moya y Hernández, 2007).

La densidad del rodal afecta una serie de atributos del árbol, tales como su diámetro medio, volumen, conicidad media, longitud media de copa, tamaño de ramas, vigor de los árboles y longitud de la rotación (Fonseca, 2004). Es por este motivo que se llevan a cabo prácticas de raleo en las plantaciones forestales. La estructura vertical de una plantación es elemento importante en la evaluación de plantaciones, siempre y cuando se pueda demostrar que las variaciones en la arquitectura de los árboles aparte de la constitución genética, obedecen a condiciones de sitio y/o manejo. (Arias, 2005). Variables tales como el diámetro del árbol, el área basimétrica, la altura (total, comercial, dominante), el volumen del fuste y área de proyección de la copa, son mediciones comunes en la práctica forestal, sin embargo otras como altura de descope o características de la copa han sido poco estudiadas a través del tiempo (Arias, 2005). Sin embargo, en la literatura se encuentran buenos intentos de caracterizar plantaciones según su vitalidad, criterio evaluado cuantitativamente utilizando variables que incluyen la morfometría de la copa (Rodríguez *et al*, 1999).

Este estudio tiene como objetivo determinar el efecto de varios espaciamientos y del descope en la calidad y crecimiento de plantaciones de *Tectona grandis*.

5.4. Metodología

5.4.1. Mediciones de campo.

El diámetro se midió con cinta diamétrica a 1,3m de altura del árbol. A los 5m de altura de fuste se midió el diámetro de cada árbol, utilizando una escalera de apoyo. Se midió el diámetro de copa del árbol a través de su proyección en el suelo en dos direcciones (hileras y fila),

- a. Hileras: se define como la línea de árboles sembrados en la misma dirección desde el límite sur-oeste del ensayo y hasta el límite noreste del mismo.
- b. Fila: la línea de árboles que se encuentra en sentido perpendicular a las hileras, de tal manera que se encuentran ubicados en sentido noroeste-sureste.

En el campo las hileras y filas se encuentran distribuidas como se muestra en la figura 5.

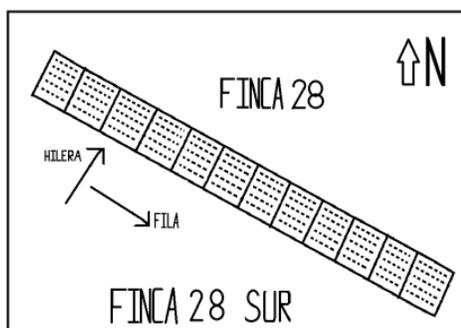


Figura 8. Croquis del ensayo de altura de descope y espaciamientos en *Tectona grandis*, donde se muestra el sentido de las hileras y las filas. Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica. 2007.

En cada uno de los espaciamientos se aplicó un raleo, donde se aprovechó para efectuar la medición en suelo de la altura total de varios árboles para cada uno de los tratamientos evaluados.

5.4.2. Variables generadas en oficina:

Con los datos de las mediciones de campo se obtuvo las siguientes variables, conicidad individual a los 5m de altura (cociente entre el diámetro a 5m y el dap); simetría de copa para cada árbol, a partir del valor absoluto del cociente de sus dos diámetros de copa (de hilera entre el diámetro de fila); área de copa a partir del diámetro promedio de copa y la función $A = \pi r^2$; volumen individual comercial; volumen individual hasta los 5m de altura; área basal y volumen comercial/ha.

5.4.3. Análisis de los datos

Los datos fueron clasificados en dos grupos: uno que fue el de variables en las que la unidad de muestreo fue el árbol individual; y el segundo grupo para las variables en donde la unidad de muestreo fue la parcela de medición con el conjunto de los árboles presentes en ella. Estas variables fueron estimadas con el programa de calidad y evaluación de plantaciones versión 2011, que utiliza un modelo de volumen y conicidad para *Tectona grandis* (Murillo y Badilla, 2010b). Dicha metodología brinda parámetros comparables a nivel de plantaciones, área basal por hectárea, número de árboles por hectárea, número de trozas comerciales por árbol y volumen en trozas comerciales por hectárea, así como el índice de calidad por árbol estimado del 1 a 100 (Obando 2010).

Con las variables de crecimiento por árbol y por ha se procedió a realizar el análisis de varianza, con base en el diseño de parcelas divididas. La altura de descope se analizó como la parcela mayor y el espaciamiento como la parcela menor. Los datos fueron analizados con el programa estadístico SAS, utilizando el procedimiento GLM (General Linear Model) que permite corregir para datos faltantes.

5.5. Resultados

Las variables simetría de copa, diámetro de copa y área de copa, fueron investigadas solamente con los árboles que no se descoparon (bloques 0, 3 y 7), ya que a que un año después de esta práctica su copa aún continúa reducida y podría confundir el análisis del efecto del espaciamiento en estas variables de crecimiento. En las medias que se presentan en los resultados de simetría de copa, en valores más cercanos a 1 la simetría es mayor, por tanto cuando más se alejen los valores de uno (1) se tendrán árboles con copas más asimétricas.

Para dar una perspectiva general de las medias de cada variable según la altura de descope y el espaciamiento, en el anexo 2 se resumen los resultados con las medias de cada variable analizada en los paramentarios de crecimiento en *Tectona grandis*.

En los cuadros 8, 9 y 10 se presentan los resultados de las comparaciones estadísticas entre los valores promedio de cada parámetro de crecimiento bajo cada altura de descope, densidad de siembra y combinación de las mismas.

Cuadro 8: Análisis del efecto de la altura de descope en *Tectona grandis* en variables de crecimiento en Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica.

Diámetro a 1,3m			Diámetro a 5 m			Conicidad			Número de Trozas			Simetría de copa		Diámetro de copa		Área de copa											
X	Cv	A	X	Cv	A	X	Cv	A	X	Cv	A	X	Cv	X	Cv	X	Cv										
16,29	⁰	26,47	A	12,28	^{6,5}	24,66	A	0,763	^{6,5}	13,20	A	3,82	^{8,5}	10,11	A	Sin descope											
16,05	^{6,5}	22,15	A	12,12	⁰	35,39	A	0,759	^{10,5}	16,55	AB	3,82	⁰	11,21	A	Sin descope											
15,87	^{8,5}	24,01	A	12,00	^{8,5}	29,54	A	0,745	^{8,5}	15,24	AB	3,73	^{10,5}	15,32	B	0,158	113,17										
15,45	^{10,5}	26,65	A	11,83	^{10,5}	32,79	A	0,724	⁰	20,51	B	2,98	^{6,5}	5,04	C	5,67	22,60										
Área basal/árbol		Volumen comercial/árbol		Número de trozas comerciales/árbol		Volumen de las trozas comerciales/árbol		Área basal		Número de árboles/ha		Volumen a 5m															
X	Cv	A	X	Cv	A	X	Cv	A	X	Cv	A	X	Cv														
0,022	⁰	47,69	A	0,142	⁰	50,40	A	2,70	⁰	26,55	A	42,25	⁰	40,44	A	17,27	^{6,5}	26,47	A	874,31	^{10,5}	31,54	A	69,25	^{10,5}	18,28	A
0,021	^{6,5}	41,47	A	0,137	^{10,5}	48,41	A	2,60	^{8,5}	22,45	AB	41,25	^{8,5}	14,56	A	17,22	^{10,5}	17,05	A	843,63	^{8,5}	38,27	A	68,71	^{6,5}	28,16	A
0,021	^{8,5}	45,12	A	0,116	^{8,5}	45,12	B	2,52	^{10,5}	27,89	AB	40,34	^{10,5}	16,90	A	17,20	^{8,5}	19,26	A	827,78	^{6,5}	42,79	A	68,32	^{8,5}	19,50	A
0,020	^{10,5}	48,41	A	0,090	^{6,5}	41,47	C	2,36	^{6,5}	17,87	B	38,81	^{6,5}	23,48	A	17,01	⁰	38,90	A	778,82	⁰	46,49	A	67,36	⁰	39,79	A

En el cuadro 8 se muestra que a menor altura de descope se provocó un año después una conicidad significativamente menor; pero un menor volumen comercial /árbol y un menor número de trozas comerciales/árbol. No se registraron diferencias significativas en el diámetro a 1,3m, diámetro a los 5m, área basal, volumen comercial/ha, volumen comercial/ha a los 5m, ni en el número de árboles/ha.

En el diámetro a 1,3m se registra el mayor valor en el tratamiento testigo, pero también un gradiente inversamente proporcional entre el diámetro a 1,3m y la altura de descope. De manera similar, el diámetro a los 5m registra un gradiente de mayor valor con la menor altura de descope. El número de árboles/ha sigue el gradiente de aumento con la altura de descope, excepto con el testigo que registra el valor más bajo de todos. El volumen comercial/árbol y por ha, así como el número de trozas comerciales/árbol aumentan claramente con una mayor altura de descope.

Cuadro 9: Análisis del efecto del espaciamiento inicial en el crecimiento en *Tectona grandis* BARCA.SA Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

Diámetro a 1,3m		Diámetro a 5 m		Conicidad a los 5m		N. de Trozas		Simetría de copa		Diámetro de copa		Área de copa															
X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv														
19,80	²	13,97	^A	15,15	²	17,72	^A	0,76	²	8,85	^A	4,00	²	0,00	^A	0,21	⁴	140,90	^A	6,58	²	12,65	^A	34,47	²	25,12	^A
16,19	¹	24,56	^B	12,21	¹	33,63	^B	0,74	¹	17,92	^{AB}	3,86	¹	8,97	^{AB}	0,19	³	84,62	^A	6,40	⁴	20,00	^A	33,37	⁴	38,25	^A
15,96	⁴	28,20	^B	11,23	⁴	42,67	^B	0,73	³	19,51	^{AB}	3,78	⁴	11,21	^{AB}	0,12	²	69,96	^A	5,44	¹	19,00	^B	24,05	¹	36,55	^B
14,73	³	28,87	^B	11,05	³	37,59	^B	0,67	⁴	30,45	^B	3,70	³	15,42	^B	0,12	¹	93,12	^A	4,89	³	23,62	^C	19,82	³	44,38	^B

Área basal/árbol		Volumen comercial/árbol		N. trozas comerciales		Volumen comercial/ha		Área basal/ha		Número de árboles/ha		Volumen/ha a 5m															
X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv	X	Cv														
0,031	²	27,35	^A	0,204	²	27,35	^A	3,70	²	9,17	^A	53,61	³	52,35	^A	22,73	³	42,64	^A	1233,33	³	26,06	^A	90,48	³	43,61	^A
0,022	¹	48,44	^B	0,138	¹	50,38	^B	2,49	⁴	7,19	^B	46,07	¹	20,43	^B	18,68	¹	14,33	^B	856,48	¹	12,39	^B	74,50	¹	12,07	^B
0,022	⁴	48,71	^B	0,134	⁴	52,85	^B	2,43	¹	14,30	^B	38,87	²	32,75	^C	14,52	²	31,01	^C	562,50	⁴	38,49	^C	57,77	²	28,25	^C
0,018	³	50,06	^B	0,116	³	54,17	^B	2,19	³	31,89	^B	30,43	⁴	36,72	^D	12,12	⁴	37,82	^D	462,96	²	31,22	^D	46,68	⁴	42,19	^D

1= espaciamiento 3x3 m; 2= espaciamiento 4x4 m; 3=espaciamiento 2.5x2.5 m; 4= espaciamiento 4x2.5 m

En relación con el efecto del espaciamiento, se registraron diferencias significativas en casi todas las variables de crecimiento, excepto en la simetría de copas. En las variables de crecimiento del árbol individual, se registra un patrón claro de valores significativamente más bajos con la mayor densidad de siembra (2,5 x 2,5 o tratamiento 3) y viceversa, mayores valores con la menor densidad de siembra (4x4m o tratamiento 2). La conicidad a los 5m, sin embargo, disminuye en forma proporcional a la densidad de siembra.

Al nivel de crecimiento/ha, se registra un patrón inverso al observado al nivel de árbol individual. A menor densidad (4x4m), todas las variables de crecimiento/ha registraron valores significativamente menores.

Cuadro 10: Análisis de la interacción entre la altura de descope y la densidad de siembra (espaciamiento) en parámetros de crecimiento en *Tectona grandis* en Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica.

H. descope	Diámetro a 1,3m (cm)		Diámetro a 5m (cm)		Conicidad a 5 m		Número de Trozas		% Simetría de copa		Diámetro de copa (m)		Área de copa (m ²)	
	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
0	19,80 ²	13,97 ^A	15,15 ²	17,72 ^A	0,76 ²	8,85 ^A	4,00 ²	0,00 ^A	0,21 ⁴	140,90 ^A	6,58 ²	12,65 ^A	34,47 ²	25,12 ^A
	16,19 ¹	24,56 ^B	12,21 ¹	33,63 ^B	0,74 ¹	17,92 ^{AB}	3,86 ¹	8,97 ^{AB}	0,19 ³	84,62 ^A	6,40 ⁴	20,00 ^A	33,37 ⁴	38,25 ^A
	15,96 ⁴	28,20 ^B	11,23 ⁴	42,67 ^B	0,73 ³	19,51 ^{AB}	3,78 ⁴	11,21 ^{AB}	0,12 ²	69,96 ^A	5,44 ¹	19,00 ^B	24,05 ¹	36,55 ^B
	14,73 ³	28,87 ^B	11,05 ³	37,59 ^B	0,67 ⁴	30,45 ^B	3,70 ³	15,42 ^B	0,12 ¹	93,12 ^A	4,89 ³	23,62 ^C	19,82 ³	44,38 ^B
6,5	19,46 ²	15,63 ^A	14,38 ²	20,00 ^A	0,79 ⁴	8,11 ^A	3,00 ¹	0,00 ^A						
	15,93 ⁴	19,01 ^B	12,61 ⁴	18,52 ^B	0,75 ¹	14,50 ^A	3,00 ²	0,00 ^A						
	15,81 ¹	19,70 ^B	11,94 ¹	23,62 ^B	0,75 ³	15,48 ^A	3,00 ⁴	0,00 ^A						
	14,63 ³	25,36 ^B	11,17 ³	30,64 ^B	0,74 ²	14,03 ^A	2,92 ³	9,61 ^A						
8,5	19,24 ²	16,09 ^A	14,58 ²	21,11 ^A	0,76 ⁴	12,42 ^A	4,00 ²	0,00 ^A						
	16,32 ⁴	23,56 ^B	12,51 ⁴	25,12 ^B	0,75 ²	12,12 ^A	3,91 ⁴	7,26 ^{BA}						
	15,43 ¹	18,94 ^{BC}	11,63 ¹	25,04 ^{BC}	0,75 ¹	15,30 ^A	3,84 ³	9,74 ^B						
	14,01 ³	26,82 ^C	10,47 ³	37,74 ^C	0,72 ³	19,21 ^A	3,63 ¹	13,53 ^C						
10,5	18,98 ²	17,29 ^A	14,14 ²	30,79 ^A	0,77 ³	16,66 ^A	3,84 ¹	11,51 ^A						
	16,16 ¹	20,76 ^B	12,37 ¹	27,82 ^{AB}	0,76 ⁴	13,80 ^A	3,74 ²	18,42 ^A						
	14,48 ⁴	26,82 ^C	11,16 ⁴	30,92 ^B	0,76 ¹	11,95 ^A	3,74 ⁴	14,54 ^A						
	13,66 ³	30,30 ^C	10,63 ³	36,46 ^B	0,74 ²	26,23 ^A	3,62 ³	17,65 ^A						

H. descope	Área basal (m ² /ha)		Volumen comercial (m ³)		N. trozas comerciales		Vol.troz		Área basal (m ² /ha)		N. de árboles por Ha		Volumen a 5m (m ³ /ha)	
	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
0	0,03 ²	27,35 ^A	0,20 ²	27,35 ^A	3,70 ²	9,17 ^A	53,61 ³	52,35 ^A	22,73 ³	42,64 ^A	1233 ³	26,06 ^A	90,48 ³	43,6 ^A
	0,02 ¹	48,44 ^B	0,14 ¹	50,38 ^B	2,49 ⁴	7,19 ^B	46,07 ¹	20,43 ^{AB}	18,68 ¹	14,33 ^{AB}	856 ¹	12,39 ^B	74,50 ¹	12,1 ^{AB}
	0,02 ⁴	48,71 ^B	0,13 ⁴	52,85 ^B	2,43 ¹	14,30 ^B	38,87 ²	32,75 ^{AB}	14,52 ²	31,01 ^B	563 ⁴	38,49 ^C	57,77 ²	28,2 ^{AB}
	0,02 ³	50,06 ^B	0,12 ³	54,17 ^B	2,19 ³	31,89 ^B	30,43 ⁴	36,72 ^B	12,12 ⁴	37,82 ^B	463 ²	31,22 ^C	46,68 ⁴	42,2 ^B
6,5	0,03 ²	28,57 ^A	0,13 ²	28,57 ^A	2,88 ²	7,53 ^A	45,75 ³	24,54 ^A	21,44 ³	25,98 ^A	1200 ³	36,32 ^A	85,67 ³	26,7 ^A
	0,02 ⁴	37,60 ^B	0,09 ⁴	37,60 ^B	2,33 ⁴	8,68 ^{AB}	39,38 ¹	27,10 ^A	17,91 ¹	24,34 ^{AB}	880 ¹	19,87 ^{AB}	70,76 ¹	27,8 ^A
	0,02 ¹	37,61 ^B	0,09 ¹	37,61 ^B	2,19 ¹	15,89 ^B	37,46 ⁴	4,11 ^A	16,34 ⁴	6,67 ^{AB}	792 ⁴	12,06 ^{AB}	66,39 ⁴	5,92 ^{AB}
	0,02 ³	44,81 ^B	0,08 ³	44,81 ^B	2,02 ³	19,44 ^B	32,67 ²	27,81 ^A	13,39 ²	26,99 ^B	440 ²	32,87 ^B	52,02 ²	31,5 ^{AB}
8,5	0,03 ²	32,19 ^A	0,16 ²	32,19 ^A	3,45 ²	5,23 ^A	44,22 ³	17,73 ^A	20,35 ³	20,09 ^A	1233 ³	23,41 ^A	81,08 ³	20 ^A
	0,02 ⁴	43,86 ^B	0,12 ⁴	43,86 ^B	2,67 ⁴	6,94 ^B	42,94 ⁴	11,94 ^A	17,93 ¹	15,32 ^A	926 ¹	15,61 ^{AB}	70,90 ¹	16,7 ^A
	0,02 ¹	35,68 ^{BC}	0,11 ¹	35,68 ^{BC}	2,32 ¹	6,73 ^C	39,37 ¹	18,33 ^A	16,07 ⁴	8,59 ^A	729 ⁴	9,90 ^{BC}	63,96 ⁴	7,61 ^A
	0,02 ³	49,13 ^C	0,09 ³	49,13 ^C	1,98 ³	2,09 ^D	38,49 ²	12,81 ^A	14,48 ²	16,27 ^A	486 ²	24,74 ^C	57,35 ²	16,1 ^A
10,5	0,03 ²	34,61 ^A	0,20 ²	34,61 ^A	3,49 ²	12,44 ^A	44,62 ¹	18,43 ^A	19,68 ³	17,68 ^A	1233 ³	4,68 ^A	80,09 ³	18,6 ^A
	0,02 ¹	42,77 ^B	0,15 ¹	42,77 ^B	2,57 ¹	1,35 ^B	41,12 ³	18,46 ^A	18,31 ¹	17,69 ^A	875 ⁴	7,14 ^B	73,45 ¹	18,1 ^A
	0,02 ⁴	46,08 ^{BC}	0,12 ⁴	46,08 ^{BC}	2,06 ⁴	14,75 ^B	40,88 ²	12,63 ^A	15,49 ²	11,37 ^A	856 ¹	20,40 ^B	61,93 ⁴	7,47 ^A
	0,02 ³	49,80 ^C	0,11 ³	49,80 ^C	1,97 ³	25,81 ^B	34,74 ⁴	15,20 ^A	15,42 ⁴	7,97 ^A	532 ²	19,92 ^C	61,52 ²	15,4 ^A

Se observa del cuadro 10, que en casi todos los parámetros a nivel de crecimiento del árbol individual como a nivel de crecimiento/ha, se registraron importantes diferencias significativas, que confirma la existencia de interacciones entre el espaciamiento y la altura del descope. Únicamente la conicidad muestra un patrón no afectado por la altura del descope, ya que registra diferencias solamente en las parcelas testigo (sin descope).

Los descopes a 8,5m y 10,5 metros de altura son los tratamientos que registran menos interacciones con el espaciamiento, es decir, muestra muy pocas variables de crecimiento con diferencias según ambos tipos de tratamientos.

Por el contrario, el descope a los 6,5m de altura muestra fuertes interacciones con los espaciamientos en casi todas las variables de crecimiento, con excepción de la conicidad a los 5m, el número total de trozas/árbol y el volumen comercial/ha. El testigo (sin descope) registra diferencias significativas en todas las variables de crecimiento investigadas, con la única excepción de la simetría de copas.

Los resultados de las interacciones sugieren, de manera general, que el efecto a un año del descope si interactúa significativamente con los espaciamientos en el crecimiento de esta especie.

Para representar gráficamente algunos de los resultados más significativos se presenta la figura 9, donde se ilustran las tendencias de distintas variables analizadas.

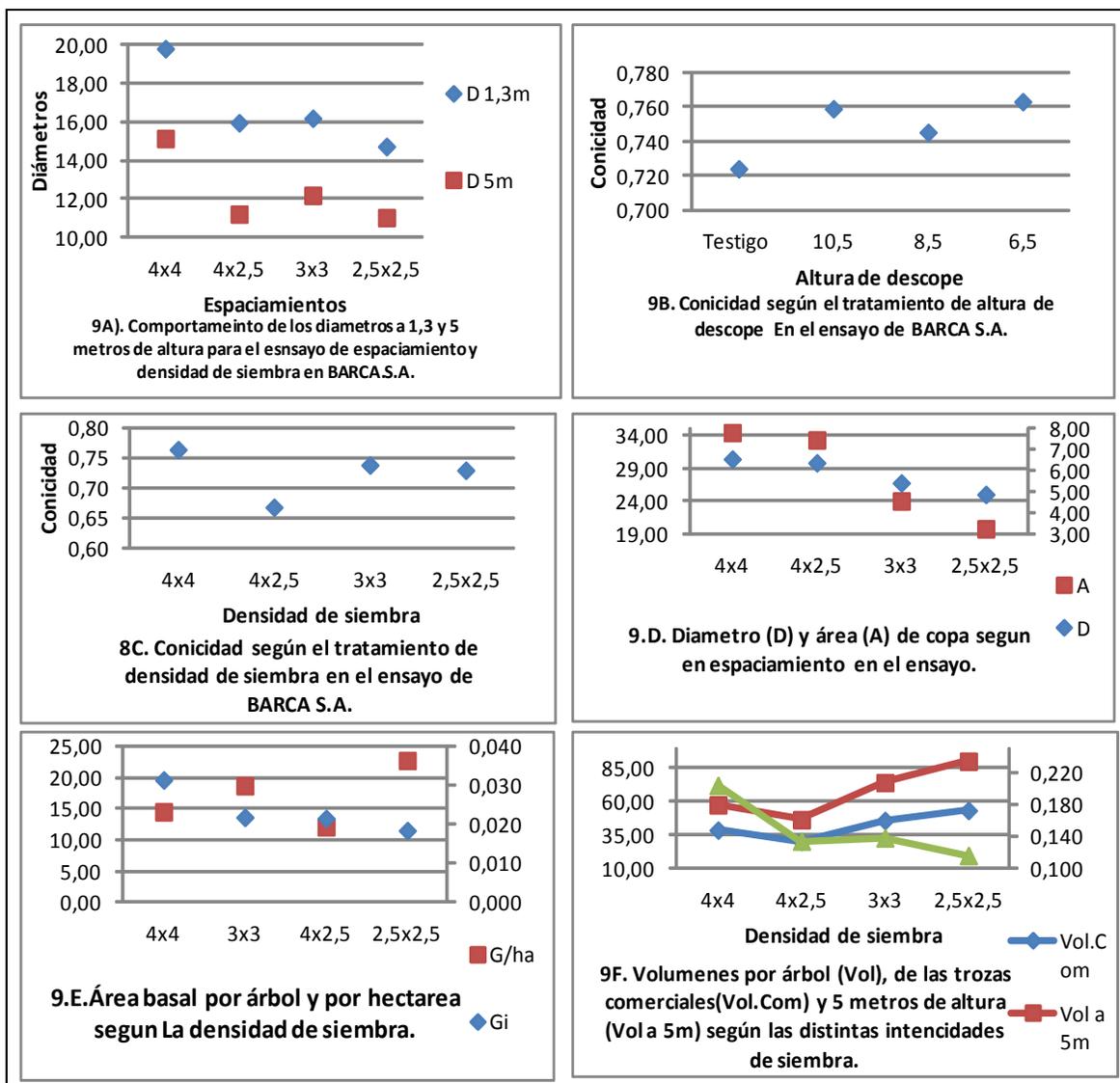


Figura 9: Tendencias en la respuesta del crecimiento de la *Tectona grandis* al efecto del espaciamiento y de la altura de descope.

Para este estudio el número de árboles por hectárea se analizó como mortalidad respecto a la densidad de siembra inicial de la plantación. Se analizan solo los bloques que no presentan descope, esto para no tener influencia del mismo en los resultados y de esta manera poder estudiar el espaciamiento sin ninguna influencia externa. A continuación se muestra el resultado de la mortalidad según la densidad de siembra:

Cuadro 11: Mortalidad para cada espaciamiento en *Tectona grandis* en Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica.

Bloque	3x3 (%)	4x4 (%)	4x2,5 (%)	2,5x2,5(%)
0	31	44	56	31
3	12	0	19	0
7	25	33	56	38
Promedio	23	26	44	23

En el cuadro 11 se pudo notar que la mortalidad en cada espaciamiento en los 3 bloques sin descope registran la mayor mortalidad en el espaciamiento 4x2.5m, con un 44%.

Cuadro 12: Análisis de varianza de la mortalidad en *Tectona grandis* según espaciamiento en Piedras Blancas de Osa, Puntarenas, Costa Rica.

ANÁLISIS DE VARIANZA

<i>Fv</i>	<i>SCC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>P-value</i>	<i>Ft</i>
Bloques	2677,85821	2	1338,9291	25,1662291	0,00120831	5,14325285
Espaciamientos	903,174182	3	301,058061	5,65862382	0,03491746	4,75706266
Error	319,220436	6	53,203406			
Total	3900,25283	11				

Fv: Fuente de variación **gl:** Grados de libertad **P-value:** Valor probabilístico
SCC: Suma de cuadrados corregidos **CM:** Cuadrado medio **Fc:** Prueba F calculada **Ft:** Prueba F tabular

En el cuadro 12 se muestra que existen diferencias significativas entre bloques y espaciamientos en relación con la mortalidad.

5.6. Discusión

- Efecto de la altura de descope

La altura de descope se practicó hace un año en este ensayo. Por tanto, la inexistencia de algún efecto en el crecimiento/ha puede ser explicado por el poco tiempo transcurrido desde la aplicación de este tratamiento. Sin embargo, a nivel del árbol individual, algunas variables de crecimiento si registraron diferencias significativas. Se observó la existencia de un patrón inverso esperable en el volumen/árbol, número de trozas totales/árbol y número menor de trozas comerciales, con la altura del descope. De manera obvia, si el árbol disminuye su altura total, en proporción a la altura en que se aplicó el descope tendrá una menor cantidad de trozas comerciales y por ende, menor volumen/árbol.

En el cuadro 8 se muestra que no existen diferencias significativas entre los descopes para el volumen a 5 metros de altura, esto porque ningún árbol fue descopado a menos de 6,5 metros. Por tanto, el descope no restó trozas comerciales/árbol y por ende, no se altera el volumen comercial/ha a los 5 metros. Si bien es cierto que el descope ya está presentando diferencias significativas en algunas de las variables de crecimiento, estas diferencias aun no se han reflejado en el volumen a los 5 metros de altura. De manera tal que se puede decir que a los 4 años de edad de una plantación de *Tectona grandis*, la práctica del descope a los tres años de edad no afecta el volumen de los árboles.

Se muestra en el cuadro 5 que a menor altura de descope se produce una menor conicidad. Este resultado puede estar ya manifestando el efecto del descope en los árboles. Se observa este mismo fenómeno en árboles de sombra en los cafetales, donde después de la reducción de su copa (práctica conocida como descumbra), el árbol tiende a formar un fuste más cilíndrico debido al menor peso de copa que requiere soportar. Por tanto, estos resultados son evidencia de que transcurrido un año de iniciado el ensayo de descope, ya se inicia la manifestación de su efecto. El efecto se expresa con mayor vehemencia en el descope a menor altura (6,5m), debido a que en proporción, estos árboles sufrieron una mayor reducción de su copa viva que los demás tratamientos.

Sin embargo, a pesar de que el tratamiento testigo de descope es el que registra más trozas comerciales por árbol, también es el que genera árboles más cónicos (cuadro 8). Caso contrario sucede con el descope a 6,5 metros de altura donde se obtiene el árbol más cilíndrico. Lo anterior podría resultar en una relación costo-beneficio interesante, ya que habría que analizar que es más rentable, si tener un mayor número de trozas o trozas más cilíndricas y por ende mayor rendimientos en aserrío.

El diámetro es quizá la variable más importante en la cuantificación de rendimientos de una plantación forestal y se conoce que se puede modificar con el manejo de la densidad de plantación y de prácticas silviculturales.

Para este estudio el diámetro a 1,3m y a 5m de altura no registraron diferencias significativas en relación con la altura de descope. Sin embargo, en el cuadro 8 se nota una tendencia, de mayores diámetros (ambos) conforme disminuye la altura de descope. Inclusive los valores de diámetro a los 5m de altura bajo descope a los 6,5m superan ya al testigo (sin descope). Tal y como se explicó anteriormente, se espera un efecto positivo en el crecimiento diamétrico y la cilindridad con la reducción de peso de copa. El descope produce un estrés fisiológico fuerte al reducir la copa y por ende se espera afecte el crecimiento de manera temporal. Sin embargo, el estrés es proporcionalmente mayor a menor altura de descope. Por tanto, debido a que el descope a 6,5m genera en el árbol un estrés mayor, esto podría explicar que de manera más rápida ocurra una reacción pronta por recuperar su copa y buscar un equilibrio metabólico. Esto podría explicar que ya al primer año, estos árboles registren una clara tendencia (aunque no significativa) hacia un mayor dap y diámetro a 5m promedio que las demás alturas de descope. Este mismo comportamiento se espera ocurra también, paulatinamente con las demás alturas de descope practicadas con forme la plantación gana edad, de aquí la importancia de la realización de mediciones periódicas en este ensayo.

Se observó un mayor coeficiente de variación en las variables de crecimiento por árbol, conforme aumenta la altura de copa (cuadro 8). Al reducirse la copa en forma drástica, el árbol sufrirá una reducción inmediata en su tasa de crecimiento, que buscará recuperarse pronto para lograr un nuevo equilibrio. Sin embargo, el descope produce también un efecto inmediato de reducción de la competencia entre árboles. Podría decirse que el descope

producirá un efecto temporal similar al del raleo, es decir, las copas ya no se entrelazarán, ingresará más luz y podría esperarse también que el árbol reduzca parte de su área radicular por no requerir el mismo volumen de absorción. La menor competencia entre copas y raíces impedirá entonces que continúe creciendo la diferenciación diamétrica dentro del rodal. Las diferencias entre las alturas de descope se explican con la menor reducción de copa viva y por ende, una tasa de reducción diferente en la competencia entre árboles.

La variable número de árboles/ha, aunque sin diferencias significativas, registra un patrón con valores más altos a mayor altura de descope y de manera inversa, un menor coeficiente de variación con mayor altura de descope. El menor número de árboles/ha en el descope a los 6,5m, podría estar explicado por una mayor tasa de mortalidad asociada con la drasticidad del tratamiento. En el testigo (sin descope) podría también explicarse por la existencia de una alta competencia y por ende, una mayor mortalidad. Los otros dos tratamientos, logran reducir la competencia y el efecto del descope no es tan drástico como para provocar una mortalidad importante. En cuanto al coeficiente de variación mayor en el testigo, se explica por la mayor variación en el número de árboles entre las repeticiones.

- Efecto de la densidad de siembra en el crecimiento

Tal y como se espera, se registraron diferencias significativas en todas las variables de crecimiento asociadas al espaciamiento. De manera contundente, las variables de crecimiento del árbol individual registraron un patrón claro de valores significativamente más bajos con la mayor densidad de siembra (2,5 x 2,5m). Esta variación se explica principalmente por un mayor crecimiento diamétrico en espaciamientos amplios (4 x 4m). El mayor número de trozas asociado al espaciamiento 4x4 se explica por un mayor crecimiento diamétrico en este espaciamiento. Esto implica una mayor probabilidad de que un número mayor de trozas a lo largo del fuste logren alcanzar el diámetro mínimo comercial.

La mayor conicidad asociada a los espaciamientos reducidos no es esperada (Arias, 2005). Por lo general, a mayor competencia se produce un menor crecimiento diamétrico, por tanto, una menor superficie de copa y un fuste más cilíndrico.

En el crecimiento/ha, claramente los espaciamientos más reducidos produjeron los valores más altos. A pesar de que sus diámetros sean menores, el mayor número de individuos/ha permite acumular mayor volumen, área basal, número de trozas, etc. Entre un espaciamiento de 4x4m y de un 2,5 x 2,5m, hay una diferencia de casi 1000 árboles/ha (160%), pero sus diámetros varían en promedio desde 14,73cm hasta 19,80 cm (5 cm ó un 34%). En este mismo cuadro 6 se determina el comportamiento antes explicado, de tal manera que los árboles del espaciamiento 4x2,5 metros son los que presentan menor volumen individual pero a su vez mayor volumen/ha.

- Interacción del efecto del descope y del espaciamiento en el crecimiento

Del cuadro 7 se puede observar la presencia de una gran cantidad de interacciones entre los descopes y los espaciamientos, en casi todas las variables de crecimiento investigadas. Únicamente la conicidad no registra un patrón afectado por la interacción entre el descope y el espaciamiento, ya que registra diferencias solamente en las parcelas testigo (sin descope). Se observa del cuadro 7 que en los descopes a 8,5m y a 10,5m de altura es donde se registran menor interacciones con el espaciamiento. Debe recordarse (cuadros 8 y 9) que de manera general, los espaciamientos ejercieron una influencia mucho mayor y más clara en el crecimiento que los tratamientos de descope. El descope se realizó tan solo un año atrás y su efecto se manifiesta con alguna evidencia, solamente en el descope a los 6,5m de altura. Por tanto, es muy probable que en estas dos alturas de descope no se exprese aún su efecto y por tanto, no se registren tampoco interacciones significativas con los espaciamientos. El descope a 6,5m y el testigo sí registraron fuertes interacciones con los espaciamientos en casi todas las variables de crecimiento. Debe recordarse que precisamente estos dos tratamientos de descope fueron los que registraron mayores efectos en el crecimiento en comparación con los otros dos tratamientos. Por tanto, es de esperarse que precisamente sean los dos tratamientos de descope que muestren mayores interacciones con los tratamientos de espaciamiento en el crecimiento de los árboles. Estos resultados sugieren entonces, que ya se inició la expresión del efecto del descope a los 6,5m en el crecimiento de los árboles y, que ya está interactuando con los espaciamientos evaluados.

Si analizamos el efecto de las densidades de siembra, se puede notar diferencias significativas en el promedio del número de trozas comerciales, con los valores más altos asociados al espaciamiento 4x4m (cuadro 9). La densidad de siembra de 625 árboles por hectárea registra en promedio 3,7 trozas comerciales/árbol y teniendo en cuenta que se evaluaron hasta los 10,5 metros de altura, este es un valor comercial alto. Si comparamos los resultados de los tratamientos de densidad de siembra y altura de descope, concuerdan con los mejores promedios del análisis de la combinación de estos tratamientos (cuadro 10). De tal manera que se puede concluir que, la combinación de espaciamientos 4x4 metros y árboles sin descopar, es la mejor combinación en cuanto a la mayor cantidad de trozas comerciales/árbol.

- **Diámetro de copa, área de copa y simetría de copa.**

La medición y análisis del diámetro, área, y simetría de copa podrían ser factores determinantes en la toma de decisiones en el manejo de plantaciones. Si estas variables son estudiadas con detalle brindan información clave en prácticas de raleo y proyecciones de crecimiento en plantación. Como se mencionó anteriormente, en los resultados el diámetro, área y simetría de copa fue analizado solo para el tratamiento de descope testigo (sin descope). Ya que con el descope, la mayoría si no casi toda el área foliar del árbol no estaba presente y a un año del descope aun no se presenta diferencia entre el desarrollo y formación de las copas.

La simetría de copas relaciona en un cociente los dos diámetros de copa (perpendiculares) y determina cuánto se desvían de un valor de 1. En el cuadro 8 se determinó que en los arboles sin descope presentan un valor de 5,67 metros de diámetro para un total de 26,56 m² de área de copa. Como se mencionó en la metodología, la parcela de mayor tamaño dentro de cada bloque es de 144m² y cuenta con 9 árboles, de tal manera que esta tendría alrededor de 240m² de área de copa. Esto implica casi el doble del área de la parcela, pero en este estudio hay parcelas del mismo tamaño y con mayor número de árboles. Lo anterior nos demuestra que existe un gran cruzamiento entre las copas de los arboles, lo que se podría interpretar como falta de un raleo en la plantación forestales.

Cuando se analiza la simetría de copa a nivel de espaciamiento se determinó que no existe diferencia significativas entre el valor de las medias en diferentes densidades de siembra. Sin embargo es de esperar que el espaciamiento 4x2,5 metros sea el más asimétrico debido a su irregularidad en la distribución espacial de los árboles.

El diámetro de copa genera un comportamiento en donde a menor densidad se da un mayor diámetro, mismo comportamiento sigue el área de copa, esto debido a que esta depende directamente del diámetro (figura 9D).

- **Número de árboles por hectárea**

El número de árboles por hectárea no es una variable de importancia para el análisis si se toma como tal, ya que la práctica del descope no implica un cambio en el número de árboles así como si lo hacen los espaciamientos por razones obvias como lo es el número de árboles máximo que puede contener una hectárea según un espaciamiento inicial de siembra, lo anterior mencionado se adapta a la perfección con los datos presentes en los cuadros 8, 9 y 10. Es por esto que este estudio en vez de analizar el número de árboles por hectárea, analizó la mortalidad, tomando en cuenta la densidad inicial que presentó cada parcela de medición.

Para esta investigación se tomaron solo los árboles no descopados (bloques 0, 3, 7) de manera que el efecto del espaciamiento se encuentre libre de alguna interacción del descope.

En el cuadro 12 se muestra que existen diferencias significativas en la mortalidad entre bloques, debido a que en el ensayo en sus primeros bloques el nivel freático se encontraba muy superficial. Tanto así que a la fecha de medición (temporada de lluvias) estos bloques se encontraban inundados, lo que sugiere que los árboles murieron por estrés hídrico. A nivel de espaciamiento también se presentan diferencias significativas, donde el mayor valor es de 44% en el espaciamiento 4x2,5 metros (anexo 3), Estos resultados no son esperados, ya que los espaciamientos de mayor densidad ya iniciaron competencia fuerte. En este caso el espaciamiento de 2,5x2,5m fue el que registró la mayor tasa de mortalidad de los cuatro evaluados. Dado esto, se podría afirmar que las diferencias presentes en los espaciamientos evaluados dependen mayoritariamente de las condiciones ambientales de sitio y poco de la densidad

5.7. Conclusiones

- El descope y la densidad de siembra influyen en la conicidad de los árboles, donde a menor altura de descope se presenta una menor conicidad y a menor densidad de siembra por hectárea se presenta un valor menor de conicidad.
- La altura de descope no representa diferencias en las medias de los diámetros en los árboles como si lo hacen las densidades de siembra.
- Árboles con mayor altura de descope y en una densidad de siembra menor presentan mayor número de trozas pero el defecto de conicidad de incrementa.
- La combinación de espaciamientos 4x4 metros y árboles sin descopar es la combinación que permite producir la mayor cantidad de trozas comerciales/árbol y por ha.
- La competencia por luz y nutrientes es muy alta en el ensayo y se demuestra con el gran cruzamiento de copas.
- Por la gran cantidad de área de copa en relación al área de la parcela, se puede decir que en la zona de estudio es necesaria la aplicación del raleo.
- El crecimiento diamétrico y por tanto en área basal se ve influenciado por la altura de descope, en donde a menor altura de descope se da un mayor aumento en el área basal.
- El volumen por árbol es inversamente proporcional al volumen por hectárea.
- En una plantación de *Tectona grandis* de 4 años de edad, el descope no afecta el volumen/árbol.
- Las diferencias en mortalidad presentes en los espaciamientos no dependan de la densidad sino más bien de las diferencias entre sitios, ya que por efectos de inundación se registró una mayor mortalidad en los espaciamientos 4x2,5 m,
- La combinación de espaciamientos 4x4 metros y árboles sin descopar es la mejor en cuanto a la variable número de trozas comerciales

5.8. Recomendaciones

- Debido a la altura de descope, se recomienda variar los largos de las trozas en el momento de comercialización. Ya que si se trabajaba con largos de 2,5 metros no se estaría aprovechando secciones en algunas de las trozas, las cuales por su menor calidad no serían 100% aprovechables.
- Para próximos estudios se recomienda realizar una relación costo-beneficio en donde se estudien las variables número de trozas comerciales con conicidad de troza, ya que los árboles que presentan más trozas comerciales son los de mayor conicidad.

5.9. Bibliografía

- Arias, D. 2005. Morfometría del árbol en plantaciones forestales tropicales. Kurú: Revista Forestal. 2 (5): 2-13.
- Arguedas, M y Mata, R; Herrera, W; Arias, D; Calvo, J; Salas, B. 2006. Síndrome de decaimiento lento de la *T. grandis* en Costa Rica, Segunda etapa, Informe Final. Escuela de Ingeniería Forestal, Centro de Investigación e Integración Bosque Industria. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago Costa Rica. 186 p.
- Blanco, M. 1996. Determinación de la productividad en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. Tesis B.Sc. Cartago. CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 71 p.
- Fonseca, W. 2004. Manual para productores de *Tectona grandis* en Costa Rica. Heredia (en línea). Consultado el 24 de noviembre del 2006. Disponible en: http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/ManualProductoresTectona_grandis.pdf
- Galloway, G. 1993. Manejo de plantaciones forestales: Guía técnica del extensionista forestal. Serie técnica. CATIE. Turrialba, Costa Rica. 60 p.
- Guzmán, N. 2007. Evaluación del doblamiento de *Tectona grandis* en plantaciones jóvenes de la empresa BARCA S. A. Tesis B.Sc. Cartago. CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 103 p.
- Holdridge, L. R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Trad. Humberto Jiménez Saa. San José, C.R. IICA. 216 p.

- ITCR. 2004. Atlas de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. (CD-ROOM).
Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 1 CD-ROOM.
- Mata, R. 2006. Informe del estudio de suelos de dos perfiles en la Finca Salamá ubicada en Salamá, Osa, Puntarenas. En digital. 7 pag.
- Mora F, Hernández W. 2007. Estimación del volumen comercial por producto para rodales de *Tectona grandis* en el pacífico de Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 31(1): 101-112.
- Moya R, Arce V. 2003. Estudio experimental del efecto del espaciamiento sobre las propiedades físicas de peso específico básico y contracciones en plantaciones de *Tectona grandis* de 10 años. *Madera y Bosques*. Otoño. 9 (02). 15-27.
- Murillo, O y Badilla, Y. 2010a. Calidad de plantaciones forestales (en prensa). Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. p 66.
- Murillo, O y Badilla, Y. 2010b. Avalúos forestales (en prensa). Escuela de Ingeniería Forestal. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR.
- Obando, M. 2010. “Condición silvicultural y propiedades físicas y generales de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas, en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste”. Tesis Lic. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 60 p.
- Rodríguez A, MM; Briceño Mendoza, MA; Ávila Bello, CH; Pacheco Velazco, JE. 1999. Ocupación por árboles de calidad: Un concepto para evaluar plantaciones. *Madera y Bosques* 5(1):43-51.
- Rojas, F. 2006. Plantaciones forestales. San José. CR. EUNED. 2ed. 260p.
- Sánchez, V. 1985. Informe de práctica de especialidad. Raleos iniciales en una plantación de *Alnus acuminata* (H.B.K) o KTZE, en Cascajal de Coronado, San José Costa Rica. Tesis B.Sc. Cartago, CR. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 112p.

6. Capítulo IV. Efecto del espaciamiento y la altura de descope en las propiedades de la madera de *Tectona grandis* a los cuatro años de edad.

6.1. Resumen

El mercado de productos forestales, tanto el nacional como el internacional, es cada vez más exigente en cuanto al cumplimiento de estándares y características que demuestren la alta calidad de sus bienes y servicios. En general, la mayoría de las plantaciones forestales establecidas en Costa Rica han carecido de este enfoque y de un manejo silvicultural adecuado. Utilizando como base las normas de carácter internacional de la Sociedad Americana de Pruebas y Materiales (ASTM), normas D-2395-02 y D-1442-92, se determinaron las propiedades físicas de la *Tectona grandis*, establecida por la empresa BARCA.S.A. en un ensayo de espaciamiento y altura de descope en la finca Salamá, Piedras Blanca, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

Las propiedades físicas evaluadas fueron: peso específico básico, contracción volumétrica, densidad verde. Además se estudiaron otras variables tales como: excentricidad del centro geométrico, porcentaje de albura, porcentaje de duramen, porcentaje de médula y porcentaje de corteza (estas se determinaron mediante la diferencia de diámetros de la sección transversal de la galleta de madera seleccionada), además se determinó el porcentaje de humedad de la madera.

El diseño experimental contó con 12 bloques en los que los árboles fueron descopados a diferentes alturas con tres repeticiones de cada una. Además, cada bloque cuenta con cuatro densidades de siembra o espaciamientos. Por estas características el diseño corresponde a un estadístico de parcelas divididas, en donde la parcela mayor es la altura de descope y el espaciamiento corresponde a la parcela menor. En el estudio se evaluaron 3 árboles por espaciamiento para cada en cada bloque, para un total de 144 individuos.

Dados los análisis estadísticos respectivos, se pudo determinar que a la edad de 4 años el efecto del descope aún no se ha mostrado en los árboles para estas variables. Se presenta diferencia significativa solo para las variables porcentaje de albura, duramen y densidad verde, sin embargo estas pueden darse debido únicamente a las distintas intensidades de siembra.

Palabras claves: *Propiedades físicas de la madera, Tectona grandis, espaciamiento, descope, peso específico básico, contracción volumétrica, densidad verde, excentricidad, albura, duramen, médula, corteza.*

6.2. Abstract

Chapter IV. Spacing and pruning height effect in wood properties of *Tectona grandis* (teak) at 4 years of established.

The forest products market in national and international level, is more and more demanding on standards compliance and features that show the high quality of their goods and services. In general, the majority of forest plantations established in Costa Rica, have lacked of this approach and in a proper management too.

Based on the international standards of American Section of the International Association for Testing Materials (ASTM), regulations D-2395-02 and D-1442-92, were determined the physic properties of teak (*Tectona Grandis* L.F.), established by BARCA S.A. in a spacing and pruning height essay in Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

The physic properties evaluated were: basic specific gravity, volumetric shrinkage, green desnsity. Also were studied another variables such as: geometric center eccentricity, sapwood percentage, heartwood percentage, medulla percentage and cortex percentage (those were determined by the diameter difference in the transversal section of the selected part), additionally the timber humidity percentage was determined. The experimental design count on 12 blocks in which the trees were pruning at different heights with 3 repetitions each. Also, each block has 4 sowing densities or spacing. For those features the design corresponds at a divided field statistic, where the main field is pruning height and spacing is the minor field. On the study were evaluated 3 individuals per spacing in each block, for a total of 144 individuals.

Given the proper analysis, it could be determined that at age of 4 years, the pruning effect hasn't been shown for those variables. A significant difference appeared only for the sapwood percentage, heartwood percentage and green density variables, but this can be only by the different sowing intensities.

Key words: physic properties, Tectona grandis, spacing, pruning, basic specific gravity, volumetric shrinkage, green density, eccentricity, sapwood, heartwood, medulla, cortex, dividied fields, timber humidity.

6.3. Introducción

La *T. grandis* ha ganado gran reputación a nivel mundial debido a la alta calidad de su madera, a su atractivo y durabilidad, a que posee gran resistencia al ataque de hongos e insectos y, por sus excelentes características, se considera como una de las más valiosas del mundo (Chávez y Fonseca 1991).

La madera de *T. grandis* es fina y dura, cualidad muy apreciada para diversos usos, es una madera que contiene sílice, fácil de trabajar, secar y preservar; su durabilidad natural y estabilidad dimensional son buenas. No es corrosiva, tiene resistencia a las termitas, los hongos y a la intemperie. Tiene un aceite antiséptico que la hace muy resistente y la protege del ataque de muchos organismos (Chávez y Fonseca 1991).

La madera joven, es aquella que produce el árbol en sus primeros años de crecimiento, por lo general es de menor densidad, deficiente en algunas propiedades mecánicas y de contracciones longitudinales superiores a la madera adulta (Madrigal 2003).

La albura es amarillenta blancuzca, el corazón es de color verde oliva. La madera es moderadamente dura, pesada y presenta anillos de crecimiento (Styles *et al.*, 2005). La densidad básica de esta especie aumenta con la edad y a mayor densidad de la plantación. También aumenta el porcentaje de duramen, las propiedades mecánicas y la razón de contracción (Fonseca 2004).

El manejo de la densidad en plantaciones forestales es una actividad que se planifica para controlar la estructura, la productividad, el tamaño de los árboles y el tiempo transcurrido hasta la cosecha final. Lo anterior en función de la especie, de los objetivos de producción y de la calidad del sitio (Prodan *et al.* 1997). La relación altura-diámetro de un árbol puede ser influenciada por el espaciamiento entre los árboles en la plantación.

Las propiedades de la madera también se pueden ver influenciadas por la densidad de rodal, por lo que prácticas como el raleo son fundamentales en el manejo de plantación. El raleo o aclareo consiste en la extracción de una porción de árboles de una plantación con la finalidad de estimular el crecimiento de los árboles remanentes y lograr una producción de madera de mayores diámetros y mejor forma (CATIE 1995).

El descope es un tratamiento silvicultural muy poco experimentado en el país y con escaso o nulo conocimiento internacional. Una experiencia más conocida es la denominada

“descumbra” de la sombra de los cafetales en Costa Rica. Esta práctica fomenta fustes mas cilíndricos y de mayor diámetro, sin embargo, por el estrés que provoca se desconoce si afecta o no la tasa de crecimiento o las propiedades de la madera de los árboles. El daño que normalmente provoca el viento en la especie *T. grandis* es otra de las razones que motivaron la realización del descope como una medida de prevención.

En este estudio se evalúa el efecto combinado e individual de la alturas de descope y el espaciamiento en las propiedades de la madera de *T. grandis* a los cuatro años de edad.

6.4. Metodología

El diseño experimental cuenta con 12 bloques descopados a diferentes alturas (6,5 m, 8,5 m, 10,5 m y sin descope) con tres repeticiones por cada altura, además cada bloque cuenta con cuatro densidades de siembra o espaciamientos (3x3 m, 4x4m, 2,5x2,5 m y 4x2,5 m). Por estas características el diseño corresponde a un diseño estadístico de parcelas divididas donde la parcela mayor es la altura de descope y el espaciamiento corresponde a la parcela menor.

Dado que a los cuatro años de edad se recomienda la aplicación del primer raleo en *T. grandis* (Fonseca, 2004), se aprovechó para tomar 3 muestras de cada combinación de altura de descope por densidad de siembra por cada bloque

6.4.1. Raleo del ensayo

Esta práctica se realizó bajo la propuesta hecha por Vincent (1975), el cual plantea la extracción de los árboles mediante la metodología de “cajas”. Esta consiste en tomar cierta cantidad de filas e hileras (las necesarias para cumplir el porcentaje de árboles requeridos para satisfacer la intensidad deseada según sea el caso; y fijarlas, de tal manera que el colaborador de del raleo pueda avanzar a través de las cajas y seleccionar los árboles a cortar. Esta práctica presenta la ventaja de que logra una selección distribuida de los árboles en el campo, lo que evita huecos o faltantes de árboles de tamaños grandes en la plantación.

El raleo se realizó bajo un modelo sistemático, donde se fijó una intensidad de corta para cada tratamiento. Al tener diferentes densidades de siembra hace que los factores de crecimiento y competencia sean diferentes, lo que obliga a tratar la plantación como pequeñas unidades, donde los estratos son las distintas intensidades de siembra. De esta manera se determinaron 4 distintas intensidades de raleo, las cuales se definieron mediante la metodología del IDR (índice de densidad de rodal) propuesta por Ortiz (1986).

La intensidad de raleo que se definió para cada tratamiento buscó estandarizar la plantación en la zona 2 de IDR ya que esta es la que presenta mejores condiciones para la producción de madera de aserrío, principal objetivo de la empresa. El IDR para *T. grandis* (Arias, 2004) se determina mediante la fórmula siguiente:

$$IDR = Densidad\ de\ rodal * \left(\frac{25}{Diametro\ medio} \right)^{-1.7126}$$

Este cálculo se realizó para determinar la cantidad de árboles a cortar de modo que la plantación quedara en sitio 2 de IDR. Una vez realizado el raleo, se revisó nuevamente la densidad para comprobar la eficacia del raleo.

A continuación, en el cuadro 17 se presenta el resumen de la metodología del raleo y su intensidad según cada tratamiento.

Cuadro 13. Intensidades de raleo según la densidad de siembra en el ensayo establecido en BARCA S.A, en Salamá, Osa, Puntarenas, Costa Rica. 2011

Densidad de siembra (m)	Número inicial de árboles por hectárea	Tamaño de las cajas (número de árboles)	Árboles a cortar	% de árboles cortados	Número de árboles remanentes por hectárea
4x4	625	8	2	25	468
3x3	1111	9	4	44,4	617
2,5x4	1000	9	3	33,3	670
2,5x2,5	1600	8	4	50	800

6.4.2. Obtención de las muestras de madera

Los árboles fueron previamente marcados en campo, además sobre estos se seleccionaron los árboles de los cuales se obtuvieron las probetas para el estudio de la madera.

Se seleccionaron aleatoriamente (de los previamente marcados) tres árboles por cada espaciamiento dentro de cada bloque con diámetros lo más cercanos al promedio calculado (Moya *et al.* 2003).

De cada árbol seleccionado se obtuvieron tres discos, el primero se tomó de la base del árbol, la segunda a los 2,5 m (altura de la primera troza) y la tercera a los cinco metros de altura (fin de la segunda troza comercial). Cada disco se cortó con un espesor de 3 cm aproximadamente, posteriormente todos se colocaron en bolsas de polietileno para mantener la humedad.

A todos los discos se le realizaron diferentes mediciones; tales como la ubicación del centro geométrico, medición de radios y diámetros con corteza y sin corteza, de duramen y de médula. Estas mediciones se realizaron en dos direcciones (norte- sur y este-oeste).

Los discos fueron trasladados al Laboratorio de Propiedades de la Madera de la Escuela de Ingeniería Forestal del ITCR en Cartago. A cada uno se le extrajo una pieza central de aproximadamente 5 cm de ancho en dirección norte-sur, como se muestra en la figura 10 (Obando 2010). Luego esta pieza fue cortada en dos piezas, cuya longitud se definió con base en la distancia donde se encontraba la médula.



Figura 10. Ubicación de la muestra que se tomó para analizar propiedades físicas y generales de la madera de *Tectona grandis* proveniente del ensayo de densidad y descope, BARCA S. A. Salamá Piedras Blancas, Osa, Puntarenas. Costa Rica. 2011

6.4.3. Densidad y contenido de humedad

Para la determinación de estas propiedades, se trabajó solo con el disco obtenido a los 2.5 m de altura en el fuste de cada árbol. La densidad básica se determinó con el volumen verde y su peso seco para muestras de 5 cm desde la médula hasta la corteza. Para determinar el peso y el volumen verde se procedió acorde a la norma ASTM D-2395-02 (ASTM 2003a). Las muestras se secaron en horno a 100 °C durante 24hr para determinar nuevamente su peso seco y volumen. A partir de estos datos se calculó el peso específico y la contracción volumétrica.

El contenido de humedad se determinó antes y después del secado y su estimación se basó en la norma D-1442-92 (ASTM 2003b).

6.4.4. Porcentaje de albura-duramen.

La madera de *Tecona grandis* con mayor proporción de duramen tiene mejor aceptación en el mercado, por lo se determinó el porcentaje de duramen, con base en la relación porcentual del diámetro promedio del duramen con el diámetro total del disco (Obando 2010).

En los tres discos obtenidos de cada árbol, se procedió a medir en dos direcciones el diámetro con corteza, sin corteza, de duramen y el de la médula. El diámetro total, el diámetro sin corteza, el diámetro de duramen y diámetro de la médula fue calculado con el promedio de las mediciones de estos diámetros en la dirección norte-sur y este-oeste según lo muestra la figura 11. El espesor de la corteza se estableció mediante la diferencia entre el diámetro total y el diámetro sin corteza. Los porcentajes de duramen, corteza y médula se determinaron por la relación existente entre el área de esos tejidos y el área total de la sección transversal del disco.



Figura 11: Ubicación de la dirección de los diámetros marcados en la sección transversal del árbol.

6.4.5. Estimación de la excentricidad de médula.

Para estudiar la variación de excentricidad de médula (Ex) para cada tratamiento se utilizó la variable dependiente porcentaje de excentricidad (Ex), que se calculó a partir de la siguiente relación:

$$\% Ex = \left(\frac{\text{Distancia } CG * CR}{\text{Diámetro promedio}} \right) * 100$$

CG= Centro Geométrico de la sección transversal

CR= Centro real o médula de la sección transversal

6.4.6. Análisis de los Datos.

El análisis de los datos de la madera fue realizado mediante el uso del paquete estadístico SAS (SAS Institec Inc) basado en un diseño experimental de parcelas divididas. Para este caso particular la parcela mayor es el tratamiento de altura de descope y la parcela menor es el tratamiento de espaciamiento de siembra. Antes de realizar el análisis de varianza, se transformaron las variables que lo requirieron, con el fin de garantizar su distribución normal. La transformación se realizó mediante el $\text{Arccos } \sqrt{X}$ donde X es el valor de la variable que se quiere transformar. Las variables transformadas fueron: porcentaje de albura y duramen, contracción volumétrica, contenido de humedad, porcentaje de médula, excentricidad y densidad verde de la madera (Obando 2010).

6.5. Resultados

Para tener una visión general de los resultados obtenidos de las mediciones en las propiedades de la madera, en el anexo 4 se presentan las medias de la medidas para los espaciamientos según el tipo de descope.

En el cuadro 18 se muestra los resultados obtenidos del análisis estadístico de las variables medidas respecto al tratamiento de altura de descope libre del efecto del espaciamiento.

Cuadro 14: Resultados del análisis de las variables medidas en relación a la altura de descope.

% Excentricidad		% Duramen		% Albura		% Medula		% Corteza	
X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
23,52 ⁰	10,78 ^A	10,49 ^{6,5}	24,25 ^A	64,88 ⁰	0,47 ^A	1,14 ^{10,5}	28,79 ^A	31,25 ^{8,5}	1,24 ^A
23,07 ^{10,5}	12,41 ^A	6,53 ^{10,5}	23,08 ^A	62,45 ^{10,5}	0,66 ^A	0,61 ^{8,5}	28,87 ^A	29,87 ^{6,5}	0,99 ^A
18,85 ^{8,5}	14,61 ^{AB}	6,26 ^{8,5}	23,98 ^A	61,87 ^{8,5}	1,19 ^A	0,54 ⁰	30,53 ^A	29,57 ^{10,5}	1,84 ^A
13,68 ^{6,5}	15,03 ^B	5,86 ⁰	24,78 ^A	59,48 ^{6,5}	0,87 ^A	0,47 ^{6,5}	26,71 ^A	28,73 ⁰	0,83 ^A

Densidad verde		Contracción volumétrica		Peso Específico Básico		Contenido de humedad	
X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
1,088 ⁰	2,996 ^A	11,18 ^{10,5}	2,366 ^A	0,438 ⁰	10,264 ^A	161,73 ^{10,5}	0,365 ^A
1,087 ^{6,5}	2,645 ^A	10,28 ⁰	2,142 ^A	0,430 ^{8,5}	7,780 ^A	157,89 ^{6,5}	0,355 ^A
1,081 ^{10,5}	2,888 ^A	10,17 ^{8,5}	2,277 ^A	0,425 ^{6,5}	9,353 ^A	151,95 ^{8,5}	0,288 ^A
1,077 ^{8,5}	2,510 ^A	10,16 ^{6,5}	3,095 ^A	0,418 ^{10,5}	9,727 ^A	151,43 ⁰	0,395 ^A

Donde:

X: media de la variable

CV: coeficiente de variación.

0, 6,5, 8,5 y 10,5: representan las alturas de descope.

Significancia: letras diferentes corresponden con diferencias estadísticamente significativas (P>0,05).

A manera de resumen de los resultados que presenta el cuadro 18, se determinó que los mejores promedios de cada variable para los tratamientos de descope fueron: alturas de descope de 6,5 para excentricidad, porcentaje de duramen y contracción volumétrica y para las demás variables analizadas el mejor descope fue el testigo (árboles no descopados).

Seguidamente se muestran los resultados obtenidos del análisis estadístico de las variables analizadas a nivel de espaciamiento puro (excluyendo el descope del estudio).

Cuadro 15: Resultados del análisis de las variables medidas en relación a la densidad de siembra (espaciamiento).

%Excentricidad			% Duramen			% Albura			% Medula			% Corteza							
X	CV		X	CV		X	CV		X	CV		X	CV						
78,26	²	3,78	^A	11,14	²	24,34	^A	62,76	³	0,40	^A	1,93	³	24,43	^A	28,30	²	0,53	^A
77,07	⁴	11,35	^A	9,92	¹	20,09	^A	61,86	⁴	0,51	^A	0,96	⁴	41,29	^A	28,15	³	0,91	^{AB}
73,17	¹	10,49	^A	8,88	⁴	27,24	^{AB}	61,10	¹	0,47	^{AB}	0,83	¹	24,84	^A	27,82	¹	0,62	^{AB}
72,57	³	14,46	^A	7,49	³	21,58	^C	60,12	²	0,45	^c	0,72	²	27,22	^B	27,25	⁴	1,17	^B

Densidad verde		Contracción volumétrica		Peso Específico Básico		Contenido de humedad									
X	CV	X	CV	X	CV	X	CV								
1,107	²	1,92	^A	72,90	³	1,46	^A	0,453	²	7,97	^A	85,37	¹	0,32	^A
1,097	¹	1,59	^A	72,56	⁴	3,26	^A	0,436	³	9,43	^A	85,33	³	0,38	^A
1,089	³	2,03	^A	72,38	¹	1,75	^A	0,436	¹	7,52	^A	85,32	⁴	0,56	^A
1,063	⁴	4,39	^B	71,60	²	1,43	^A	0,427	⁴	15,37	^A	85,24	²	0,33	^A

Donde:

X: media de la variable

CV: coeficiente de variación.

Significancia: letras diferentes corresponden con diferencias estadísticamente significativas (P>0,05).

1= espaciamiento 3x3 m 2= espaciamiento 4x4 m 3=espaciamiento 2.5x2.5 m 4= espaciamiento 4x2.5 m.

Analizando la densidad de siembra, se tiene que los mejores espaciamientos para cada variable son: 2,5x2,5 m para la excentricidad y 4x4 para % de duramen, densidad verde, peso específico básico y contenido de humedad.

Del cuadro 18 y 19 se puede observar que la excentricidad de la médula presenta diferencias significativas en el tratamiento de altura de descope y no así en la densidad de siembra, sin embargo en ambos casos se presenta un claro gradiente proporcional a la altura de descope y al espaciamiento. A mayor altura de descope mayor excentricidad de médula y a menores densidades de siembra se presenta mayor excentricidad de médula. Las demás propiedades no muestran ningún patrón definido.

En el cuadro 20 se muestran medias (ordenadas de mayor a menor) de las variables analizadas, su coeficiente de variación, el espaciamiento y la significancia de la comparación entre medias.

Cuadro 16: Medias, coeficientes de variación, espaciamiento y significancia de la comparación entremedias para el estudio de las variables analizadas a nivel de madera.

Altura de descope	% de Excentricidad		% Corteza		% Albura		% Duramen		% Médula		Densidad verde		Contracción volumétrica		PEB		Contenido de Humedad	
	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV	X	CV
0	33,26 ⁴	65,04 ^A	29,57 ²	7,85 ^A	69,08 ⁴	9,35 ^A	8,79 ²	89,55 ^A	0,67 ⁴	68,22 ^A	1,11 ²	1,92 ^A	10,68 ³	12,91 ^A	0,45 ²	7,97 ^A	154,03 ¹	11,86 ^A
	26,74 ²	42,18 ^A	28,74 ³	13,40 ^A	64,56 ¹	10,67 ^{AB}	6,58 ¹	119,54 ^A	0,60 ³	55,84 ^A	1,10 ¹	1,59 ^A	10,66 ⁴	27,83 ^A	0,44 ³	9,43 ^A	153,70 ⁴	22,75 ^A
	18,86 ³	74,72 ^A	28,36 ⁴	19,57 ^A	64,17 ³	10,42 ^{AB}	6,48 ³	123,55 ^{AB}	0,52 ¹	57,79 ^A	1,09 ³	2,03 ^{AB}	10,06 ¹	15,21 ^A	0,44 ¹	7,52 ^A	151,53 ³	13,62 ^A
	15,56 ¹	64,06 ^A	28,34 ¹	9,65 ^A	61,31 ²	10,33 ^B	1,89 ⁴	300,00 ^B	0,33 ²	58,76 ^A	1,06 ⁴	4,39 ^B	9,11 ²	11,54 ^A	0,43 ⁴	15,37 ^A	145,84 ²	11,65 ^A
6,5	18,30 ¹	126,47 ^A	31,16 ³	6,34 ^A	61,85 ⁴	11,20 ^A	17,60 ²	89,88 ^A	0,55 ⁴	81,46 ^A	1,09 ¹	3,60 ^A	10,54 ³	23,45 ^A	0,44 ¹	10,01 ^A	164,71 ²	14,11 ^A
	17,55 ³	62,86 ^A	30,45 ⁴	14,79 ^A	61,36 ¹	14,86 ^A	9,73 ¹	104,39 ^A	0,49 ³	65,97 ^A	1,09 ²	2,04 ^A	10,45 ²	47,84 ^A	0,42 ³	9,59 ^A	158,98 ⁴	13,10 ^A
	9,39 ⁴	105,33 ^A	28,43 ¹	16,98 ^A	60,08 ³	16,22 ^A	8,27 ³	113,87 ^A	0,47 ¹	25,33 ^A	1,09 ⁴	2,77 ^A	10,34 ¹	29,81 ^A	0,42 ⁴	9,59 ^A	157,31 ³	13,04 ^A
	8,95 ²	104,49 ^A	28,05 ²	17,51 ^A	54,01 ²	25,64 ^A	7,15 ⁴	123,52 ^A	0,33 ²	66,39 ^A	1,08 ³	2,22 ^A	9,79 ⁴	18,03 ^A	0,41 ²	8,89 ^A	151,31 ¹	13,48 ^A
8,5	24,99 ³	103,04 ^A	32,46 ⁴	27,63 ^A	64,61 ¹	11,41 ^A	8,51 ²	118,99 ^A	0,73 ³	78,52 ^A	1,09 ²	2,52 ^A	10,76 ²	19,43 ^A	0,44 ¹	6,59 ^A	157,61 ⁴	14,35 ^A
	23,72 ⁴	62,26 ^A	31,89 ²	35,91 ^A	64,06 ³	14,30 ^A	7,16 ⁴	101,85 ^A	0,66 ⁴	74,01 ^A	1,08 ⁴	2,71 ^A	10,68 ⁴	21,39 ^A	0,44 ²	8,27 ^A	153,64 ³	6,06 ^A
	15,66 ¹	100,06 ^A	31,84 ³	9,90 ^A	59,72 ⁴	13,44 ^A	6,01 ¹	166,19 ^A	0,57 ¹	64,87 ^A	1,08 ¹	3,07 ^A	10,01 ¹	16,21 ^A	0,42 ⁴	10,74 ^A	151,11 ²	9,53 ^A
	11,02 ²	95,19 ^A	28,81 ¹	16,82 ^A	59,11 ²	28,58 ^A	3,37 ³	235,24 ^A	0,48 ²	62,67 ^A	1,07 ³	1,59 ^A	9,23 ³	21,92 ^A	0,42 ³	4,81 ^A	145,44 ¹	10,36 ^A
10,5	29,18 ²	45,00 ^A	32,10 ³	13,25 ^A	64,40 ²	11,23 ^A	10,54 ¹	110,18 ^A	2,41 ¹	251,89 ^A	1,09 ¹	2,02 ^A	12,36 ⁴	45,00 ^A	0,43 ¹	8,14 ^A	168,70 ²	20,84 ^A
	24,74 ³	71,55 ^A	31,37 ⁴	19,52 ^A	63,80 ⁴	8,88 ^A	6,18 ²	66,09 ^A	0,84 ⁴	68,81 ^A	1,08 ⁴	2,31 ^A	11,54 ²	24,49 ^A	0,42 ⁴	4,84 ^A	163,29 ³	11,52 ^A
	19,73 ⁴	138,98 ^A	28,89 ²	17,79 ^A	61,70 ³	13,40 ^A	5,41 ³	143,59 ^A	0,78 ³	41,74 ^A	1,08 ²	3,86 ^A	10,93 ³	22,74 ^A	0,41 ²	15,43 ^A	158,03 ¹	12,47 ^A
	18,64 ¹	65,04 ^A	27,14 ¹	37,65 ^A	59,90 ¹	22,18 ^A	3,99 ⁴	155,93 ^A	0,53 ²	100,92 ^A	1,07 ³	3,26 ^A	9,90 ¹	11,24 ^A	0,41 ³	8,96 ^A	156,91 ⁴	9,66 ^A

1= espaciamiento 3x3 m 2= espaciamiento 4x4 m 3=espaciamiento 2.5x2.5 m 4= espaciamiento 4x2.5 m

X: media de la variable CV: coeficiente de variación. 0, 6,5, 8,5 y 10,5: representan las alturas de descope.

Significancia: letras diferentes corresponden con diferencias estadísticamente significativas (P>0.05).

1= espaciamiento 3x3 m 2= espaciamiento 4x4 m 3=espaciamiento 2.5x2.5 m 4= espaciamiento 4x2.5 m

En la figura 12 se encuentran ilustrados los resultados de algunas de las variable medidas en este estudio.

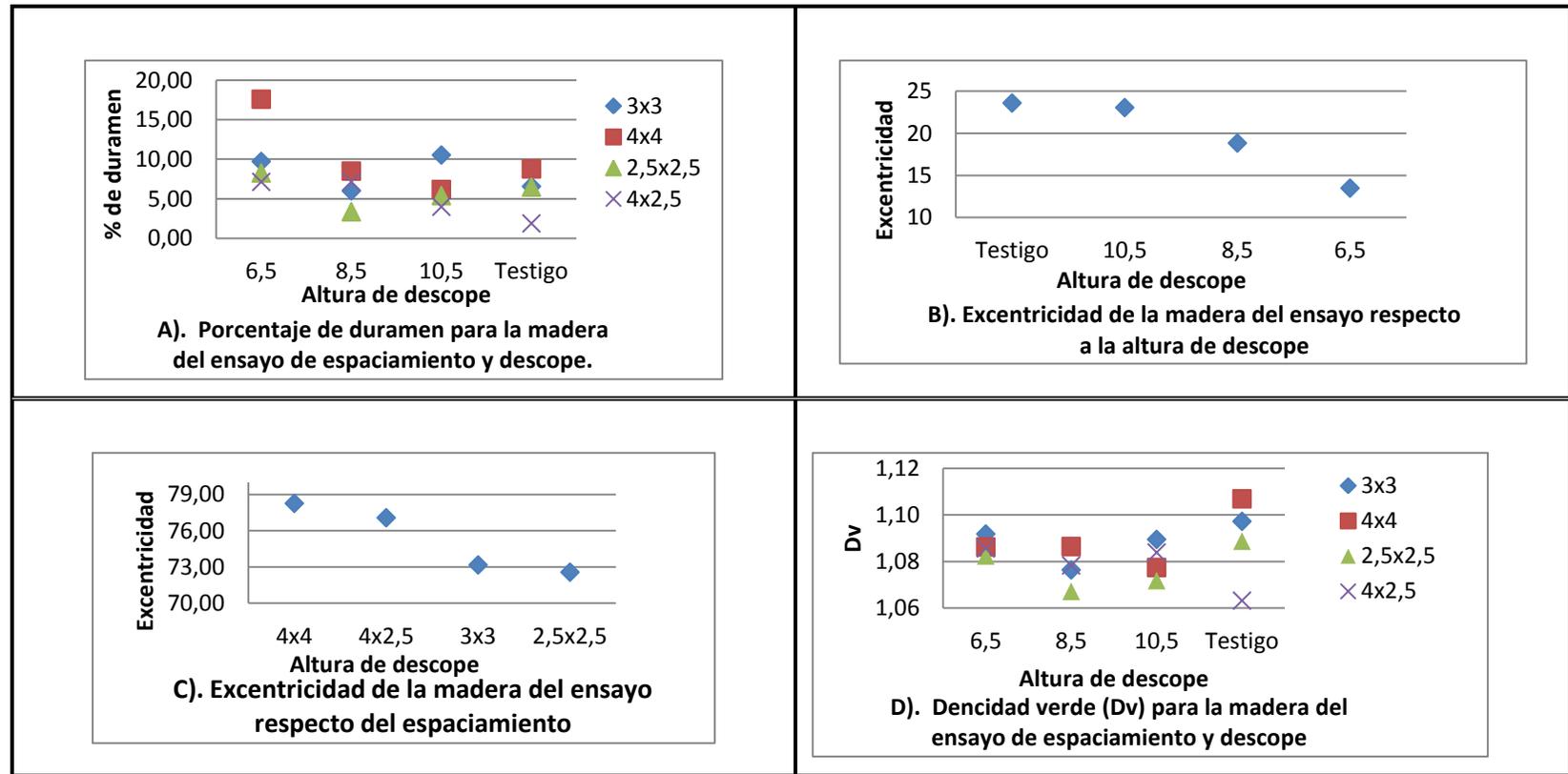


Figura 12: Efecto del espaciamiento y altura de descope en propiedades físicas estudiadas en la madera de *Tectona grandis*, en BARCA.SA, Salamá, Pierdas Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica. 2011.

En el caso de las combinaciones entre tratamientos de altura de descope y densidad de plantación (espaciamiento), se tiene que para las variables excentricidad y porcentaje de duramen la mejor combinación es un espaciamiento de 4x4m con un descope de 6,5 m de altura, mientras que para las variables de densidad verde, contenido de humedad, contracción volumétrica y peso específico básico la mejor combinación fue el espaciamiento 4x4 sin descope

6.6. Discusión

- Duramen y Albura:

El porcentaje de albura y duramen no presentan diferencias significativas en el tratamiento de descope (cuadro 18), más si lo hace en el tratamiento de espaciamiento, donde el mayor porcentaje de duramen lo presenta el espaciamiento de 4x4 m por tanto se determina que para estas variables lo óptimo es no descopar, ya que esta práctica significa inversión de recursos innecesariamente.

En el cuadro 20 se muestran las comparaciones de las medias como combinación de los tratamientos de altura de descope con densidad de siembra y se puede notar que se registraron diferencias significativas para las variables porcentaje de duramen, porcentaje de albura y densidad verde en el tratamiento sin descope (testigo). En el caso de la albura, se registraron diferencias significativas entre el espaciamiento 4x2,5 y 4x4 m, donde el mayor porcentaje de albura estuvo en el espaciamiento 4x2,5 m. Esto también se puede notar en los porcentajes de duramen, el cual aumenta entre mayor sea el espaciamiento, lo cual se podría explicar por los menores niveles de competencia que experimentan los árboles al crecer en espaciamientos mayores. Por tanto, es posible que exista una relación directa entre el espaciamiento y el aumento en diámetro; a menor competencia mayor crecimiento diamétrico y cuando este aumenta, la producción de duramen también tendría un incremento. Además, como se puede ver en el cuadro 19 en la mayoría de los casos el espaciamiento con mayor porcentaje de duramen es el 4x4 m lo que confirma lo anterior mencionado.

Fonseca (2004), reporta valores de 33 a 37% de duramen para árboles de 10 años de edad en la región seca, al igual que para la región húmeda en Costa Rica, lo que supera en un porcentaje alto a los porcentajes de duramen obtenidos en este estudio. Sin embargo, cabe destacar que la edad también supera por el doble este ensayo y según el mismo autor la proporción de diámetro aumenta logarítmicamente conforme avanza edad y consecuentemente conforme aumenta el diámetro.

Castro y Raigosa (2000), aseguran que en climas muy húmedos la *Tectona grandis* desarrolla más albura que duramen, debido a que hay más paredes activas en el xilema en contacto con el agua que no permiten un crecimiento adecuado del duramen. Esto podría explicar los valores mayores de albura en relación al duramen obtenido para este estudio.

En un estudio realizado en *Tectona grandis* sembrada a diferentes espaciamientos (3x3m y 6x2m), Arce y Fonseca (2006) explican que en árboles de 3 a 4 años de edad, a mayor espaciamiento de siembra se presenta un porcentaje mayor de duramen. Debido posiblemente a los mayores diámetros desarrollados por la menor competencia en el crecimiento. Los resultados coinciden con los presentados en el cuadro 18, donde sin importar la altura descope, el espaciamiento que presenta mayor porcentaje de duramen es el 4x4 m. Esta misma tendencia se observa en la figura 12A, de porcentaje de duramen para cada espaciamiento según el tipo de descope.

- **Excentricidad de médula**

La excentricidad de médula registró diferencia significativa entre el valor de sus medias con relación a la altura de descope según el cuadro 18, en el cual se muestra una tendencia en donde a mayor altura de descope o ausencia del mismo se presenta una mayor excentricidad (figura 12B), resultados que se podrían explicar por la oscilación del árbol debido al efecto del viento, de tal manera que en árboles de mayor altura la oscilación o el movimiento que causa el viento es mucho mayor que en árboles descopados, provocando un mayor desvío en la médula. Esta misma variable cuando se analiza para el tratamiento de densidad de siembra, no presentó diferencia significativa entre sus medias, sin embargo se determina una tendencia similar a la anterior (figura 12C), donde a menor densidad de siembra se presenta una mayor excentricidad debido al efecto del viento, ya que este

provoca mayores daños y movimientos en el árbol debido a que los grandes espaciamientos aumentan la posibilidad de entrada de los vientos, además estos azotan con mayor fuerza los árboles. Estos resultados también coinciden con lo determinado por Rosso y Ninin (1998) determinan en su estudio que el porcentaje de excentricidad aumenta en la medida que es mayor el desarrollo de los árboles y el distanciamiento. Estos autores utilizan dos densidades de siembra (720 a 840 árboles por ha y 120 a 360 árboles por ha) y el defecto de porcentaje de excentricidad presenta los mayores promedios y variaciones en el estrato de densidad arbórea de 720 a 840.

En el análisis de la combinación de la altura de descope y densidad de siembra determinó que en los testigos de descope se obtuvo mayor porcentaje de excentricidad y en las medias de espaciamiento dentro de cada descope no se presentó diferencia significativa. Por tanto se puede creer que la excentricidad se encuentra en menor porcentaje para descopes hechos a una menor altura del árbol, que en árboles descopados a mayor altura o sin descopar.

- **Peso específico básico (PEB)**

En el cuadro 18, 19 y 20 se determina que no existe diferencia significativa en el PEB para los tratamientos de altura de descope, densidad de siembra y combinación de ambos. Los valores fluctúan en un rango de 0,41 a 0,45, lo cual demuestra que los tratamientos silviculturales de descope y densidad de siembra no han influido en el PEB de la madera a la edad de 4 años para este caso. En el cuadro 20, se puede ver el comportamiento del PEB según espaciamientos y alturas de descope, donde se determina que todos los espaciamientos presentan un mismo comportamiento, pero el más estable es el espaciamiento 4x2,5, ya que presenta menor variación entre los distintos tipos de descope. Estos datos coinciden con los propuestos por Castro y Raigosa (2000), los cuales reportan que la madera de *Tectona grandis* que se ha plantado en climas muy húmedos, súper húmedos y de edades jóvenes, alcanzan un PEB cercano a 0,50. Lo cual permite deducir que todavía esta madera es muy joven y probablemente aún no registren algún cambio fisiológico de madera joven a madera dura. Castro y Raigosa (2000), en su estudio determinan que el peso específico básico es de 0,58, basado en el peso seco al horno y el

volumen en condición verde. Lo que la clasifica como una madera pesada. Resultado que coincide con los datos encontrados por Carpio *et al.* (1996), quienes la clasifican como una madera pesada a muy pesada. Estos valores de PEB, son semejantes a los reportados por Styles *et al* (2005), quienes encontraron un PEB para *T. grandis* de 0,55.

Los estudios de todos los autores anteriormente mencionados no se encontraban para plantaciones con las mismas condiciones de densidad de siembra. Sin embargo, se puede deducir que existen patrones similares en los datos reportados. Moya y Arce (2003) coinciden al afirmar que el PEB y los diferentes tipos de contracciones no se ven afectados por el espaciamiento a edades tempranas, ya que durante los primeros años de crecimiento, la competencia que se da entre las copas de los árboles es similar para distintos espaciamientos (3x3 m y 6x2 espaciamientos evaluados).

- **Contracción volumétrica**

En general, se sabe que a mayor valor en la contracción volumétrica, habrá mayor tendencia a problemas durante el secado (*Castro y Raigosa. 2000*). Sin embargo, en el caso de las propiedades evaluadas no se registraron diferencias significativas entre sus medias a nivel de altura de descope, en el tratamiento de espaciamiento de siembra ni en la interacción de ambas. Así mismo, la contracción volumétrica encontrada oscila entre de 9,11 a 10,93%, lo cual es un valor mayor al reportado por Castro y Raigosa (2000) los cuales registran un valor de 6,2% de contracción volumétrica para *T. grandis*, por tanto puede presentar mayores problemas como torceduras o agrietamientos en la madera.

Govaere *et al* (2004) reportan valores de contracción volumétrica de 6,45% para *Tectona grandis* en Costa Rica. En el mismo trabajo se reportan un valor de 7,95% la provincia de Limón de Costa Rica. Estos resultados sugieren que podría ocurrir un aumento en la contracción volumétrica en tanto aumente la precipitación. Este resultado junto con la juventud de la madera puede explicar los altos porcentajes de contracción volumétrica obtenidos en el estudio realizado en BARCA.SA.

- **Contenido de humedad**

Para el estudio, el contenido de humedad no presentó diferencia significativa entre sus medias para ningunos de los tratamientos ni para la combinación de ambos. Con lo anterior se puede decir que para esta variable sin importar la altura de descope y la densidad de siembra, los valores son iguales, por tanto actividades como el descope se recomienda no aplicarlas ya aumenta los costos de mantenimiento de plantación. El contenido de humedad obtenido para este estudio oscila entre 145 y 169 %, datos que superan a los encontrados por Govaere *et al* (2004) quienes registran un contenido de humedad de 126,5% para una plantación de *T. grandis* ubicada en Bananito de Limón, la cual tenía 8 años de edad al momento del estudio, mientras que la plantación evaluada en este caso cuenta tan solo con 4 años de edad.

Según la el cuadro 20 los mayores porcentajes de contenido de humedad se presentan para el espaciamiento 4x4m en los descope de 8,5 y 6,5 metros de altura respectivamente. el menor contenido de humedad se presenta en el espaciamiento a 3x3 para el descope a 8,5 metros de altura y el espaciamiento 4x4 m en el tratamiento sin descope.

- **Densidad verde**

Para la variable densidad verde no se registran diferencias significativas respecto a la altura de descope (cuadro 18), en el tratamiento de densidad de siembra si se da una diferencia significativa entre los valores de densidad verde, en los cuales a menor densidad de siembra inicial se presenta mayores promedios de densidad verde. Esto dicho se ve reflejado en el cuadro 19, en donde el mayor valor de densidad verde lo presenta el espaciamiento 4x4 m y el de menor valor es el espaciamiento 4x2,5 m. Styles *et al* (2005) reportan valores promedios de densidad de 1,102 g/cm³, 0,715 g/cm³ y 0,617 g/cm³ en condición de humedad verde, seca al aire y seca al horno respectivamente. Estos datos coinciden con los obtenidos en este estudio, ya que los valores encontrados de densidad verde se encuentran en un rango de 1,06 g/cm³ a 1,11 g/cm³.

En la figura 12D se muestran el comportamiento de la densidad verde en relación con los espaciamientos y altura de descope. A pesar de que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, se puede observar que a menor altura de descope existe una mayor similitud en los datos y conforme aumenta la altura de descope estos empiezan a presentar diferencias hasta llegar a el tratamiento que no fue descopado, que es en donde se presenta una mayor variación en las medias por espaciamiento (cuadro 19).

6.7. Conclusiones

- Se registró una tendencia a tomar mayor porcentaje de duramen a menor altura de descope. Las diferencias no alcanzaron a ser significativas debido a que el descope se realizó hace solo un año. El descope a menor altura estimula un mayor duramen debido a que provoca un estrés mayor. Con el descope se reduce significativamente la proporción de copa viva por tanto, el árbol no necesitara la misma proporción de albura para el transporte de los productos de la fotosíntesis, lo que propicia la generación de duramen.
- Los efectos del descope en las propiedades de la madera se podrán registrar en mayor magnitud conforme transcurra el tiempo.
- En el estudio se determinó que el porcentaje de duramen es mayor conforme aumenta el espaciamiento de siembra. Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas, posiblemente debido a que el efecto del espaciamiento (competencia) se inició hace muy poco tiempo.
- Debido a su relación porcentual en el árbol, el porcentaje de duramen y el porcentaje de albura tienen una tendencia inversa en el crecimiento según el espaciamiento. En la densidad de siembra de 4x4 m, se presentó el mayor valor de duramen y a su vez el menor valor de albura.
- La excentricidad de médula es la única variable que presenta diferencia significativa respecto a la altura de descope a los cuatro de edad.

- La excentricidad de médula presentó una tendencia de crecimiento en tanto aumenta la altura de descope. Por tanto la excentricidad se encuentra en menor porcentaje en descopes de menor altura que en uno de mayor altura o sin descope para este caso. Este mayor desvío de la medula se registra entonces en los arboles de mayor altura debido a que ocurre una mayor oscilación. Esto probablemente obliga al árbol a desarrollar una mayor área basal en su parte baja para poder mantener firme y recto al árbol, lo que produce un mayor desvío de su medula.
- Los tratamientos silviculturales de descope y densidad de siembra aún no influyen en el PEB de la madera a la edad de 4 años.

6.8. Recomendaciones.

- Se deberá continuar tomando datos de y muestras de madera de este ensayo a mayor edad con el fin de volver a revisar las tendencias registradas en esta primera investigación.
- Se recomienda para siguientes estudios realizar pruebas mecánicas a la madera, así como implementar también el análisis de contracción radial y tangencial.
- A nivel de propiedades de la madera se recomienda no realizar la práctica de descope, ya que o presenta diferencias significativas entre los bloques descopados y los descopado.
- Para las propiedades de la madera los mejores promedios los tiene la densidad de siembra de 625 árboles por hectárea, por lo que se recomienda implementar el espaciamiento 4x4m como uno de los estándares para la empresa.

6.9. Bibliografía

- Arce V, Fonseca W. 2006. Relación albura - duramen y características físicas de la madera de *Tectona grandis* L. F en plantaciones de diez años con diferente densidad de siembra, Guanacaste, Costa Rica. (En línea). Heredia, CR. INISEFOR, Universidad Nacional de Costa Rica. Consultado en: 18 agosto. 2011. Disponible en: <http://www.una.ac.cr/inisefor/>
- Arguedas, M y Mata, R; Herrera, W; Arias, D; Calvo, J; Salas, B. 2006. Síndrome de decaimiento lento de la *Tectona grandis* en Costa Rica, Segunda etapa, Informe Final.
- Arias D. 2004. Validación del Índice de Densidad del Rodal para el manejo de plantaciones forestales de *Tectona grandis* en el trópico. 1(1). 1-7.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003a. Standard test methods for specific gravity of wood and wood-base materials. ASTM D 2395-02. 15 p.
- ASTM (American Society for Testing and Materials, US). 2003b. Standard Test Methods for Direct Moisture Content Measurements of Wood and Wood-Base Materials. ASTM D-1442-92. Volume 04-10. Pennsylvania. (Reproved 2003).
- Blanco, M. 1996. Determinación de la productividad en plantaciones de *Tectona grandis* L.f. Tesis B.Sc. Cartago. CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 71 p.
- CATIE. 1995. *Alnus acuminata ssp. Arguta*. (Schlechtendal) Furlow especie de árbol de uso múltiple en América central. Ed. E Rodríguez. Turrialba, CR. Litografía e Imprenta LIL, S.A.. Serie técnica. Informe técnico. CATIE. No.248. 40 p
- Carpio, IM; Arrolo, O; Sánchez,E. 1996. Anatom.a y ultraestructura de 20 especies maderables de importancia comercial en Costa Rica. Informe Final del Proyecto. San José, Universidad de Costa Rica, Instituto de Investigaciones en Ingenier.a.114p.
- Castro, F y Raigosa, J. 2000. Crecimiento y propiedades físico - mecánicas de la madera de *Tectona grandis* de 17 años de edad en san Joaquín de abangares, Costa Rica. Agronomía Costarricense. No. 24(2): 07-23.
- Chaves, E y Fonseca, w. 1991. *Tectona grandis* L.f. Especie de árbol de uso múltiple en América Central. Ed. E Rodríguez Araya. Turrialba, CR. Litografía e Imprenta LIL, S.A. Serie técnica. Informe técnico / CATIE; no.179. 47 p.

- Fonseca, W. 2004. Manual para productores de *Tectona grandis* L.f. en Costa Rica. Heredia (en línea). Consultado el 24 de noviembre del 2006. Disponible en: http://www.fonafifo.com/text_files/proyectos/ManualProductoresTectona_grandis.pdf
- Govaere G, Carpio I, Cruz L. 2004. Descripción anatómica, durabilidad y propiedades físicas y mecánicas de *Tectona grandis*. (en línea). San José, CR. Consultado en 23 agosto del 2011. Disponible en: <http://www.inii.ucr.ac.cr/lpf/>
- Guzmán, N. 2007. Evaluación del doblamiento de *Tectona grandis l.f.* en plantaciones jóvenes de la empresa BARCA S. A. Tesis B.Sc. Cartago. CR. Instituto Tecnológico de Costa Rica. 103 p.
- Holdridge, L. R. 1982. Ecología basada en zonas de vida. Trad. Humberto Jiménez Saa. San José, C.R. IICA. 216 p.
- ITCR. 2004. Atlas de Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. (CD-ROOM). Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago. Costa Rica. 1 CD-ROOM.
- Madrigal, K. 2003. Evaluación de algunas propiedades tecnológicas básicas de la madera de *Pinus radiata* D. Don importada de Chile por AMANCO, Costa Rica. Informe de práctica de especialidad. B.Sc. Cartago, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Esc. de Ing. Forestal. 120 p.
- Moya, R; Valenzuela, L; Salazar, F. 2003. Efecto de la fertilización de la pradera sobre la delimitación y características del periodo juvenil de *Pinus radiata* D. Don (en línea). Revista Investigación Agraria: Sistemas y Recursos Forestales 12(2): 13-23. Consultado 22 Set. 2011. Disponible en: http://www.inia.es/gcontrec/pub/013-023-%288601%29-Efecto_1059568425078.pdf
- Moya R, Arce V. 2003. Estudio experimental del efecto del espaciamiento sobre las propiedades físicas de peso específico básico y contracciones en plantaciones de *Tectona grandis* de 10 años. Madera y Bosques. Otoño. 9 (02). 15-27.
- Mata, R. 2006. Informe del estudio de suelos de dos perfiles en la Finca Salamá ubicada en Salamá, Osa, Puntarenas. En digital. 7 pag.
- Murillo, O y Badilla, Y. 2010a. Calidad de plantaciones forestales (en prensa). Instituto tecnológico de Costa Rica. Cartago, CR. p 66.

- Obando, M. 2010. “Condición silvicultural y propiedades físicas y generales de la madera de *Enterolobium cyclocarpum* y *Samanea saman* en plantaciones mixtas de 19 años con especies nativas, en la Estación Experimental Forestal Horizontes, Liberia, Guanacaste”. Tesis Lic. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago, Costa Rica. 60 p.
- Ortiz, E. 1986. Utilización del IDR en el manejo de la densidad de plantaciones forestales. Cartago, CR, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 10 p.
- Prodan, M; Peters, R; Cox, F; Real, P. 1997. Mensura Forestal. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). San José. CR. 586 p.
- Rosso f, Ninin p. 1998. Variabilidad de los defectos de trozas de la especie *Tectona grandis* l.f. en diferentes densidades arbóreas, en la unidad experimental de la reserva forestal de Ticoporo, Barinas-Venezuela. Forest. 42 (2). 103-112.
- Sánchez, V. 1985. Informe de práctica de especialidad. Raleos iniciales en una plantación de *Alnus acuminata* (H.B.K) o KTZE, en Cascajal de Coronado, San José Costa Rica. Tesis B.Sc. Cartago, CR. Escuela de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico de Costa Rica. 112p.
- Styles W; Valero; Elio C; Reyes C; Darío A. Garay J. 2005. Estudio de las propiedades físico-mecánicas de la especie *Tectona grandis*, de 20 años de edad, proveniente de las plantaciones de la unidad experimental de la reserva forestal Ticoporo, estado Barinas. Revista Forestal Venezolana 49(1) 2005, 61-73
- Vincent, L. 1975. Manejo de plantaciones forestales con fines de producción. Mérida, VE. Departamento de Manejo de Bosques, Centro de estudios de Posgrados, Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de los Andes. 151

7. ANEXOS.

Anexo 1: Medias de las variables establecidas para la determinación de la calidad de plantación en el ensayo de espaciamiento y descope en BARCA.SA Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

Altura Descopes (m)	Espaciamiento (m)	Posición sociológica (1-100)	Altura. 1 ^{er} rama gruesa (m)	N. Ramas a 2,5m	N. Ramas gruesas a 5m	Bifurcación	Reiteración	Daño por Viento (1-4)	H. Del daño por viento (m)	Calidad (1-100)
0	2,5x2,5	33,08	9,43	0,62	0,35	0,14	0,22	2,11	11,24	52,38
	3x3	35,81	8,03	1,05	0,46	0,16	0,35	1,95	12,66	52,74
	4x2,5	29,33	7,03	1,00	1,19	0,15	0,48	1,78	12,66	42,68
	4x4	53,05	7,86	1,05	0,40	0,05	0,45	2,15	13,09	55,53
6,5	2,5x2,5	24,75	4,96	2,19	0,61	0,11	0,31	1,78	5,39	44,48
	3x3	28,66	5,31	2,03	0,71	0,11	0,26	1,66	5,49	48,91
	4x2,5	40,89	5,24	1,95	0,53	0,05	0,34	1,53	5,84	54,58
	4x4	36,53	4,83	2,95	1,05	0,11	0,53	1,63	6,14	50,07
8,5	2,5x2,5	31,30	6,49	1,11	0,22	0,05	0,30	1,84	6,96	52,86
	3x3	33,03	6,23	1,20	0,30	0,05	0,43	1,58	7,29	57,28
	4x2,5	39,71	6,43	1,80	0,46	0,11	0,40	1,71	7,60	53,56
	4x4	52,10	6,29	1,67	0,38	0,10	0,29	1,81	7,43	50,17
10,5	2,5x2,5	28,57	7,58	0,81	0,32	0,05	0,38	1,97	8,24	46,70
	3x3	41,22	6,70	0,97	0,38	0,19	0,38	2,14	8,33	48,16
	4x2,5	28,31	7,50	0,50	0,21	0,10	0,33	1,69	8,91	53,22
	4x4	40,26	6,76	1,09	0,61	0,13	0,26	1,96	8,17	50,81

Anexo 2: Medias de las variables establecidas para la determinación de parámetros de crecimiento en *T. grandis* en el ensayo de espaciamiento y descope en BARCA.SA Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

Altura de descope (m)	Espaciamiento (m)	Diámetro a 1,3m (cm)	Diámetro a 5m (cm)	Conicidad a 5 m	Número de Trozas	% Simetría de copa	Diámetro de copa (m)	Área de copa (m ²)	Área basal (m ² /ha)	Volumen a 5m (m ³) Parcela	Volumen a 5m (m ³ /ha)	N. trozas comerciales	Vol.troz	Área basal (m ² /ha)	N. de árboles por Ha
0	2,5x2,5	14,73	11,05	0,73	3,70	0,19	4,89	19,82	0,018429	90,4818	0,0734	2,19	53,61	22,73	1233
	3x3	16,19	12,21	0,74	3,86	0,12	5,44	24,05	0,021807	74,5030	0,0870	2,43	46,07	18,68	856
	4x2,5	15,96	11,23	0,67	3,78	0,21	6,40	33,37	0,021546	46,6785	0,0830	2,49	30,43	12,12	563
	4x4	19,80	15,15	0,76	4,00	0,12	6,58	34,47	0,031362	57,7708	0,1248	3,70	38,87	14,52	463
6,5	2,5x2,5	14,63	11,17	0,75	2,92	0,16	5,13	21,69	0,017870	85,6704	0,0714	2,02	45,75	21,44	1200
	3x3	15,81	11,94	0,75	3,00	0,16	5,75	26,64	0,020361	70,7560	0,0804	2,19	39,38	17,91	880
	4x2,5	15,93	12,61	0,79	3,00	0,17	5,58	25,29	0,020636	66,3881	0,0839	2,33	37,46	16,34	792
	4x4	19,46	14,38	0,74	3,00	0,15	6,38	32,35	0,030440	52,0153	0,1183	2,88	32,67	13,39	440
8,5	2,5x2,5	14,01	10,47	0,72	3,84	0,16	5,41	24,41	0,016496	81,0757	0,0657	1,98	44,22	20,35	1233
	3x3	15,43	11,63	0,75	3,63	0,15	5,85	27,55	0,019359	70,8964	0,0766	2,32	39,37	17,93	926
	4x2,5	16,32	12,51	0,76	3,91	0,14	6,22	31,43	0,022039	63,9606	0,0877	2,67	42,94	16,07	729
	4x4	19,24	14,58	0,75	4,00	0,13	6,98	38,84	0,029785	57,3507	0,1180	3,45	38,49	14,48	486
10,5	2,5x2,5	13,66	10,63	0,77	3,62	0,21	5,18	22,14	0,015957	80,0861	0,0649	1,97	41,12	19,68	1233
	3x3	16,16	12,37	0,76	3,84	0,16	6,10	30,06	0,021376	73,4547	0,0858	2,57	44,62	18,31	856
	4x2,5	14,48	11,16	0,76	3,74	0,17	5,45	24,33	0,017621	61,9283	0,0708	2,06	34,74	15,42	875
	4x4	18,98	14,14	0,74	3,74	0,11	6,84	38,10	0,029097	61,5228	0,12	3,49	40,88	15,49	532

Anexo 3: Análisis estadístico respectivo para el estudio de mortalidad de los árboles por hectaea en el ensayo de espaciamiento y descope en BARCA.S.A. Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

Análisis de varianza de dos factores con una sola muestra por grupo

	<i>RESUMEN</i>	<i>Cuenta</i>	<i>Suma</i>	<i>Promedio</i>	<i>Varianza</i>
	0	4	163,187569	40,7968922	144,84027
	3	4	31,2412491	7,81031228	87,8632977
	7	4	152,075833	38,0189581	174,761305
3x3	3	68,7268727	22,9089576	91,1640652	
4x4	3	77,7777778	25,9259259	534,979424	
4x2,5	3	131,25	43,75	468,75	
2,5x2,5	3	68,75	22,9166667	403,645833	

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Fv</i>	<i>SCC</i>	<i>gl</i>	<i>CM</i>	<i>Fc</i>	<i>P-value</i>	<i>Ft</i>
Bloques		2677,85821	2	1338,9291	25,1662291	0,00120831	5,14325285
Espaciamientos		903,174182	3	301,058061	5,65862382	0,03491746	4,75706266
Error		319,220436	6	53,203406			
Total		3900,25283	11				

Anexo 4: Medias de las variables analizadas en la madera de *T. grandis* en el ensayo de espaciamiento y descope en BARCA.SA Salamá, Piedras Blancas, Osa, Puntarenas, Costa Rica.

Altura de descope (m)	Espaciamiento (m)	% Excentricidad	% Corteza	% Albura	% Duramen	% Médula	Densidad verde (cm ³ /g)	Contracción Volumétrica	PEB	Contenido Humedad
0	2.5x2.5	18,86	28,74	64,17	6,48	0,60	1,09	10,68	0,44	151,53
	2.5x4	33,26	28,36	69,08	1,89	0,67	1,06	10,66	0,43	153,70
	3x3	15,56	28,34	64,56	6,58	0,52	1,10	10,06	0,44	154,03
	4x4	26,74	29,57	61,31	8,79	0,33	1,11	9,11	0,45	145,84
6,5	2.5x2.5	17,55	31,16	60,08	8,27	0,49	1,08	10,54	0,42	157,31
	2.5x4	9,39	30,45	61,85	7,15	0,55	1,09	9,79	0,42	158,98
	3x3	18,30	28,43	61,36	9,73	0,47	1,09	10,34	0,44	151,31
	4x4	8,95	28,05	54,01	17,60	0,33	1,09	10,45	0,41	164,71
8,5	2.5x2.5	24,99	31,84	64,06	3,37	0,73	1,07	9,23	0,42	153,64
	2.5x4	23,72	32,46	59,72	7,16	0,66	1,08	10,68	0,42	157,61
	3x3	15,66	28,81	64,61	6,01	0,57	1,08	10,01	0,44	145,44
	4x4	11,02	31,89	59,11	8,51	0,48	1,09	10,76	0,44	151,11
10,5	2.5x2.5	24,74	32,10	61,70	5,41	0,78	1,07	10,93	0,41	163,29
	2.5x4	19,73	31,37	63,80	3,99	0,84	1,08	12,36	0,42	156,91
	3x3	18,64	27,14	59,90	10,54	2,41	1,09	9,90	0,43	158,03
	4x4	29,18	28,89	64,40	6,18	0,53	1,08	11,54	0,41	168,70

Anexo 5: Formulario de campo para la medición de variables en el ensayo de densidad y descope.

Formulario de campo para evaluar ensayos de espaciamientos y descopes.

HOJA No. _____ Anotador _____ Especie _____

Propietario: _____ Ubicación geográfica _____ Fecha de siembra _____ Fecha de medición _____

Bloque	Espaciamiento Descope	Árbol	Posición sociológica D C I S	dap (cm)	D 5m	h total (m)	Altura de 1era rama gruesa (m)	No de ramas a los 2.5m	No. de ramas gruesas ¹ en los primeros 5m	Diámetro de Copa Hileras (m)	Diámetro de copa Filas (m)	Bifurcación Reiteración B1 a B4	Daño por Viento ²	H daño por viento	Calidad de trozas			
															T1	T2	T3	T4
		1																
		2																
		3																
		4																
		5																
		6																
		7																

Daño al viento: 1 = 0 daños; 2 = torcedura leve; 3 = severamente doblado; 4 = quebrado/descopado

Posición sociológica: D = dominante; CD = codominante; I = intermedio; S = suprimido // **Rama gruesa** = cuyo diámetro > 33% del diámetro del fuste; Delgada = 1; Gruesa = 2