Efectos de los Diferentes Rangos de Longitud de Onda Sobre la Germinación y Crecimiento Inicial en la Especie Teca (*Tectona grandis* L.f)

Eder Yair Andrés Bermúdez Vega, James Ferley Castañeda Torres.

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Forestal

Director

Sandra Milena Díaz López

M.Sc En Manejo, Uso y Conservación de Bosques

Universidad Industrial de Santander

Instituto de Proyección Regional y Educación a Distancia- IPRED

Programa de Ingeniería Forestal

Málaga

2019

Agradecimiento

A nombre de los autores de este proyecto agradecemos a nuestra universidad por formarnos y a las personas que, con sus consejos, comentarios apoyo y sugerencias, lograron un gran aporte para la realización de este proyecto; para ellos los más sinceros y profundos agradecimientos.

- Nuestro agradecimiento a la familia Vega Duarte por permitirnos realizar el proyecto en sus predios y prestarnos la asistencia requerida en el proyecto.
- A la Universidad Industrial de Santander, sede Málaga, por recibirnos y formarnos como ingenieros forestales.
- Al cuerpo de docentes que guiaron y brindaron sus conocimientos para nuestra formación académica, profesional y personal.
- A nuestra directora, Sandra Milena Diaz López, por su guía y apoyo para la realización de este proyecto, por su tiempo y dedicación aportado a esta investigación. Además, agradecerle de manera especial sus grandes aportes a nuestro conocimiento.
- A la Bióloga Ingrith Carolina Flórez García por su orientación para la elaboración de proyectos de investigación, dándonos recomendaciones esenciales y fundamentales de un buen investigador.
- Al doctor, Jorge Andrés Rodríguez Toro por su guía, consejos aportes, conocimiento y tiempo dedicado para la realización de este proyecto.
- A nuestros padres, hermanos y demás familiares por su gran apoyo y dedicación en nuestra formación como profesionales.

- A nuestros amigos por el gran apoyo durante nuestra formación y en la realización de este proyecto.
- A la señora Stella Robles por su gran apoyo en mi formación académica.

Tabla de Contenido

Pág.

Introducción 17

1 Objetivos 19

1.1 Objetivo General 19

1.2 Objetivos Específicos 19

2 Planteamiento del Problema 20

2.1 Definición del Problema 20

2.2 Justificación 20

3 Marco Referencial 22

3.1 Marco Teórico. 22

3.1.1 *Tectona grandis* L.f. 22

3.1.2 Respuestas de las plantas a la luz. 24

3.1.3 Cloroplastos y pigmentos. 26

3.2 Marco Conceptual. 28

3.2.1 Semilla. 28

3.2.2 Cubierta seminal. 28

3.2.3 Endospermo. 28

3.2.4 Embrión. 28

3.2.5 Pureza física. 29

3.2.6 Viabilidad. 29

3.2.7 Energía germinativa. 29

3.2.8 Periodo de energía. 29

3.2.9 Sanidad. 29

3.2.10 Clases de germinación. 30
3.2.11 Germinación epigea. 30
3.2.12 Germinación hipogea. 30
3.2.13 Latencia. 30
3.2.14 Tratamientos pregerminativos. 31
3.2.15 Estratificación. 31
3.2.16 Escarificación. 31
3.2.17 Fotosíntesis. 31
3.2.18 La luz. 32
3.3 Marco Histórico. 32
3.4 Marco Jurídico, Normativo e Institucional. 34
4 Metodología 36
4.1 Fase 1: Revisión de Información Secundaria y Delimitación del Área de Estudio. 36
4.1.1 Revisión de información secundaria. 37
4.1.2 Visita de reconociendo. 37
4.1.3 Área de estudio. 37
4.2 Fase 2: Elección de Sustratos y Coberturas de Colores. 37
4.2.1 Elección del sustrato. 37
4.2.2 Coberturas de colores. 38
4.3 Fase 3: Implementación del Experimento. 38
4.3.1 Compra de implementos e insumos. 38
4.3.2 Desinfección del sustrato. 39
4.3.3 Viabilidad de la semilla. 39
4.3.4 Llenado de bandejas. 39
4.3.5 Distribución del modelo en el espacio del experimento. 39

4.3.6 Siembra. 40
4.3.7 Método de Riego. 40
4.4 Fase 4: Diseño Experimental. 40
4.4.1 Modelo estadístico y análisis de varianza. 40
4.5 Fase 5: Recolección de Información Primaria. 42
4.5.1 Germinación. 43
4.5.2 Altura. 43
4.5.3 Medición del Diámetro. 44
4.5.4 Número de hojas. 44
4.5.5 Área foliar. 44
4.5.6 Conductancia estomática. 44
4.5.7 Eficiencia fotosintética. 45
5 Resultados 45
5.1 Aspectos Generales del Área de Estudio. 45
5.2 Diseño Experimental. 46
5.3 Análisis de Germinación. 48
5.3.1 Análisis de varianza de germinación. 51
5.4 Análisis de Mortalidad. 52
5.4.1 Mortalidad de semillas. 53
5.5 Análisis de Variancia de Alturas. 53
5.5.1 Altura de las plántulas. 53
5.6 Análisis de diámetros. 69
5.6.1 Diámetro de las plántulas. 69
5.7 Análisis de Área Foliar 85
5.7.1 Área foliar. 86

5.8 Análisis Número de Hojas. 86

5.8.1 Número de hojas. 87

5.9 Conductancia Estomática. 88

5.10 Temperatura Foliar. 89

5.11 Eficiencia Fotosintética. 90

5.12 Humedad Relativa. 91

5.13 Análisis General. 92

6 Discusión 93

7 Conclusiones 95

8 Recomendaciones 96

Referencias Bibliográficas 97

Apéndices 101

Índice de Tablas

Pág.

Tabla 1. Tratamientos propuestos para el experimento. 40
Tabla 2. Resumen análisis de varianza. 41
Tabla 3. Fechas en las cuales se realizó la toma de datos en campo. 43
Tabla 4. Análisis del ANOVA y Tukey de la germinación. 51
Tabla 5. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 1 de medición para alturas 53
Tabla 6. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 2 de medición para alturas 55
Tabla 7. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 3 de medición para alturas 56
Tabla 8. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 4 de medición para alturas 58
Tabla 9. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 5 de medición para alturas 60
Tabla 10. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 6 de medición para alturas 62
Tabla 11. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 7 de medición para alturas 63
Tabla 12. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 8 de medición para alturas 64
Tabla 13. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 9 de medición para alturas 66
Tabla 14. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 10 de medición para alturas 67
Tabla 15. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 1 de medición para diámetros. 69
Tabla 16. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 2 de medición para diámetros. 70
Tabla 17. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 3 de medición para diámetros. 71
Tabla 18. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 4 de medición para diámetros. 73
Tabla 19. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 5 de medición para diámetros. 74
Tabla 20. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 6 de medición para diámetros. 75
Tabla 21. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 7 de medición para diámetros. 77
Tabla 22. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 8 de medición para diámetros. 79
Tabla 23. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 9 de medición para diámetros. 81
Tabla 24. Análisis de varianza correspondiente a la fecha 10 de medición para diámetros. 83

Índice de figuras

Pág.

Figura 1. Drupa de teca (Tectona grandis L.F.). 23
Figura 2. Espectro de absorción de pigmentos. 27
Figura 3. Mapa de localización del área de estudio. 46
Figura 4. Distribución general de las bandejas en el espacio del experimento. 47
Figura 5. Porcentaje de germinación. 48
Figura 6. Número de Semillas Germinadas por tratamiento. 49
Figura 7. Porcentaje de mortalidad por cada tratamiento estudiado. 52
Figura 8. Gráfico de cajas correspondiente a la Fecha 1 de medición para alturas. 54
Figura 9. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 2 de medición para alturas para alturas. ... 56
Figura 10. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 3 de medición para alturas. 57
Figura 11. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 4 de medición para alturas. 59
Figura 12. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 5 de medición para alturas. 61
Figura 13. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 6 de medición para alturas. 62
Figura 14. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 7 de medición para alturas. 64
Figura 15. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 8 de medición para alturas. 65
Figura 16. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 9 de medición para alturas. 67
Figura 17. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 10 de medición para alturas. 68
Figura 18. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 1 de medición para diámetros 70
Figura 19. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 2 de medición para diámetros 71
Figura 20. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 3 de medición para diámetros 72
Figura 21. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 4 de medición para diámetros 74
Figura 22. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 5 de medición para diámetros 75
Figura 23. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 6 de medición para diámetros 76
Figura 24. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 7 de medición para diámetros 78
Figura 25. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 8 de medición para diámetros 80
Figura 26. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 9 de medición para diámetros 82

Figura 27. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 10 de medición para diámetros..... 84
Figura 28. Área foliar expresada en cm^2..... 85
Figura 29. Porcentaje de área foliar. 85
Figura 30. Porcentaje número de hojas. 86
Figura 31. Número de hojas..... 87
Figura 32. Conductancia estomática. 88
Figura 33. Temperatura foliar. 89
Figura 34. Valores de eficiencia fotosintética..... 90
Figura 35. Humedad del sustrato. 91
Figura 36. Datos generales..... 92

Listado de apéndices

Pág.

Apéndice A. Formato recolección de datos en campo para las variables germinación, altura, diámetro. 101

Apéndice B. Formato para la recolección de datos en campo de las variables: (Número de hojas, Área foliar, conductancia estomática y eficiencia fotosintética) 102

RESUMEN

TITULO: EFECTOS DE LOS DIFERENTES RANGOS DE LONGITUD DE ONDA SOBRE LA GERMINACIÓN Y CRECIMIENTO INICIAL EN LA ESPECIE TECA (*Tectona grandis* L.f)[1].

AUTOR: EDER YAIR ANDRÉS BERMÚDEZ VEGA
JAMES FERLEY CASTAÑEDA TORRES[2].

PALABRAS CLAVES: GERMINACIÓN, LUZ, SUSTRATO, COBERTURA, ALTURA, DIÁMETRO, *Tectona grandis.*

DESCRIPCIÓN:

Tectona grandis L.f es una especie originaria de los bosques tropicales asiáticos, introducida en Colombia a mediados de los años cincuenta con fines de aprovechamiento forestal, debido a su rápido crecimiento y calidad de madera. En el presente estudio se analizó el efecto de cuatro coberturas de color, y tres diferentes sustratos en el crecimiento y germinación de la teca, en una finca del municipio de Capitanejo (Santander). Entre los meses de septiembre de 2018 y diciembre de 2018 cada una de las combinaciones de color y sustrato arrojaron 12 tratamientos los cuales se dispusieron de forma aleatoria en un área con la mayor disposición de luz solar, se procedió a realizar 3 réplicas de cada tratamiento que en total sumaron 36 bandejas cada una con 18 semillas plantadas. Se dispuso a registrar cada 10 días después de la fecha de plantación el registro de germinación, adicionalmente se registró, la altura de las plántulas germinadas y diámetro después de los 5cm de altura. Además, en la última fecha de toma de datos se adiciono el registro en el número de hojas, área foliar, conductancia estomática y actividad fotosintética.
Los resultados muestran que los mayores porcentajes de estos factores los presento el tratamiento número dos tierra-arena y cobertura transparente, y que en general la cobertura más adecuada fue la transparente. El sustrato con los resultados más constantes y homogéneos fue el de tierra arena sin importar las coberturas usadas.

[1] Trabajo de Grado.

[2] Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: DÍAZ LÓPEZ, Sandra Milena. MS.c En Manejo, Uso y Conservación de Bosques.

ABSTRACT

TITLE: EFFECTS OF DIFFERENT WAVE LENGTH RANGES ON GERMINATION AND INITIAL GROWTH IN THE TECA SPECIES *Tectonca grandis* L.f.[3]

AUTHOR: EDER YAIR ANDRÉS BERMÚDEZ VEGA
JAMES FERLEY CASTAÑEDA TORRES[4].

KEYWORDS: GERMINATION, LIGHT, SUBSTRATE, COVERAGE, HEIGHT, DIAMETER & *Tectona grandis.*

DESCRIPTION:

Tectonca grandis is a species native to Asian tropical forests, introduced in Colombia in the mid-fifties for the purpose of forest exploitation, due to its rapid growth and quality of wood. In the present study, the effect of four color coverages, and three different substrates on the growth and germination of teak, was analyzed on a farm in the municipality of Capitanejo (Santander). Between the months of September 2018 and December 2018 each of the combinations of color and substrate yielded 12 treatments which were randomly arranged in an area with the greatest sunlight, three replicas of each treatment were made. that in total they added 36 trays each with 18 seeds planted. The registration of germination was arranged every 10 days after the planting date, and the height of the germinated seedlings and diameter after 5cm of height was recorded. In addition, on the last date of data collection, the record was added to the number of leaves, leaf area, stomatal conductance and photosynthetic activity.
The results show that the highest percentages of these factors were presented by the number two earth-sand treatment and transparent coverage, and that in general the most adequate coverage was transparent. The substrate with the most constant and homogeneous results was that of sand ground regardless of the coverages used.

[3] Bachelor Thesis.
[4] Instituto de proyección Regional y Educación a Distancia. Programa de Ingeniería Forestal. Director: DÍAZ LÓPEZ, Sandra Milena. MS.c. En Manejo, Uso y Conservación de Bosques.

Introducción

La teca (*Tectona grandis* L.f.*)* es una especie originaria de la India, Myanmar, La república Popular Lao y Tailandia, también se puede encontrar al sur de la línea ecuatorial, en Java y algunas islas del archipiélago Indonesio donde probablemente fue introducida entre unos 400 a 600 años atrás. Se puede encontrar en bosques monzónicos, bosque seco tropicales y en bosques húmedo tropical (Pandey y Brown, 2000).

En Colombia su introducción la realizo la empresa petrolera la Texas Petroleum Company a mediados de la década de los cincuenta, los primeros árboles se sembraron en el Magdalena medio, específicamente en el municipio de Puerto Boyacá (Goméz, 2015). En Colombia la plantación y siembra de la Teca se hace con unas condiciones ambientales iguales o muy parecidas a las observadas en estado natural (Redacción agropecuaria, 2015), en su distribución natural los requerimientos ambientales de la especie son de temperaturas entre los 13 a 17°C como mínima y una temperatura máximas de 39 a 43°C, la altura a la que se encuentra va desde los 0 a los 1000 msnm, con precipitaciones entre 1250 a 3750 mm/año (Pandey y Brown, 2000). Sin embargo, las mejores condiciones para la producción de madera se dan entre los 0-1000 m de altitud precipitaciones anuales de 1250 mm a 3750 mm y temperaturas de 13 a 40 °C (Krishnapillay, 2000).

La madera de la teca es muy apreciada por su calidad al ser fina y dura, tasa de crecimiento, una demanda en aumento y facilidad en técnicas silvícolas (Cespédes, 2013), con una densidad que varía según las condiciones de suelos, clima y edad del árbol con valores entre máximos de 700-1050kg/m³ y mínimos entre los 375 a 680 kg/m³ (Moya, Berrocal, Serrano, y Tomazello,

2009) , estas y muchas más características que presenta la especie la hacen una de las especies más valoradas y valiosas a nivel mundial.

1 Objetivos

1.1 Objetivo General

Estimar el efecto de la aplicación de diferentes longitudes de onda de luz en la germinación y crecimiento inicial de la Teca (*Tectona grandis*)

1.2 Objetivos Específicos

Evaluar la germinación de las plantas en un ambiente acondicionado desde el sustrato hasta la incidencia de la luz.

Estudiar la respuesta de las variables morfológicas (altura, diámetro, tamaño foliar, eficiencia de la fotosíntesis) en *Tectona grandis*, bajo diferentes cubiertas plásticas.

2 Planteamiento del Problema

2.1 Definición del Problema

Al querer optimizar la producción siempre se indagan y buscan los elementos que pueden llegar a influenciarla y posteriormente se identifican aquellos que pueden ser controlados, por ejemplo, dosis de fertilización y riego. Sin embargo, es necesario prestar atención a los factores importantes que afectan directamente a las etapas de producción, como es el caso de la luz y la gamma de condiciones que representa, por ejemplo; el tiempo de exposición, intensidad, longitud de onda, entre otros, sin mencionar todo su efecto en procesos como fotosíntesis, respiración, transpiración, entre otros. Al tratar de analizar qué efectos tienen en la planta esta diversidad de condiciones se puede llegar a hacer un manejo óptimo, al ser controlados en vivero en la fase de germinación y crecimiento antes de su establecimiento, se puede llegar a reducir los tiempos en vivero, cantidad de riego, uso de fertilizantes, y en consecuencia una reducción en los costos de producción a nivel global de la actividad impactando directa e indirectamente en los diferentes componentes que conforman la puesta en marcha de una plantación forestal o agroforestal.

2.2 Justificación

El enfoque que se tiene actualmente para el aumento de la producción en las actividades forestales, agroforestales y las agrícolas, han dado grandes frutos y avances; estas investigaciones no son sencillas de realizar debido a que estos resultados se reciben a largo plazo y en consecuencia los

costos y el tiempo son elevados, más cuando se hace referencia a especies de porte arbóreo cuyo crecimiento o aprovechamiento es de años después de la siembra.

Son indiscutibles los altos índices de productividad que han brindado estas investigaciones, pero aún hay un camino largo por recorrer para que estas actividades conduzcan a una mayor productividad, entendida como un mayor crecimiento arbóreo en un menor tiempo. Una de las etapas susceptibles a ser mejorada en este proceso, es la producción en vivero donde la germinación y el crecimiento inicial de los individuos, se estimula con diversas técnicas que pueden llegar optimizar los crecimientos obtenidos en estas primeras etapas, pero, no se han explorado la totalidad de las técnicas y tecnologías que pueden ser aplicadas a esta fase temprana de producción. Es sabido que los tiempos de una planta en vivero varían según el procedimiento que se lleve a cabo, para el trasplante de las plantas de la cama germinadora a las bolsas o envases seleccionados previamente el tiempo de esto oscilan entre los 30 y los 60 días (Rodríguez, 2010) los cuales dependerán del cómo se desarrolla la panta en estos lapsos de tiempo.

Esta investigación, se realizó con el fin de crear un método igualmente efectivo, de mucho menor costo y con resultados casi inmediatos en el crecimiento y desarrollo de una plantación forestal, enfocada en determinar si la exposición con diferentes longitudes de onda del espectro visible de luz, por medio de cubiertas de diferentes colores; desde la etapa de germinación, incide o no en un mayor crecimiento y vigor del material vegetal, y así plantear la posibilidad de que en vivero se empleen no sólo diferentes grados de sombra, sino también el uso de estas cubiertas y sean parte activa del proceso productivo.

Se realizó un seguimiento desde la etapa de germinación, realizando mediciones que evidencien los cambios que se presenten a través del tiempo, como alturas, diámetros, área foliar, tasa de

fotosíntesis y que nos permitan determinar si se hallan diferencias entre los tratamientos que queremos implementar.

3 Marco Referencial

3.1 Marco Teórico.

3.1.1 *Tectona grandis* L.f. Esta especia es originaria de bosques deciduos húmedos y secos del trópico de la India, Lao, Myanmar (Burma) y Tailandia. Se desarrolla en áreas con una precipitación de 760 a 5000 mm, aunque su desarrollo ideal se da entre los 1300 y 3800 mm, con una estación seca definida. (White, 1991). La Teca fue introducida en 1913 a Trinidad por medio de semillas procedentes de Birmania (Beard, 1943). Por medio de esta procedencia se ha logrado ampliar su distribución, exportando esta semilla desde Trinidad a Belice, Antigua, República Dominicana, Jamaica, Costa Rica, Cuba, Colombia, Venezuela, Haití, Puerto Rico, Ecuador, Guayana Francesa y México. también se han establecido plantaciones en Brasil, Perú, el Salvador y Honduras, entre otros lugares (Keogh y Whitmore, 1980).

Según Keogh (2009) La teca (*Tectona grandis* L. f.) es catalogada como la especie maderera tropical más plantada en el mundo. Se estima que esta especie comprende un 74% del total de las plantaciones de maderas duras en el mundo, equivalente a 5'819.000 ha aproximadamente.

3.1.1.1 Características. De acuerdo con la FAO (2000), *Tectona grandis* es un árbol grande, que puede alcanzar en su hábitat natural 60 m de altura, de copa redondeada y hojas caducas de gran tamaño. Cuando se desarrolla en condiciones favorables logra tener un fuste cilíndrico alto y limpio de aproximadamente 25 metros de altura. Además, normalmente suelen aparecer contrafuertes en la base del árbol. Por otra parte, la Teca presenta una dominancia apical, la cual se pierde cuando alcanza la madurez o cuando florece a temprana edad (Benthall, 1946; Streets, 1962). Las hojas son opuestas, grandes, generalmente de 11 a 85 cm de largo y de 6 a 50 cm de ancho, con peciolos gruesos, limbos membranáceos o subcoriáceos, nervios prominentes en ambas caras (Aristeguieta, 1973; López, 1977).

3.1.1.2 Estructura de la Semilla de Teca. En la siguiente figura se muestra la estructura de la semilla de la especie teca (*Tectona grandis* L.F.) con las respectivas partes que la conforman.

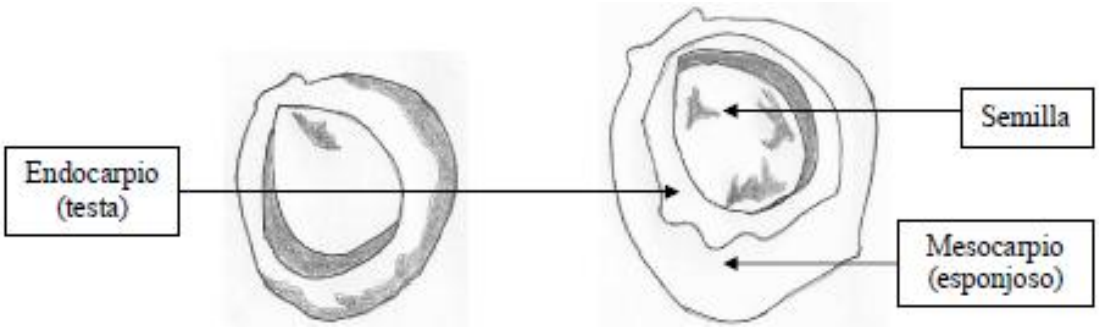

Figura 1. Drupa de teca (*Tectona grandis* L.F.). *Representación esquemática de la semilla en su sección media.* Adaptado de Willan, R. (1991) / *Guía para la manipulación de semillas forestales con especial referencia a los trópicos*. Roma, Italia: FAO.

La especie se caracteriza por tener unas semillas aceitosas, estas son generalmente de un tamaño de cinco (5) a seis (6) milímetros, los frutos pueden contener una o hasta cuatro semillas (Willan, 1991).

3.1.1.3 Germinación. La germinación que presenta la especie teca (*Tectona grandis* L.F.) es de tipo epigea la cual frecuentemente empieza a generarse a los 10 o 12 días posteriores a la siembra, sus porcentajes de germinación son variables entre el 10 y 80% (Weaver, 1993).

3.1.2 Respuestas de las plantas a la luz. El comportamiento de la planta a la influencia de la luz dependerá de la calidad, intensidad y tiempo a la cual se expondrán dichas plantas, tanto así que llega a condicionar, estimular o inhibir cambios morfológicos y fisiológicos. Las propiedades fotosintéticas de la hoja variaran según la disposición, exposición y duración de la luz (Bidwell, 1993).

La planta no tiene la capacidad de absorber todo el espectro de luz, solo ciertos rangos del espectro visible “rango de absorción”, este es el espectro visible el cual tiene longitudes de ondas que van desde los 380nm (azul) a los 780nm (rojo). Cuando se habla de longitudes de ondas se habla de la energía electromagnética que tiene dicha onda por lo tanto cada longitud posee una energía diferente entre estas, y los pigmentos que poseen las plantas absorben ciertas longitudes ya que cada pigmento necesita de cierta cantidad de energía para llegar a un nivel de excitación subatómico permitiendo así la transformación de la energía lumínica en química y su posterior almacenamiento (Gómez, 2014).

En presencia de luz las plantas tienen la propiedad de fijar CO_2 para realizar el proceso de fotosíntesis, mientras que en oscuridad no hay dicha asimilación y la planta libera CO_2 debido a

la respiración que esta realiza, a medida que se incrementa la cantidad de luz a la que se expone la planta esta asimilación aumenta hasta el punto de igualar al CO2 liberado por la respiración mitocondrial, este punto de equilibrio se denomina punto de compensación de la luz. Este punto dependerá de la especie y de la etapa de desarrollo de la misma (Bidwell, 1993).

El aumento de la luz "aumento del flujo fotónico" sobre este punto de equilibrio indica un aumento proporcional de la tasa fotosintético, debido a que a más luz estimula una mayor fotosíntesis (Losada, 1977).

La exposición prolongada a la luz en las plantas da como consecuencia el aumento de la temperatura en las hojas de esta; tal es el caso que si se tiene una hoja con un espesor de 300µm la temperatura aumentaría 100°C por minuto si no se disipa la energía y es absorbida en su totalidad. Sin embargo la hoja tiene varios mecanismos que puede disipar el calor que son por la emisión de radiación de longitud de onda larga, perdida discreta del calor y por la evaporación del agua (Taiz y Zeiger, 2007).

La sobre exposición de las plantas a la luz puede provocar una inhibición en los fotosistemas este fenómeno se llama fotoinhibición y se da de dos formas una dinámica y otra crónica. En la fotoinhibición dinámica es debido a un exceso moderado de luz no tiene repercusiones en ningún sistema fotosintético, caso contrario a la fotoinhibición crónica la cual se produce por exposición elevada de luz, dañando así los sistemas fotosintéticos y disminuye tanto la eficiencia cuántica como la fotosíntesis (Barrera, Suárez, y Melgarejo, 2010)

Un aspecto importante a tener en cuenta es la respuesta a la luz en la germinación de las semillas, denominado fotoblastismo, este fenómeno consiste en que la luz estimula la germinación de la semilla siendo así un fotoblastismo positivo; si se inhibe la geminación será fotoblastismo negativo. Las semillas no fotoblasticas son las que su germinación es indiferente a la luz, la

cantidad de luz mínima que llega a estimular la germinación varía según la especie y de otros factores (Pérez, 2007).

3.1.3 Cloroplastos y pigmentos. Para que estos procesos se lleven a cabo es necesario la intervención de ciertos pigmentos y orgánulos propios de las plantas y organismos fotosintéticos, estos se dividen en dos grupos los que absorben la luz y la transportan, y los que son parte del mecanismo donde se realiza la reacción fotosintética transformación de moléculas inorgánicas a orgánicas (Medina, De Bifano, y Delgado, 1976).

Las plantas cuentan con orgánulos celulares llamados cloroplastos que se encargan de la fotosíntesis. Este está provisto de 2 membranas que lo delimita completamente, la cavidad interna del cloroplasto es llamada estroma en el cual mediante unas proteínas de las que está provisto se da las reacciones necesarias para la fijación del CO2. A su vez esta está conformados por los tilacoides en el que se da la captación de los fotones de la luz gracias a los pigmentos fotosintéticos clorofila, carotenoides, xantofilas, dependiendo de la especie que se estudie. Ahí es donde entra en acción los sistemas fotosintéticos (Bustos, 2009).

La donación de electrones por parte de la luz activa dos sistemas en la planta llamados fotosistemas I y II (PSI, PSII), en el PSII el agua cederá electrones produciendo una separación de cargas que genera O2 como producto. En el fotosistema PSI el elemento reducido donara un electrón que adquirió anteriormente; a la ferredoxina usado para reducir el NADP+, que termina siendo usado en la conversión de CO2 a carbohidratos. Este flujo de electrones del fotosistema I al II está ligado a la transferencia de electrones (Barrera *et al.*, 2010).

Los principales pigmentos involucrados en estos procesos son la clorofila a, clorofila b y los β-carotenos los cuales absorben longitudes de ondas específicos, esta condición se da por los grupos

funcionales que cada uno de estas moléculas tiene asociadas a su estructura, cada uno de estos pigmentos cumplen una función importante en la planta al realizar diversas tareas, la clorofila a es la encargada de convertir la energía lumínica en química (Reol, 2003).

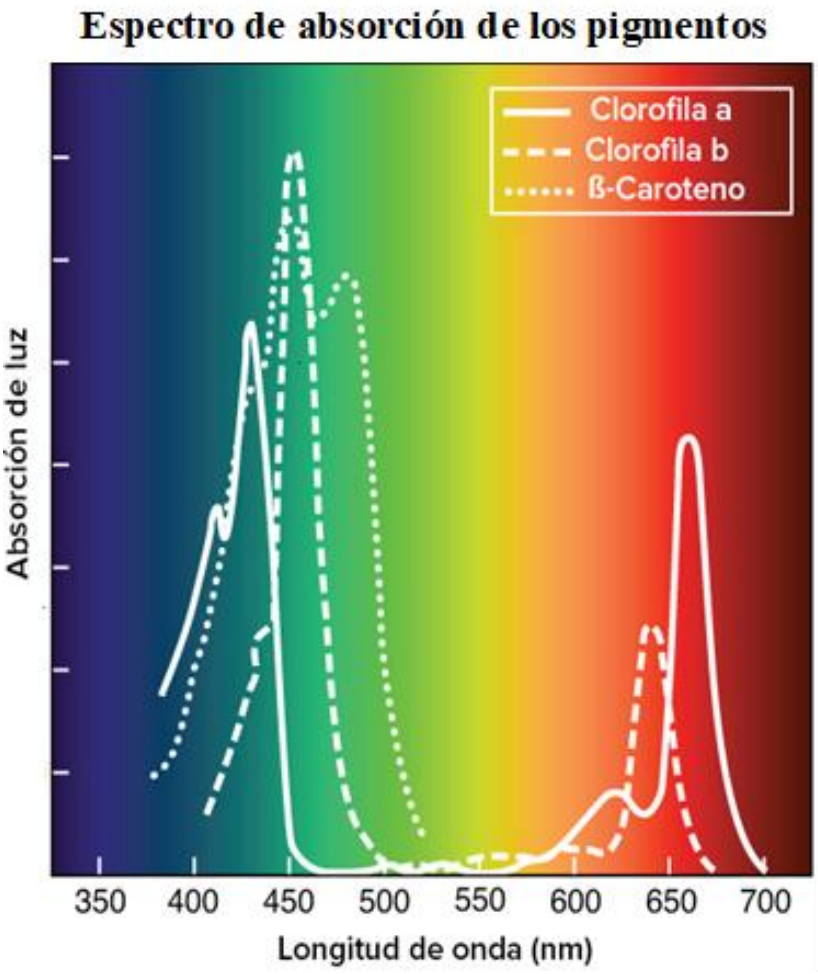

Figura 2. Espectro de absorción de pigmentos. Nota: Adaptado de Khan Academy (2018) / *Luz y pigmentos fotosintéticos*.: Khan Academy. Recuperado de https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments.

3.2 Marco Conceptual.

3.2.1 Semilla. La semilla es una unidad reproductiva la cual se desarrolla a partir de un ovulo, generalmente una vez haya sido fecundado (Willan, 1991).

3.2.2 Cubierta seminal. Es la estructura que rodea y protege a las partes internas de la semilla de daños físicos y bióticos procedentes del exterior. Dicha estructura se compone de partes que integran el o los tegumentos del óvulo constituyéndose en la cubierta de la semilla madura (Niembro, 1988).

3.2.3 Endospermo. Tejido de almacenamiento de sustancias nutritivas, constituido por diversas sustancias como carbohidratos (almidones y hemicelulosa), proteínas y lípidos. Todas estas sustancias son usadas por el embrión durante su germinación y luego por la plántula para las primeras etapas de crecimiento y desarrollo (Niembro, 1988).

3.2.4 Embrión. El embrión es una planta en miniatura que se origina de la fusión de uno de los núcleos espermáticos, procedentes del grano de polen, con la oosfera del saco embrionario. En las semillas dicotiledóneas el embrión está constituido por un eje y las dos primeras estructuras foliares, es decir, los cotiledones (Niembro, 1988).

3.2.5 Pureza física. Para conocer la pureza física se debe determinar la composición en cuanto a peso de la muestra , sobre el componente de la semilla pura ,logrando hacer referencia a la semilla de dicha especie que se encuentre en estudio (Willan, 1991).

3.2.6 Viabilidad. Según Lohse (1997), la viabilidad es la capacidad que pueden tener algunas semillas para permanecer vivas durante un tiempo estando en dormancia y así poder germinar cuando se apliquen métodos de pregerminación.

3.2.7 Energía germinativa. Según Quenallata (2008) señala que la energía germinativa es el porcentaje de semillas de una muestra las cuales han germinado por día hasta llegar a su máximo, también se entiende como la rapidez de germinación en un determinado periodo de tiempo el cual se denomina periodo energético.

3.2.8 Periodo de energía. Se define el periodo de energía como el número de días los cuales trascurren desde el día de la siembra hasta el día que se logra alcanzar la máxima germinación de las semillas de un lote el cual está en unas determinadas condiciones (Quenallata, 2008).

3.2.9 Sanidad. Según Anderson y Leach (1962), el estado sanitario de las semillas se refiere a la presencia o ausencia de enfermedades y parásitos.

3.2.10 Clases de germinación. (Rodriguez, 1985), menciona que el proceso de germinación no es uniforme en todas las semillas, existen dos tipos de germinación: germinación epigea e hipogea. Al mismo tiempo hay diferencias entre la germinación de semillas monocotiledóneas y dicotiledóneas.

3.2.11 Germinación epigea. En la germinación epigea, tras la sujeción de la planta joven por la radícula se produce un rápido alargamiento del hipocótilo, que se arquea hacia arriba por encima de la superficie del suelo y después se endereza; al mismo tiempo, se hacen visibles los cotiledones y la plúmula, a los que puede estar todavía unida o no la cubierta seminal. Después la plúmula se convierte en el tallo primario y las hojas fotosintéticas (Rodriguez, 1985).

3.2.12 Germinación hipogea. En la germinación hipogea, los cotiledones permanecen in situ enterrados o sobre el suelo mientras se produce el alargamiento de la plúmula. En la germinación hipogea los cotiledones tienen únicamente una función de almacenamiento de nutrientes (Rodriguez, 1985)

3.2.13 Latencia. La latencia física corresponde a una condición morfológica, que impide la germinación de la semilla, normalmente se relaciona con la conformación de la cubierta, manifestándose en ocasiones tan dura, que no permite el desarrollo del embrión. (Goitia, 2003)

3.2.14 Tratamientos pregerminativos. Según Goitia (2003), los tratamientos pregerminativos son técnicas que permiten superar el bloqueo natural que se presenta para la germinación o con el fin de lograr que sea uniforma dicha germinación. Algunas de las técnicas usadas pueden ser estratificación en arena, escarificación mecánica, remojo en agua, la utilización de algunos ácidos, hormonas de procedencia vegetal.

3.2.15 Estratificación. La estratificación se debe realizar dentro de una cama de germinación la cual debe esta humedecida a capacidad de campo en donde las semillas deben ser colocadas en forma densa para luego cubrirlas con el mismo sustrato de la cama germinativa (Seino, 1971)

3.2.16 Escarificación. La escarificación es cualquier proceso donde se logre romper, rayar, alterar mecánicamente o ya sea ablandar la cubierta de las semillas para lograr que estas sean permeables al agua y a los gases (Patiño, 1983).

3.2.17 Fotosíntesis. La fotosíntesis es el proceso primordial mediante el cual las plantas y seres fotosintéticos capturan la energía del sol y la transforman en energía química; y así disponer de esta para la producción de compuestos orgánicos esenciales para su sustento. La energía lumínica adquirida del sol es la que permite en sí que sea posible la reacción química entre el CO_2 y el H_2O convirtiendo estos reactivos en productos como lo son azúcares ($C_6H_{12}O_6$) y oxígeno (O_2). En si la fotosíntesis es una reacción química endotérmica en la cual se hace evidente la gran importancia que tiene la intervención de la luz como la variable que hace posible este proceso. (Meyer, Anderson, Bohning, Guibert, y Pitterbarg, 1966)

3.2.18 La luz. La luz es componente principal y fundamental para que la fotosíntesis se lleve a cabo, debido a que proporciona la energía necesaria para este proceso. Es imposible el explicar el fenómeno de la luz como un solo elemento, ya que esta tiene un comportamiento de dualidad de onda-partícula, lo cual hace que su definición sea una labor difícil de realizar (Arias, 2008)

3.3 Marco Histórico.

Se han llevado a cabo diversos estudios en los cuales se han usado diferentes longitudes de ondas para saber que comportamientos llegan a tener las diferentes especies expuestas a estos factores, se han realizado estudios en países como Chile, Colombia, Brasil, entre otros. En los cuales fueron usadas especies como el Eucalipto, Teca, Brócoli, Pino, entre otros. Los cuales arrojaron los siguientes resultados:

Bustos (2009) en su estudio denominado "Ensayo de calidad lumínica en plantas de *Eucalyptus globulus, Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata* bajo cobertura de malla raschel y papel celofán de colores" el objetivo de dicho estudio fue estudiar el efecto de filtros y mallas raschel de color en plantas de *Eucalyptus globulus, Eucalyptus nitens* y *Pinus radiata* en condiciones de vivero. Su metodología consistió principalmente en realizar un ensayo en dos fases de crecimiento: recién emergida y hasta un año. Al instalar el vivero se evaluó el efecto de las cuatro mallas raschel de color: azul, verde, negro y blanco, con un 65% de cobertura, además de un tratamiento testigo. El estudio encontró que solo algunas mallas de colores modifican la calidad de luz (azul y verde), además se determinó que la calidad lumínica (celofán) afectó significativamente la tasa de germinación en las tres especies (rojo y azul, y también el crecimiento inicial de las plántulas de *E. globulus* recién emergidas.

En el estudio realizado por (Gómez, 2014) denominado “Efecto de la calidad espectral sobre el desarrollo vegetal de Salvia splendens variedad Vista Red and White”. El objetivo del estudio fue analizar el efecto de distintas calidades de luz sobre el desarrollo vegetal de las plantas, analizando cambios entre los tiempos a floración, número de brotes, altura, diámetro promedio y valores SPAD. Para la realización de este trabajo se conformaron tres ambientes para los cuales se utilizaron tres mini túneles y un ambiente sin túnel el cual fue el testigo ,los tipos de luz que se utilizaron para los ambientes fueron luz fluorescente(LFI), luz purpura(LP),luz azul(LA) y el tratamiento testigo(T), en cuanto a los resultados en la incidencia de la luz en el tiempo de germinación y floración e obtuvo que la luz fluorescente y la luz purpura obtuvieron un tiempo de floración más rápida que la luz azul y el testigo aunque en una semana la luz azul logro alcanzar a las otras aunque se puede observar que los tratamientos que involucran luz ,obtuvieron una floración más rápida, para las variables de número de brotes, altura ,diámetro y SPAD. En este estudio no se encontraron efectos significativos en cuanto a la influencia espectral sobre dichas variables

Estos resultados obtenidos nos hacen reflexionar acerca de que tan beneficiosos sería el usar diferentes coberturas en la germinación de especies en vivero.

Por otra parte, encontramos el trabajo realizado por (Marín, 2016) el cual tiene por título “estudio de la influencia de diferentes longitudes de onda de luz led en la germinación de una orquídea *Encyclia sp*”. Este estudio tuvo por objetivo estudiar la influencia de diferentes longitudes de onda de luz LED en la germinación de *Encyclia sp*. Específicamente, se buscó estudiar el efecto de la longitud de onda de luz LED blanca (40 µ. mol.m-2s -1), roja (625nm) y azul (470nm) en la germinación y primeras fases del crecimiento de las semillas. También fue propuesto, determinar

si existen diferencias significativas entre las diferentes longitudes de onda para los parámetros estudiados. La metodología que se plantea es primero observar la viabilidad de las semillas mediante el test de tetrazolio, se procede a la preparación del medio en el cual se va a cultivar, a partir de esto se procederá a evaluar la influencia de la longitud de onda en la germinación; se separara en 40 placas de forma aleatoria en tres grupos de 13, 14, 13 placas y colocadas bajo las luces con fotoperiodos de 12 horas y otras 12 horas cubiertas con papel aluminio para evitar influencias de otras fuentes de luces, completando un periodo de 50 días de tratamiento Luego estos 50 días de tratamiento, 6 placas de cada uno de los tratamiento son retiradas y contadas en estereomicroscopio Leica EZ4HD todas las semillas, clasificándolas en las categorías: primer estadío de germinación (doble del tamaño del embrión que de las semillas recién germinadas y protocormo no diferenciado), las que son de segundo estadío son aquellas en que se puede observar diferenciación de órganos (meristema del vástago y rizoides) y las no germinadas aquellas que no presentan diferencia con las semillas sembradas. La incidencia de las luces utilizadas no generó una diferencia que sea significativa en la germinación debido a que esta incidencia se presente más adelante en la plántula

3.4 Marco Jurídico, Normativo e Institucional.

- Constitución Política de Colombia Art. 79/1991, hace referencia a la protección de la diversidad e integridad del Medio Ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para lograr estos fines, (Asamblea Nacional Constituyente, 1991).

- Constitución Política de Colombia Art. 80/1991, se refiere a la planificación del manejo y el aprovechamiento de los recursos naturales por parte del estado, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución (Asamblea Nacional Constituyente, 1991).
- Ley 2da/1959. Por la cual se dictan normas sobre economía forestal de la Nación y conservación de recursos naturales renovables (Congreso de Colombia, 1959).
- Ley 99/1993 por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA, y se dictan otras disposiciones (Congreso de Colombia, 1993).
- Ley 165/1994 por medio de la cual se aprueba el "Convenio sobre la Diversidad Biológica", hecho en Río de Janeiro el 5 de junio de 1992 (Congreso de Colombia, 1994).
- Decreto Ley 2811/1974 por el cual se dicta el código nacional de recursos naturales renovables y de protección al medio ambiente, (Presidencia de Colombia, 1974).
- Decreto Ley 216/2003 por el cual se determinan los objetivos, la estructura orgánica del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial y se dictan otras disposiciones, (Presidencia de Colombia, 2003).
- Documento CONPES 2834/1996 por medio del cual se propone lograr un uso sostenible de los bosques con el fin de conservarlos, consolidar la incorporación del sector forestal en la economía nacional y mejorar la calidad de vida de la población, (Minambiente-DNP: UPA, 1996).
- Resolución 2457/2010, por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro de las personas que se dediquen a la producción y comercialización de semillas para siembra y plántulas de especies forestales y se dictan otras disposiciones (Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), 2010b) .

- Resolución 1167/2010, Por medio de la cual se establecen los requisitos para el registro y control de personas que se dediquen a la comercialización de insumos agropecuarios y/o semillas para siembra a través de establecimientos de comercio (Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), 2010a)
- Resolución 3168/ 2015, Por medio de la cual se reglamenta y controla la producción, importación y exportación de semillas producto del mejoramiento genético para la comercialización y siembra en el país, así como el registro de las unidades de evaluación agronómica y/o unidades de investigación en fitomejoramiento y se dictan otras disposiciones (Instituto Colombiano Agropecuario (ICA), 2015).

4 Metodología

Para determinar el comportamiento que presenta la especie *Tectona grandis* L.f respecto a diferentes sustratos e influencia de la luz con diferentes longitudes de onda, se realizó una prueba de viabilidad y mediciones periódicas de variables como: germinación, diámetro, altura, área foliar, número de hojas, entre otras. Con el fin de observar la influencia de cada uno de los tratamientos en la fase inicial de desarrollo de la especie. Las fases para lograr los objetivos planteados en la investigación son las siguientes:

4.1 Fase 1: Revisión de Información Secundaria y Delimitación del Área de Estudio.

4.1.1 Revisión de información secundaria. Se realizó la revisión bibliográfica a cerca de la especie *Tectona grandis* L.f. considerando sus generalidades, características principales, métodos pregermínatelos para la especie, fenología, características de la semilla, entre otras. Además, realizó una revisión literaria sobre influencia de la luz en el crecimiento de las plantas.

4.1.2 Visita de reconociendo. Una vez realizada la fase de revisión de información secundaria se realizó un reconocimiento en campo para conocer más de cerca las condiciones de la zona y determinar si el sitio cumplía con estas necesarias para el establecimiento del experimento.

4.1.3 Área de estudio. Para delimitar el área de estudio se tomaron las coordenadas sitio, además, se investigaron las condiciones climáticas de esta, tales como altitud, temperatura, humedad y precipitación. Asimismo, se asignó el lugar para la implementación del experimento.

4.2 Fase 2: Elección de Sustratos y Coberturas de Colores.

4.2.1 Elección del sustrato. El sustrato se eligió considerando estudios previos y los requerimientos de la especie para su desarrollo. Para la implementación del experimento se usaron tres diferentes sustratos, compuestos de la siguiente manera:

Sustrato 1. Está formado por tres porciones de arena y una porción de tierra negra.

Sustrato 2. Conformado únicamente por tierra negra.

Sustrato 3. Conformado en su totalidad por arena de rio.

4.2.2 Coberturas de colores. Considerando las longitudes de onda que conforma el espectro visible, se usaron diferentes tipos de coberturas, así:

Color de cobertura roja. la cual se encuentra entre 618-780nm.

Color de cobertura azul. se encuentra ente 570-581nm.

Color de cobertura amarilla. se encuentra entre 427-476 nm.

Color de cobertura transparente. se encuentra entre 390-750 nm.

4.3 Fase 3: Implementación del Experimento

4.3.1 Compra de implementos e insumos. Los insumos adquiridos fueron los siguientes:

Semillas. Las semillas se adquirieron en la empresa forestal "El semillero". Se compró un kilogramo de semilla el cual contenía entre 1000 y 1400 semillas, cuyas características fueron: un 95% de pureza, semillas escarificadas e importadas del CATIE.

Plásticos. Se compraron 4 rollo de plástico de diferentes colores (amarillo, rojo, azul y transparente), de dimensiones 3 x 1,5 metros, con las especificaciones requeridas para el experimento. (calibre del plástico 55)

Bandejas. Se adquirieron bandejas de plástico ideales para vivero. cada bandeja presentó dimensiones de 55 cm de largo x 29 cm de ancho y 21.8 cm de profundidad, con un volumen de 800 cm^3 y 18 cavidades.

Sustrato. el sustrato se adquirió en el vivero cercano. Se compraron 0.40 m^3 de arena y 0.30 m^3.

4.3.2 Desinfección del sustrato. La desinfección del sustrato realizó usando 1 litro de formol al 20% de concentración por cada 0.15 m^3 de sustrato. Una vez se aplicó el formol se mezcló para lograr uniformidad, posteriormente se cubrió con un plástico y se dejó por un periodo de tres días, pasado este tiempo se retiró el plástico. La siembra se realizó una vez el sustrato no presentaba olor a formol.

4.3.3 Viabilidad de la semilla. Para determinar la viabilidad de la semilla se realizó una prueba de germinación, la cual consistió en sembrar 100 semillas en sustrato de tres partes de arena por una de tierra.

4.3.4 Llenado de bandejas. El llenado de bandejas se realizó de la siguiente manera: Por cada sustrato se llenaron 12 bandejas, para un total de 36 bandejas.

4.3.5 Distribución del modelo en el espacio del experimento. Los tratamientos y sus repeticiones se distribuyeron de forma aleatoria en el espacio del experimento. Para garantizar la aleatoriedad del experimento se usó el programa Excel®.

4.3.6 Siembra. Una vez concluida la desinfección del sustrato y la distribución aleatoria de los diferentes tratamientos con sus respectivas repeticiones se realizó la siembra el 17 de septiembre de 2018. En total se sembraron 18 semillas por bandeja, en 36 bandejas, para un total de 648 semillas. La profundidad de siembra fue de 0.5 cm. Tal como lo establece el semillero en los métodos de siembra para Teca. Después de la siembra se procedió a realizar un riego ligero.

4.3.7 Método de Riego. El riego se realizaba cada 24 o 36 horas asegurándose que el sustrato permaneciera húmedo. Se realizaba a las 5:00 de la mañana o a las 7:00 de la noche asegurando que la semilla no quedara al descubierto.

4.4 Fase 4: Diseño Experimental.

4.4.1 Modelo estadístico y análisis de varianza. El diseño propuesto consiste en bloques al azar, en el cual, se consideran siete factores (germinación, mortalidad, altura, diámetro, número de hojas, área foliar, eficiencia fotosintética y conductancia estomática) en doce tratamientos y 3 repeticiones. Los sustratos usados se definieron anteriormente.

Los tratamientos propuestos fueron los siguientes:

Tabla 1.
Tratamientos propuestos para el experimento.

Tratamientos	Descripción
T_1	Color de cobertura trasparente, sustrato usado tierra-arena.
T_2	Color de cobertura trasparente, sustrato empleado tierra.
T_3	Color de cobertura trasparente, sustrato arena.
T_4	Color de cobertura azul, sustrato usado tierra-arena.

Tratamientos	Descripción
T_5	Color de cobertura azul, sustrato empleado tierra.
T_6	Color de cobertura azul, sustrato arena.
T_7	Color de cobertura amarillo, sustrato tierra-arena.
T_8	Color de cobertura amarillo, sustrato empleado tierra.
T_9	Color de cobertura amarillo, sustrato arena.
T_{10}	Color de cobertura rojo, sustrato usado tierra-arena.
T_{11}	Color de cobertura rojo, sustrato empleado tierra.
T_{12}	Color de cobertura rojo, sustrato arena.

Descripción de cada uno de los tratamientos.

El modelo matemático empleado para el análisis de datos está diseñado de la forma:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} , es la variable respuesta medida en las unidades experimentales
μ, es el efecto de la media general del experimento (constante),
τ_i, es el efecto de los *tratamientos* en estudio,
ε_{ij}, es el efecto aleatorio del *error* experimental.

Todos los cálculos del análisis para esta técnica nos llevan a una Tabla *2*.

Tabla 2.
Resumen análisis de varianza.

Fuente de Variación (F.V.)	Suma de Cuadrados (S.C.)	Grados de Libertad (g.l.)	Cuadrados Medios (C.M.)	F_o
Tratamientos	$SC_{TRATAMIENTOS}$	k - 1	$\frac{SC_{TRATAMIENTOS}}{k-1}$	$\frac{CM_{TRATAMIENTOS}}{CM_{ERROR}}$
Error	SC_{ERROR}	N - k	$\frac{SC_{ERROR}}{N-k}$	
Total	SC_{TOTAL}	N - 1	—	

4.4.1.1 Prueba de tukey. Esta prueba está diseñada para comparar todas las parejas posibles de medias, manteniendo a α, el error tipo I para todo el conjunto completo de comparaciones. El método se basa en utilizar el cuadrado medio del error, que se obtiene de un ANVA, para calcular un valor de referencia, ω, que se compara con las diferencias de cada par de medias, si el resultado es mayor que ω se asumen medias diferentes, en caso contrario se consideran semejantes o estadísticamente iguales.

La fórmula para su cálculo es:

$$\omega = q_{\alpha}(k,\nu)\sqrt{\frac{CM_E}{n_g}}$$

Donde:

k= número de tratamientos o niveles.

ν =grados de libertad asociados a CME, con v= n-k.

n_g = número de observaciones en cada uno de los ***k*** niveles (lo que implica un diseño balanceado).

α = nivel de significancia.

$q_{\alpha}(k, \nu)$ = valor de las tablas de Tukey (Rangos estudentizados de tukey).

4.5 Fase 5: Recolección de Información Primaria.

Esta fase comprende la captura de información de las variables propuestas para el estudio en la Tabla *3* se definen las fechas para la toma de datos en campo. A continuación, se describen cada una de ellas.

Tabla 3.
Fechas en las cuales se realizó la toma de datos en campo.

	Fechas
1	27-sep
2	7-oct
3	17-oct
4	27-oct
5	7-nov
6	17-nov
7	27-nov
8	7-dic
9	17-dic
10	27-dic

Equivalente de las fechas de medición

4.5.1 Germinación. En horas de la mañana diariamente se observaba la presencia de semillas germinadas. Esta observación se realizó por un periodo de 101 días. la información se consignó en un formato para recolección de datos como se muestra en el Apéndice *A.* Los valores de los resultados se expresaron en porcentaje (%), además, se consignó la fecha para determinar el periodo de germinación después de la siembra.

4.5.2 Altura. Después de la siembra, se tomaron intervalos de 10 días para hacer las mediaciones de las plántulas germinadas durante este tiempo. Los valores de medición se expresaron en centímetros y se realizaron con una regla. La información se consignó en el formato para recolección de datos (Apéndice *A*).

4.5.3 Medición del Diámetro. El diámetro se tomó cada 10 días a partir de la fecha de siembra. Además, la medición se realizó únicamente a plántulas con altura mayor o igual a 5 centímetros, a la altura de las primeras hojas verdaderas, tomándolas como referencia para las posteriores mediciones. El formato para toma de datos se muestra en él Apéndice A La medida se tomó con un pie de rey.

4.5.4 Número de hojas. Se realizó una única medición al terminar los 101 días. La medición consistió en contar las hojas a través de observación directa de cada una de las plántulas estudiadas. En el Apéndice B se muestra el formato para la recolección de datos en campo.

4.5.5 Área foliar. La medición de área foliar se realizó en todas las plántulas, al finalizar los 101 días del periodo establecido. Para llevar a cabo la medición se tomó una de las penúltimas hojas en salir de cada una de las plántulas. estas fueron cortadas y posteriormente se colocaron en hojas blancas donde se estableció una escala de medición, luego, para extender las hojas completamente se cubrieron con un vidrio de 12 x 12 cm y 3mm de espesor, con superficie esmerilada para evitar brillos. Para las fotografías se usó un teléfono celular y se ubicó a 18 cm de altura. Para el procesamiento de las imágenes se utilizó el software libre ImageJ (Versión 1.45) (Rasband, 2007). El formato de campo para la toma de datos se muestra en el Apéndice B.

4.5.6 Conductancia estomática. La conducticia estomática evaluar el estado hídrico de la planta, el balance de energía y las relaciones fotosintéticas. Los valores de conductancia se obtuvieron con la ayuda de un Porómetro.

El Apéndice B muestra el formato de campo usado para la captura de la información en campo.

4.5.7 Eficiencia fotosintética. La energía derivada de la absorción de la luz se utiliza en vías particulares, para lograr el resultado final de la síntesis de azúcares. Dado que se conocen las vías, se puede calcular la eficiencia máxima teórica. Los datos recolectados en campo se consignaron en el formato mostrado en Apéndice B.

5 Resultados

5.1 Aspectos Generales del Área de Estudio.

El área en la que se realizó el experimento: Efectos de los diferentes rangos de longitud de onda sobre la germinación y crecimiento inicial en la especie Teca (*Tectona grandis* L.f); se localiza en el departamento de Santander, municipio de Capitanejo, vereda Casa Blanca finca el Mango con coordenadas 6°29’50.21” – 72°40’46.50” sentido NW. La precipitación promedio del municipio es de 950 milímetros anuales y presenta una temperatura media de 25°C, se encuentra a una altitud de 1140 m.s.n.m, de acuerdo con el sistema de clasificación de zonas de vida según Holdridge (1987), el área de estudio corresponde a un Bosque seco tropical premontano (Bs-pm).

Se escogió este terreno para realizar el experimento, debido a que cumplía con las condiciones ambientales para el desarrollo de la teca (*Tectona grandis* L.f). En la Figura 3 se muestra el mapa de localización del área de estudio.

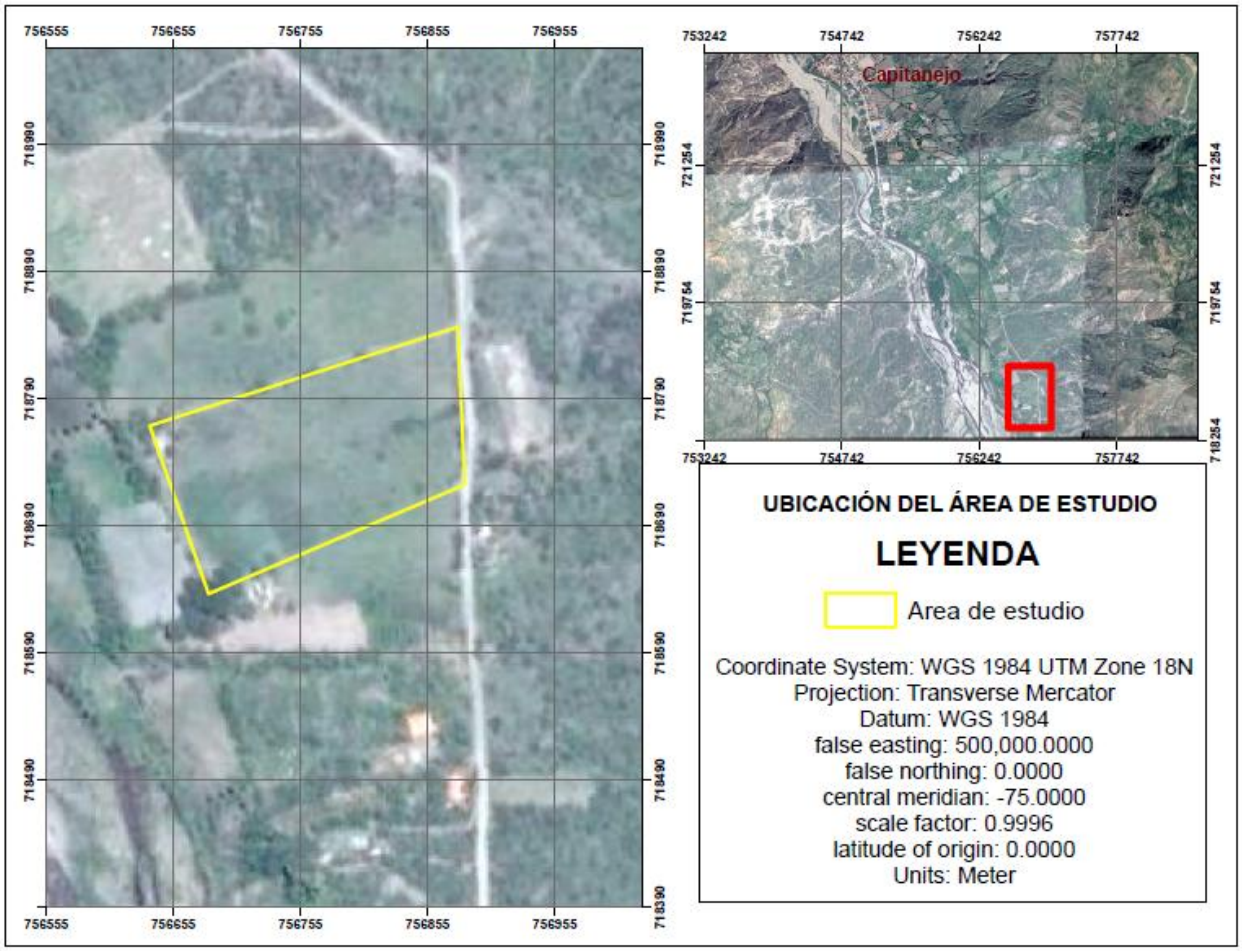

Figura 3. Mapa de localización del área de estudio.

5.2 Diseño Experimental.

El diseño del experimento consto de doce tratamientos los cuales estaban conformados por tres sustratos diferentes y cuatro colores, cada uno de estos estaba distribuidos en bandejas germinativas con capacidad de dieciocho semillas, se realizaron tres repeticiones, para un total de treinta y seis bandejas y un número total de 648 semillas, la distribución de cada bloque se hizo al azar, con ayuda del software Excel. Las distancias entre cada bandeja y cada bloque se especifican en la Figura 4.

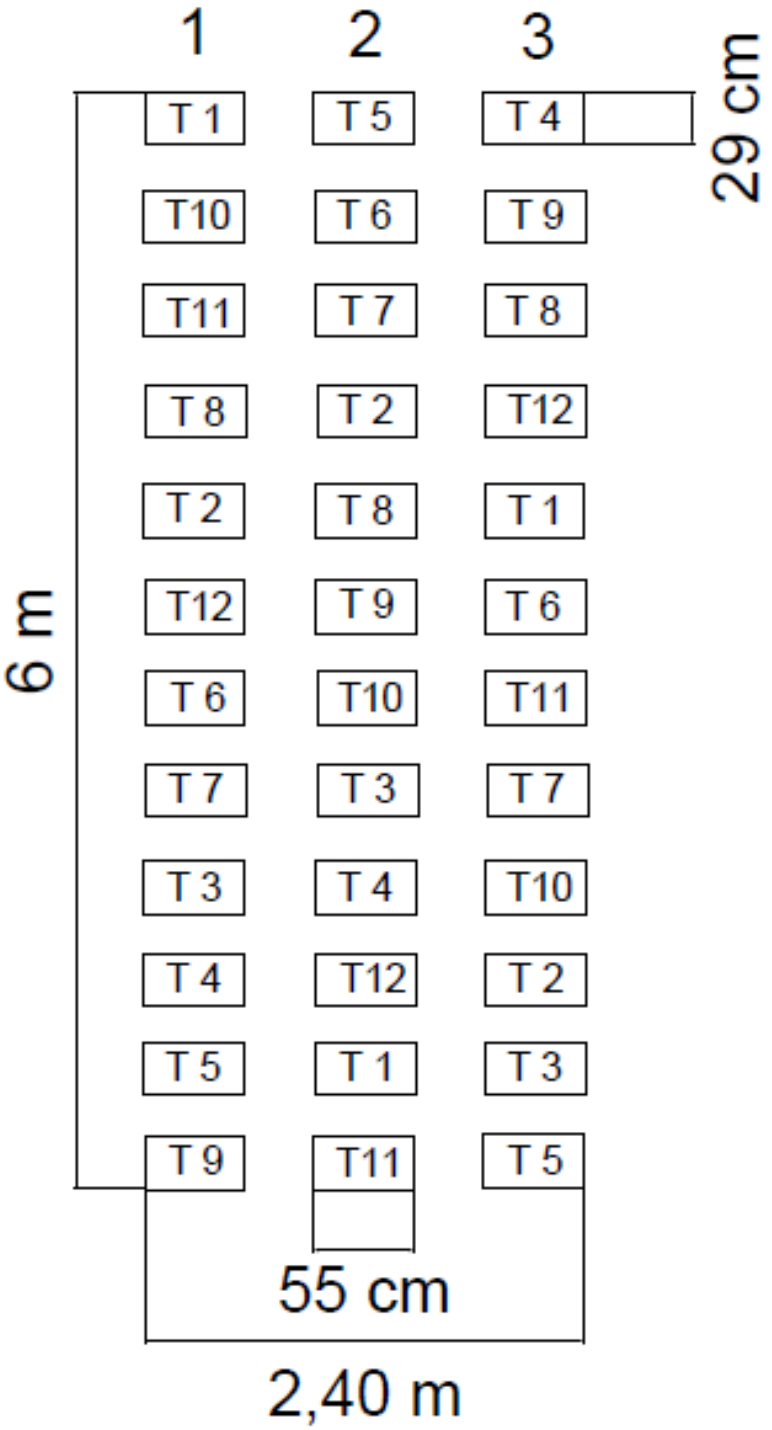

Figura 4. Distribución general de las bandejas en el espacio del experimento.

5.3 Análisis de Germinación.

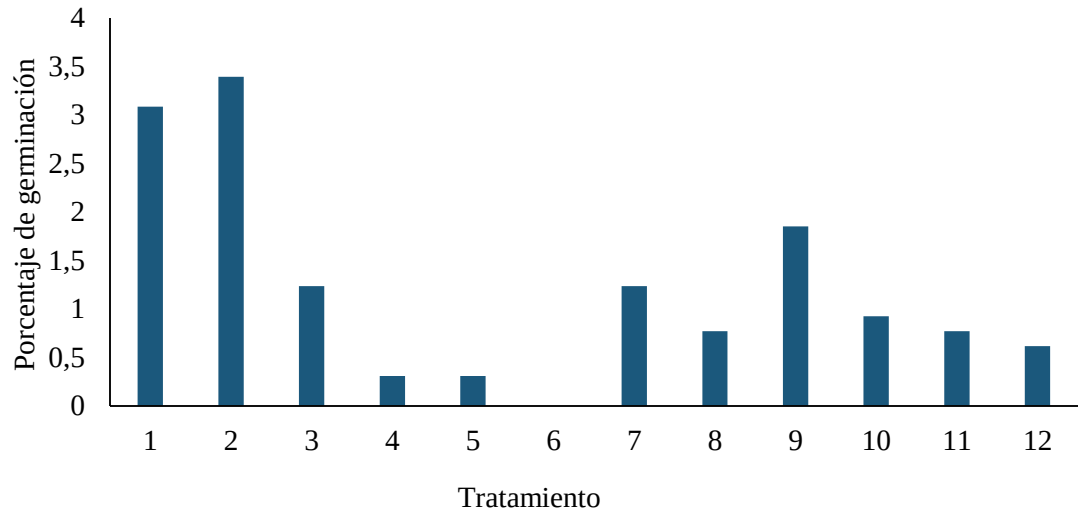

Figura 5. Porcentaje de germinación.

Esta variable hace referencia al número de semillas germinadas del total plantadas, los valores observables se dan en porcentaje del cual el 100% sería de 648 semillas, y en número de semillas por repetición de las cuales serían 18 semillas por cada una de estas. Como se puede observar en la Figura 6 se tiene en cuenta este valor para cada uno de los tratamientos por separado y sus respectivas repeticiones formando un conjunto; los resultados nos muestran la variabilidad de cada una de las repeticiones por tratamiento, y la diferencia entre los tratamientos; sumado a esto en la Figura 4 se muestra el porcentaje de germinación de cada uno de los tratamientos con respecto al total de semillas empleadas para el experimento siendo de 648 semillas.

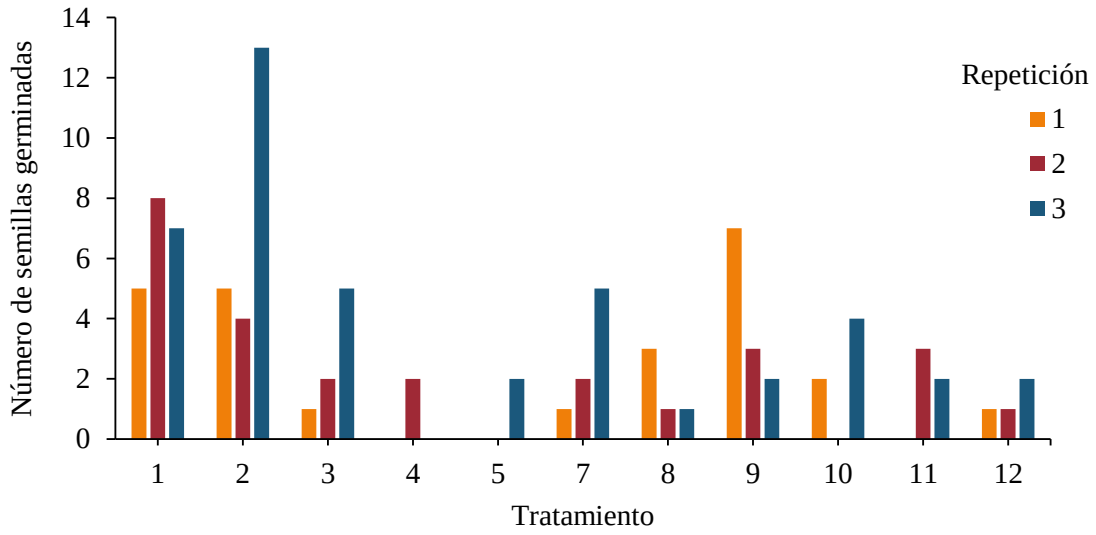

Figura 6. Número de Semillas Germinadas por tratamiento.

El tratamiento uno nos muestra resultados más homogéneos entre dos de sus tres repeticiones y el segundo porcentaje de germinación más alto entre los tratamientos 3.08%; en el tratamiento dos hay una clara diferencia entre una de las repeticiones con respecto a las otras dos, también es posible observar que en este tratamiento se presenta el mayor número se semillas germinadas en una repetición, gracias a esto es el tratamiento más representativo, si nos referimos al porcentaje de germinación con un valor de 3.39%; el tratamiento tres presenta una variación entre sus repeticiones y un porcentaje de germinación del 1.23% con el que se posiciona en el cuarto puesto junto al tratamiento siete que posee el mismo porcentaje; en los tratamientos cuatro y cinco se aprecia que dos de sus tres repeticiones no presentaron semillas germinadas, de igual forma presentan un porcentaje de germinación igual del 0.3% siendo estos los más bajos obtenidos sin contar el valor de cero; el tratamiento número seis no presento germinación de semillas en ninguna de sus repeticiones también reflejado en su porcentaje de germinación de 0%, por lo tanto no se procedió a graficar o a tener en cuenta en posteriores análisis debido a que no influye en la variabilidad germinativa entre tratamientos.

En el tratamiento número siete posee el mismo comportamiento de germinaciones por repeticiones que el tratamiento tres mostrando una igualdad no solo en el porcentaje de germinación del tratamiento, sino también a nivel de sus repeticiones; el tratamiento ocho presenta valores mínimos de germinación en dos de sus repeticiones siendo estos iguales, comparte con el tratamiento número once el mismo porcentaje de germinación del 0.77%, mas no un comportamiento de estas germinaciones igual en las repeticiones; en el tratamiento nueve se presenta una variabilidad entre sus tres repeticiones y su porcentaje de germinación del 1.85% siendo este el tercero más alto. Con respecto al tratamiento diez, de las tres repeticiones uno de estos no presento semillas germinadas y en las otras dos no hay homogeneidad, consta con un porcentaje de germinación del 0.92% que lo ubica en el quinto puesto; el tratamiento once se observa que en una de sus repeticiones no se presentó germinación de semillas, resaltando esto sobre el tratamiento ocho con el cual comparte el mismo porcentaje de germinación 0.77% lo cual indica que por repetición si tuvo un mayor número de semillas germinadas ya que el tratamiento ocho, si presento germinación en las tres repeticiones diferenciando de esta forma a ambos tratamientos; por ultimo en el tratamiento doce, solo dos de sus tratamientos muestra un número igual de semillas germinadas y presenta el segundo porcentaje de germinación más bajo con un valor del 0.61%, sin considerar los porcentajes de 0% obtenidos.

En general los tratamientos dos, tres, siete, ocho, nueve, diez, once y doce tienden a ser heterogéneos en la germinación de semillas, mientras que solo el tratamiento número uno tiende a ser homogéneo y se tienen los datos suficientes para llegar a dicha conclusión; respecto a los tratamientos cuatro y cinco debido a que en estos solo se dio germinación en una de las tres repeticiones hechas los datos son insuficientes para poder llegar a decir si la germinación es o no homogénea.

5.3.1 Análisis de varianza de germinación.

Tabla 4.
Análisis del ANOVA y Tukey de la germinación.

Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
Germinación	36	0.62	0.45	80.49

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	176.56	11	16.05	3.63	0.0040
Tratamiento	176.56	11	16.05	3.63	0.0040
Error	106.00	24	4.42		
Total	282.56	35			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.18704
Error: 4.4167 gl: 24

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
2.00	7.33	3	1.21	A		
1.00	6.67	3	1.21	A	B	
9.00	4.00	3	1.21	A	B	C
3.00	2.67	3	1.21	A	B	C
7.00	2.67	3	1.21	A	B	C
10.00	2.00	3	1.21	A	B	C
8.00	1.67	3	1.21	A	B	C
11.00	1.67	3	1.21	A	B	C
12.00	1.33	3	1.21	A	B	C
5.00	0.67	3	1.21		B	C
4.00	0.67	3	1.21		B	C
6.00	0.00	3	1.21			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05).

Para el análisis de varianza de la germinación entre cada uno de los tratamientos se usó el método de comparación de Tukey, ya que este ajusta los niveles de confianza de cada tratamiento individual para que el nivel de confianza simultaneo resultante sea igual al especificado. Gracias a este procedimiento se puede ver que existe una variación entre los tratamientos uno y cuatro, uno y cinco; el tratamiento seis muestra una variación con el tratamiento dos y uno debido a que este no presento germinación por lo tanto este dato puede ser despreciado en el análisis al no tener un

impacto real. Estos resultados se trabajaron con un nivel de confianza del 95% por lo tanto un nivel de significancia del 5%, el p- valor resultante fue del 0.0040, esto nos indicará que la hipótesis nula será rechazada la cual indica que los tratamientos no influyen en la germinación de las semillas de teca con un 95% de confiabilidad, y acogiendo la hipótesis alternativa que nos dice que los tratamientos usados si influyen en la germinación de las semillas.

Se observa una diferencia del tratamiento dos con los tratamientos cuatro y cinco, la resta entre estos da superior a la diferencia honestamente significativa corroborando las observaciones hechas.

5.4 Análisis de Mortalidad.

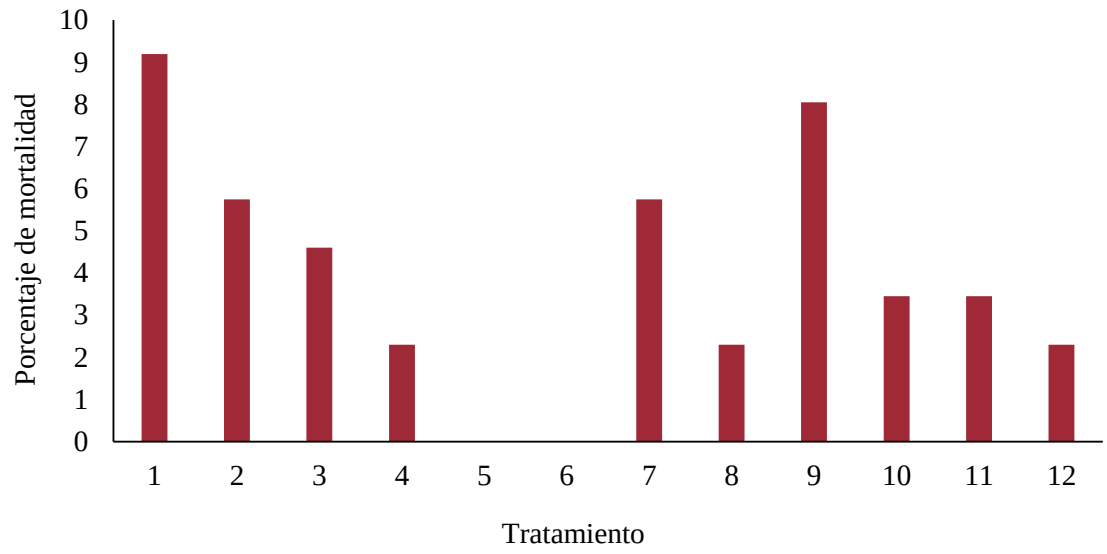

Figura 7. Porcentaje de mortalidad por cada tratamiento estudiado.

5.4.1 Mortalidad de semillas. Este factor hace referencia al número de semillas o plántulas que luego de presentar indicios de germinación y crecimiento, perecieron debido a los diversos factores a los cuales están sujetos para su supervivencia, estos pueden ser factores ambientales, riegos excesivo o insuficiente, o a predisposiciones internas de la semilla. El valor se da en números enteros y en unidades de semillas para cada una de las repeticiones agrupadas por tratamientos, y en porcentaje de mortalidad de las cuales se toma como el cien por ciento el total de semillas germinadas mas no plantadas, siendo este número de 87 semillas germinadas.

Como se puede observar en la Figura 7 la mortalidad presentada por cada uno de los tratamientos uno, dos y nueve tienden a ser homogéneos.

5.5 Análisis de Variancia de Alturas.

5.5.1 Altura de las plántulas. Se toma como altura, el crecimiento constante que tuvieron las plántulas durante cada una de las tomas de datos con respecto a las mediciones anteriores, las unidades usadas fueron centímetros (cm). Cada una de las Figuras 7, 8, 9,10, 11, 12, 13, 14, 15 y 16 y tablas 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11 y 12 representan las medidas realizadas para todos los tratamientos en las diez fechas especificadas para el seguimiento y desarrollo del experimento.

5.5.1.1 Análisis fecha 1 de medición

Tabla 5.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 1 de medición para alturas

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
1	Altura (Cm)	11	0.51	0.30	17.15

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.06	3	0.02	2.44	0.1494
Tratamiento	0.06	3	0.02	2.44	0.1494
Error	0.05	7	0.01		
Total	0.11	10			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=0.32304
Error: 0.0076 gl: 7

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	0.60	1	0.09	A
9	0.60	3	0.05	A
2	0.47	6	0.04	A
5	0.40	1	0.09	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

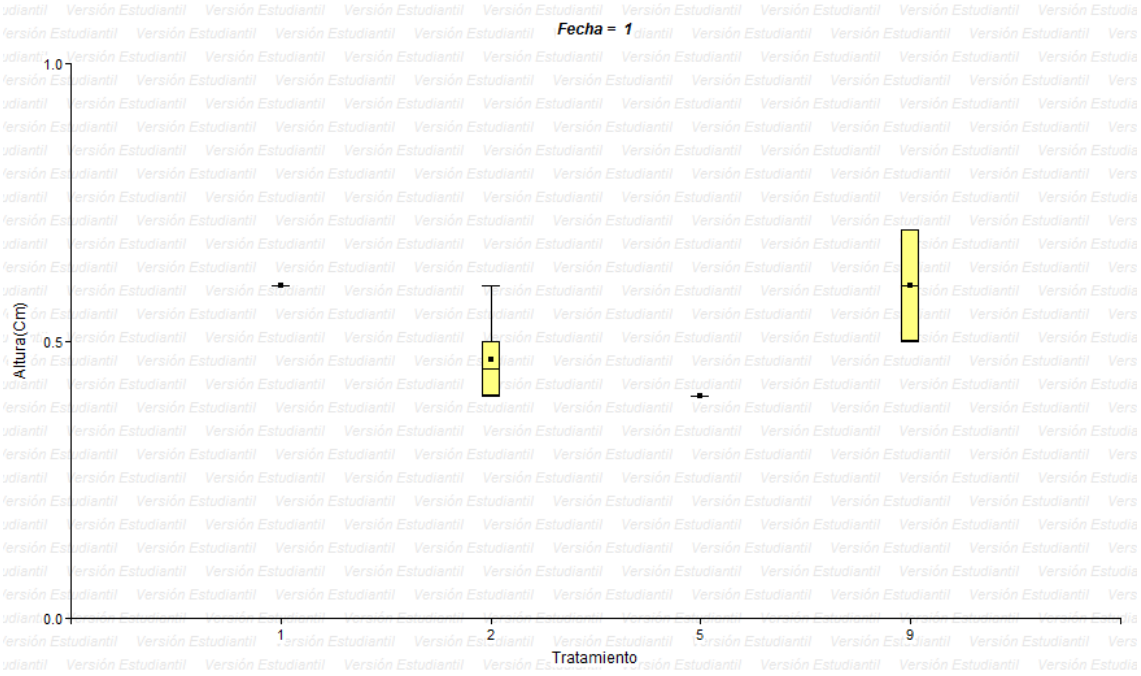

Figura 8. Gráfico de cajas correspondiente a la Fecha 1 de medición para alturas.

En la Figura 4 los datos recolectados no suponen el suficiente nivel de significancia necesario para poder realizar un análisis de varianza confiable con un P-valor de 0.1494 que supera el valor usado. En la Figura 8 se observan los pocos datos tomados en esta primera fecha, pero resaltando los

obtenido del tratamiento nueve, que suponen un crecimiento medio de 0.60 centímetros a los diez días de haber sembrado las semillas.

5.5.1.2 Análisis fecha 2 de medición.

Tabla 6.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 2 de medición para alturas

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
2	Altura(Cm)	50	0.37	0.21	58.89

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	19.31	10	1.93	2.28	0.0327
Tratamiento	19.31	10	1.93	2.28	0.0327
Error	33.08	39	0.85		
Total	52.40	49			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=3.01719
Error: 0.8483 gl: 39

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	2.55	8	0.33	A
2	1.92	12	0.27	A
5	1.80	1	0.92	A
10	1.65	4	0.46	A
9	1.43	10	0.29	A
7	1.27	3	0.53	A
12	1.20	1	0.92	A
3	0.70	6	0.38	A
8	0.70	1	0.92	A
11	0.65	2	0.65	A
4	0.45	2	0.65	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

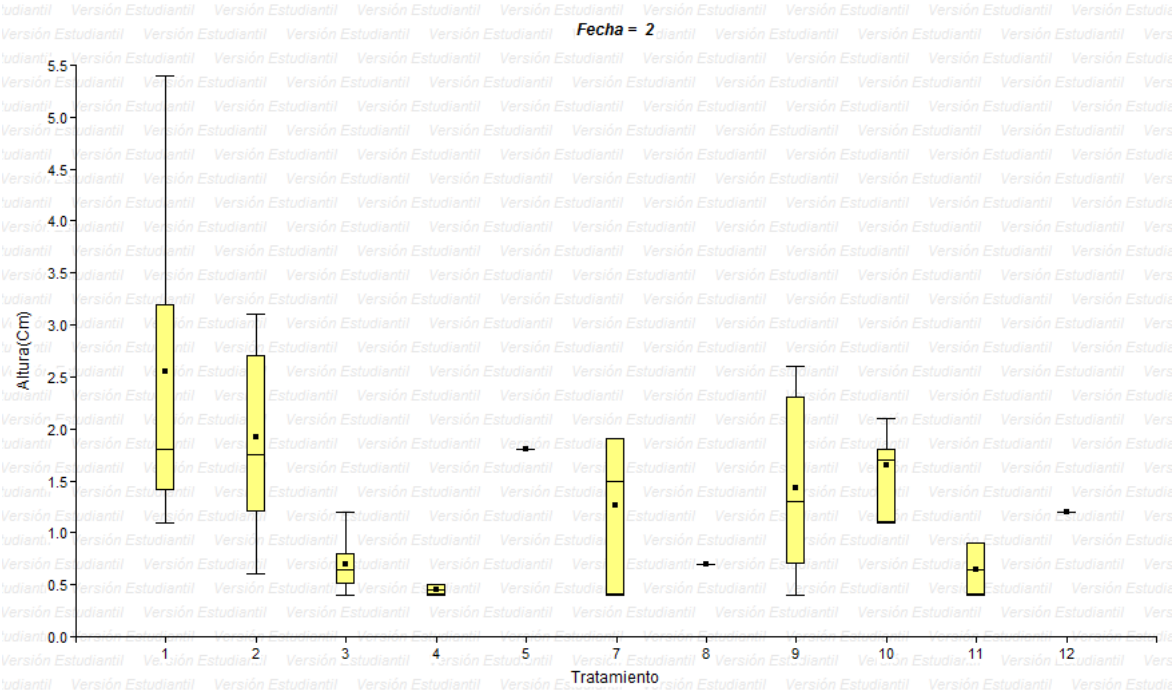

Figura 9. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 2 de medición para alturas para alturas.

En la Tabla *6* el nivel significancia, aunque está en los valores acordados, supone un nivel muy bajo siendo el P-valor de 0.0327, en el análisis de varianza de Tukey la comparación entre los tratamientos no muestra una diferencia entre estos.

Para la Figura 9 el tratamiento que presenta la mayor dispersión de datos es el tratamiento uno, este también presenta el segundo cuartil más alto y a su vez la media más alta con un valor de 2.55 centímetros, el tratamiento cuatro tiene el segundo cuartil más bajo y la media más baja siendo esta de 0.45 centímetros.

5.5.1.3 Análisis fecha 3 de medición.

Tabla 7.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 3 de medición para alturas

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
3	Altura(Cm)	51	0.65	0.56	43.39

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	143.24	10	14.32	7.48	<0.0001
Tratamiento	143.24	10	14.32	7.48	<0.0001
Error	76.65	40	1.92		
Total	219.89	50			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=4.23856

Error: 1.9161 gl: 40

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
1	6.09	9	0.46	A	
2	3.91	14	0.37	A	B
10	2.80	3	0.80	A	B
9	2.78	6	0.57	A	B
5	2.60	1	1.38	A	B
7	2.13	3	0.80	A	B
8	1.50	1	1.38		B
11	1.38	4	0.69		B
12	1.30	2	0.98		B
3	1.20	6	0.57		B
4	1.15	2	0.98		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

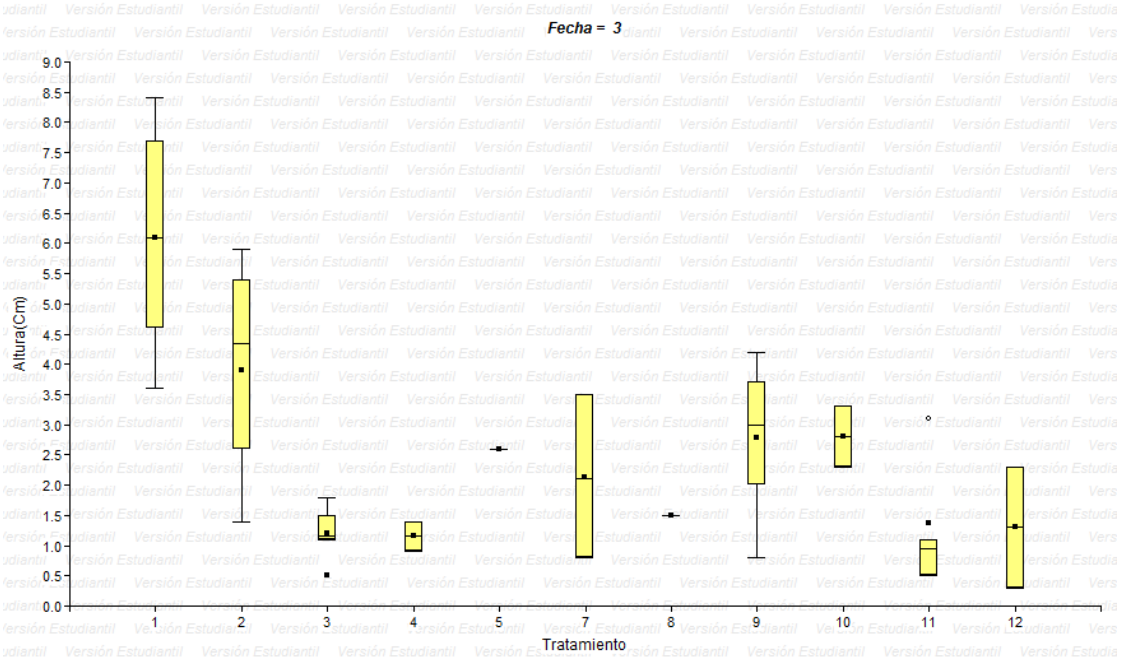

Figura 10. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 3 de medición para alturas.

Para la

Tabla *7* el P-valor mayor a 0.0001, hace significativo los datos que se obtienen, la apreciación de la variación entre los tratamientos empieza a ser observada, estas diferencias recaen contra un tratamiento en común el número uno el cual difiere con los tratamientos tres, cuatro, ocho, once, doce; los demás tratamientos no muestran varianzas; en la Figura 10 el tratamiento uno cuenta con la mayor dispersión de datos respecto a los demás tratamientos, la media más alta de 6.09 centímetros y segundo cuartil son los más altos para el tratamiento número uno, la media de 1.15 centímetros es la más baja para esta fecha y es del tratamiento número cuatro, mientras que el segundo cuartil más bajo es del tratamiento once.

5.5.1.4 Análisis fecha 4 de medición.

Tabla 8.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 4 de medición para alturas

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
4	Altura(Cm)	43	0.48	0.36	44.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	130.29	8	16.29	3.91	0.0023
Tratamiento	130.29	8	16.29	3.91	0.0023
Error	141.50	34	4.16		
Total	271.79	42			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.11501
Error: 4.1617 gl: 34

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
1	6.99	7	0.77	A
2	5.61	15	0.53	A
10	4.85	2	1.44	A
9	4.68	5	0.91	A
5	3.10	1	2.04	A
11	2.60	4	1.02	A

3	2.17	3	1.18	A
7	2.10	5	0.91	A
4	1.80	1	2.04	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

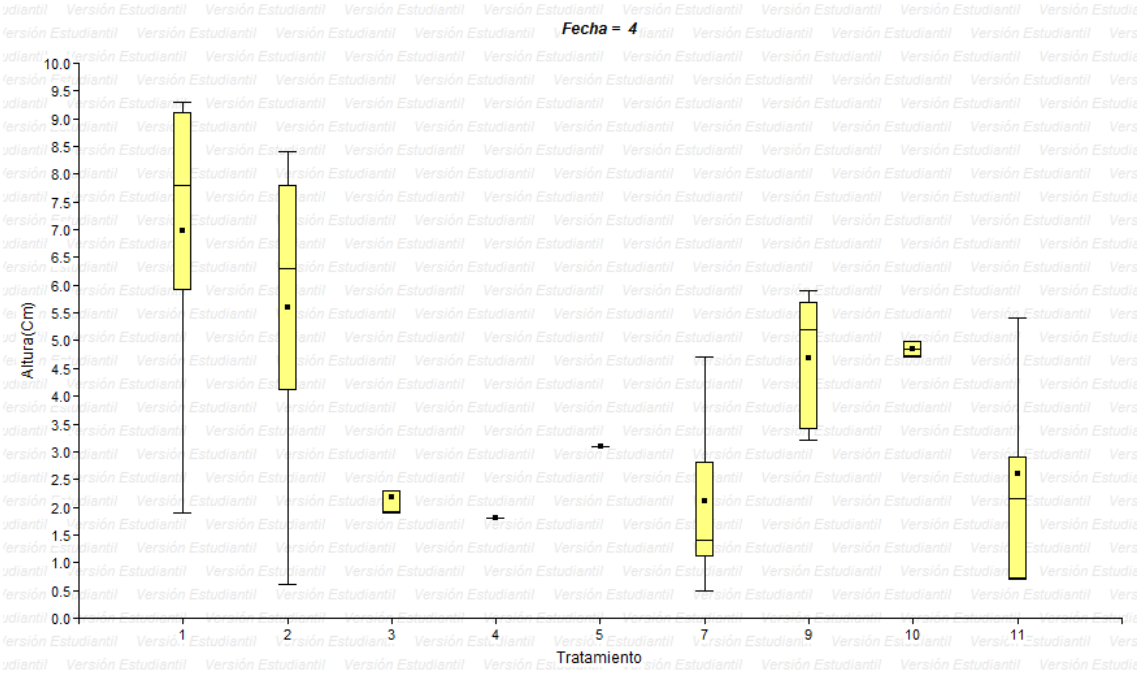

Figura 11. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 4 de medición para alturas.

La Tabla *8* denota un hecho curioso en cuanto a la variación de los tratamientos, en la Tabla *8* se puede apreciar un diferencia entre el tratamiento uno con respecto cinco tratamientos más, pero llegados a la cuarta fecha de medición esta diferencia se pierde volviendo a homogenizar las variaciones antes presentes, esto se da debido a un crecimiento de los tratamientos con los cuales se llegó a diferenciar el tratamiento uno, y a un aumento en el crecimiento medio del tratamiento menor del que se venía registrando con anterioridad; no obstante el tratamiento uno sigue presentando la media más alta de altura con un valor de 6.99 centímetros y el segundo cuartil más alto es del mismo tratamiento, para la media más baja presentada en este periodo el tratamiento cuatro sigue siendo el de menor crecimiento medio con 1.88 cm, mientras que el segundo cuartil más bajo pertenece al tratamiento siete.

El P-valor se ve incrementado respecto a la fecha tres subiendo a un valor de P=0.0023, pero esto sigue ajustándose al nivel de significancia necesarios. Y la dispersión de datos es mayor en el tratamiento dos. Cabe resaltar que el tratamiento ocho no presenta datos en esta fecha debido a la muerte de las plántulas.

5.5.1.5 Análisis fecha 5 de medición.

Tabla 9.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 5 de medición para alturas

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
5	Altura(Cm)	57	0.34	0.22	65.56

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	184.36	9	20.48	2.71	0.0125
Tratamiento	184.36	9	20.48	2.71	0.0125
Error	355.18	47	7.56		
Total	539.54	56			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=7.94934
Error: 7.5571 gl: 47

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
11	6.10	2	1.94	A
2	6.03	20	0.61	A
10	6.00	2	1.94	A
9	4.63	6	1.12	A
5	3.90	1	2.75	A
3	3.57	3	1.59	A
1	2.84	13	0.76	A
7	2.03	6	1.12	A
12	1.00	2	1.94	A
8	0.40	2	1.94	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

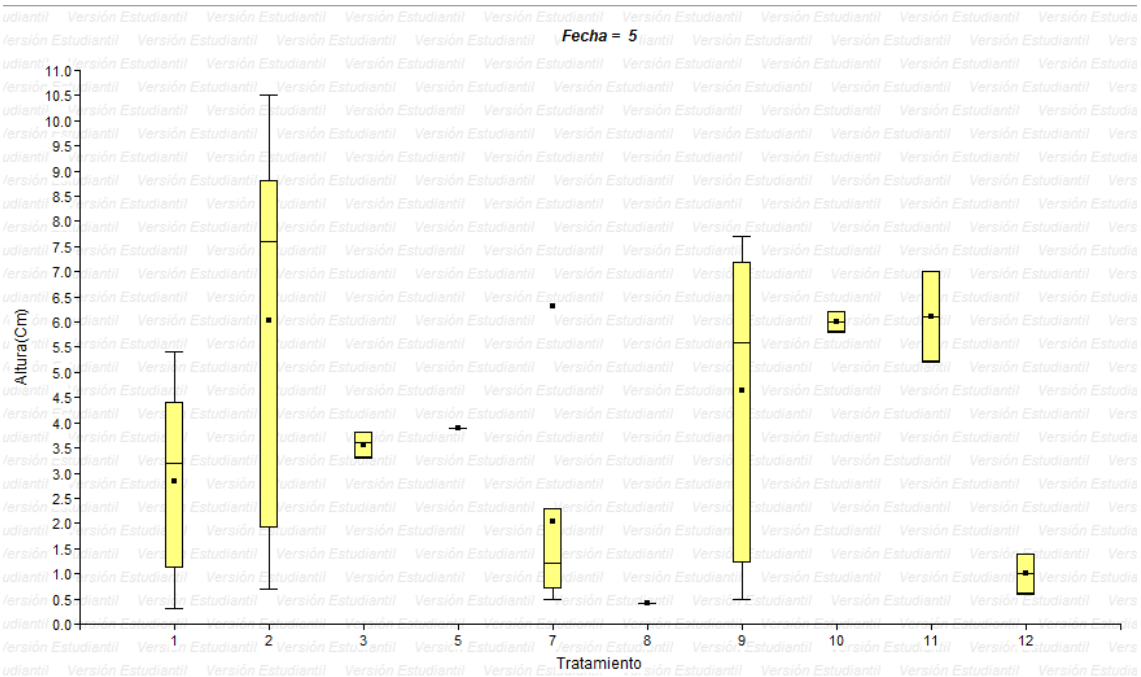

Figura 12. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 5 de medición para alturas.

En la Tabla *9* el índice de significancia vuelve a aumentar su valor, volviendo los datos menos significantes que las anteriores fechas, pero no quiere decir que dejen de ser relevantes para poder seguir realizando los análisis, ya que sigue estando en los estándares aceptados P=0.0125, las variaciones entre los tratamientos siguen sin manifestarse en esta fecha.

En el análisis de la Figura 12 la dispersión de datos sigue siendo mayor para el tratamiento dos, la media más alta es para el tratamiento once con un valor de 6.10 cm y el segundo cuartil más alto es para el tratamiento dos, la media más baja es para el tratamiento ocho con 0.40, con este resultado se aprecia la germinación o recuperación de las plántulas. El cuartil más bajo para esta fecha lo presenta el tratamiento número doce.

5.5.1.6 Análisis fecha 6 de medición.

Tabla 10.

Análisis de varianza correspondiente a la fecha 6 de medición para alturas

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
6	Altura(Cm)	56	0.42	0.31	51.66

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	283.82	9	31.54	3.71	0.0014
Tratamiento	283.82	9	31.54	3.71	0.0014
Error	390.59	46	8.49		
Total	674.42	55			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=8.20106

Error: 8.4912 gl: 46

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
11	8.40	2	2.06	A
2	8.16	19	0.67	A
10	6.80	2	2.06	A
9	5.85	6	1.19	A
1	4.28	12	0.84	A
5	4.10	1	2.91	A
7	3.70	4	1.46	A
3	3.22	5	1.30	A
12	2.55	2	2.06	A
8	1.30	3	1.68	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

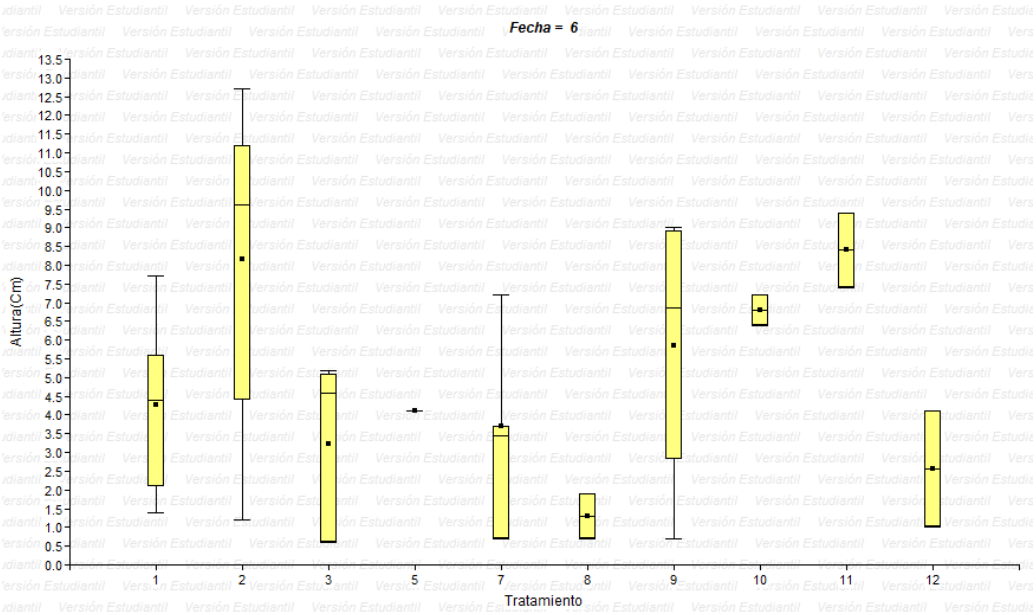

Figura 13. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 6 de medición *para alturas*.

En la Tabla *10* el P-valor disminuye a P=0.0014, no se presentan variaciones entre los tratamientos, para la Figura 13 la mayor dispersión de datos y el mayor segundo cuartil se sigue apreciando en el tratamiento dos, mientras que el tratamiento once mantiene la media más alta con un valor de 8.40 cm, la media más baja la tiene el tratamiento ocho con 1.30 cm y siendo este el de menor segundo cuartil.

5.5.1.1 Análisis fecha 7 de medición.

Tabla 11.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 7 de medición para alturas

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
7	Altura(Cm)	55	0.54	0.44	40.95

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	391.59	9	43.51	5.79	<0.0001
Tratamiento	391.59	9	43.51	5.79	<0.0001
Error	338.22	45	7.52		
Total	729.81	54			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=7.54578
Error: 7.5160 gl: 45

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
11	10.60	2	1.94	A	
2	9.65	18	0.65	A	
9	7.52	5	1.23	A	B
5	6.60	1	2.74	A	B
7	6.27	3	1.58	A	B
1	5.11	12	0.79	A	B
3	4.85	4	1.37	A	B
10	4.35	4	1.37	A	B
12	3.15	2	1.94	A	B
8	1.48	4	1.37		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05).

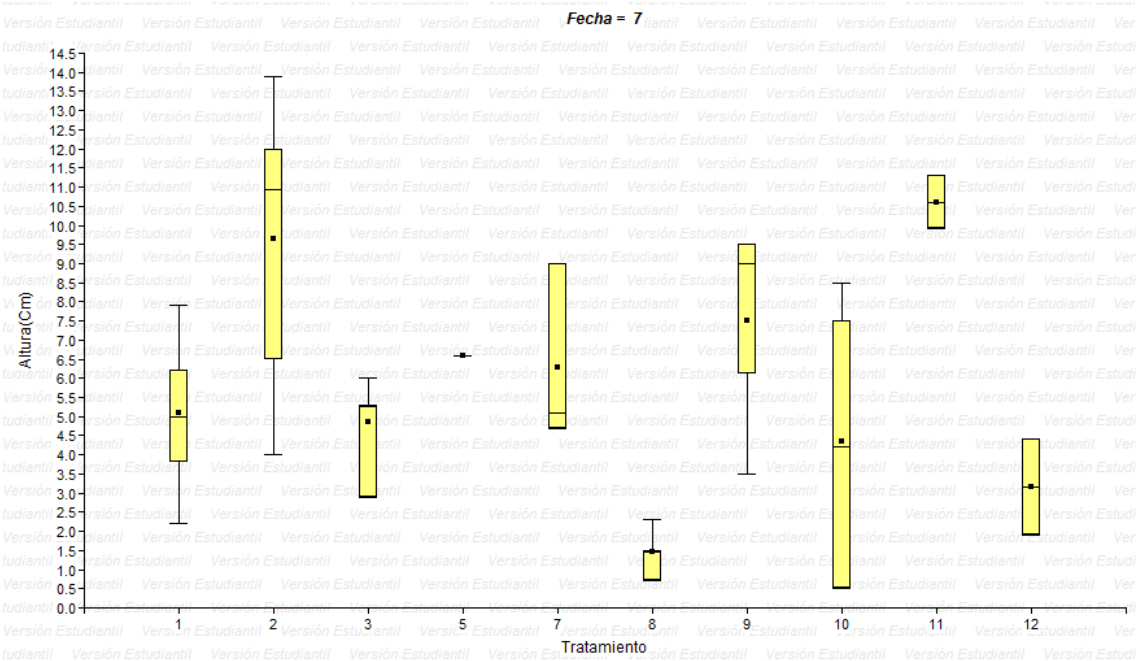

Figura 14. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 7 de medición para alturas.

La Tabla *11* el P-valor es mayor a 0.001 siendo un valor aceptable; se observa una diferencia entre el tratamiento once y ocho, siendo el tratamiento once el de mayor media con valor de 10.6 cm y el tratamiento ocho el de menor media con un valor de 1.48 cm este también posee el menor segundo cuartil, mientras que el tratamiento dos posee el mayor segundo cuartil y la dispersión de datos más alta.

5.5.1.1 Análisis fecha 8 de medición.

Tabla 12.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 8 de medición para alturas

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
8	Altura(Cm)	56	0.55	0.46	37.18

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	439.02	9	48.78	6.14	<0.0001

Tratamiento	439.02	9	48.78	6.14	<0.0001
Error	365.61	46	7.95		
Total	804.62	55			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=7.22355

Error: 7.9480 gl: 46

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
11	12.40	2	1.99	A		
2	10.90	18	0.66	A	B	
7	7.70	3	1.63	A	B	C
9	7.05	6	1.15	A	B	C
1	5.77	12	0.81	A	B	C
10	5.68	4	1.41	A	B	C
3	5.10	4	1.41		B	C
12	4.75	2	1.99		B	C
5	4.55	2	1.99		B	C
8	2.43	3	1.63			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

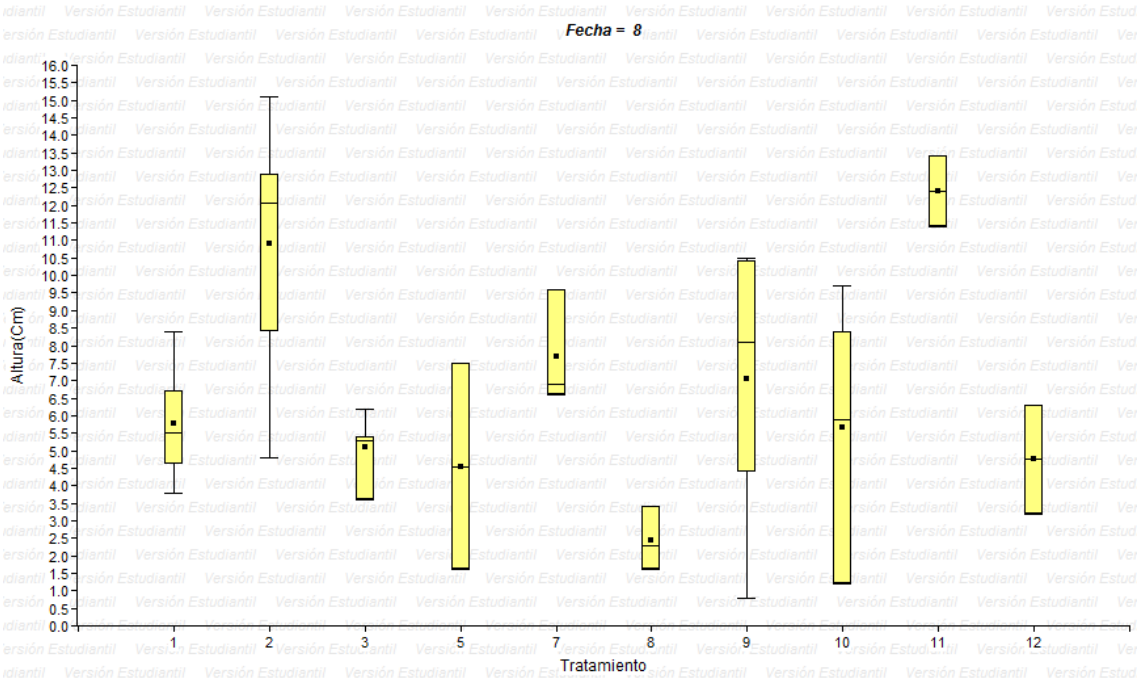

Figura 15. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 8 de medición para alturas.

En la Tabla *12* el P-valor es mayor a 0.001, en esta fecha ya es posible observar diferencia entre los tratamientos, los tratamientos tres, cinco, ocho, y doce con uno en común el tratamiento número 1, también los tratamientos número dos y ocho presentan diferencias entre ellos.

La Figura 15 los datos dispersos con mayor diferencia es el tratamiento dos, la media más alta la presenta el tratamiento once con un valor de 12.40 cm y el segundo cuartil más alto también lo presenta este tratamiento, la media más baja es la del tratamiento ocho con el valor de 2.43 cm también este presenta el segundo cuartil más bajo.

5.5.1.1 Análisis fecha 9 de medición.

Tabla 13.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 9 de medición para alturas

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
9	Altura(Cm)	54	0.62	0.55	27.57

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	401.52	9	44.61	8.13	<0.0001
Tratamiento	401.52	9	44.61	8.13	<0.0001
Error	241.35	44	5.49		
Total	642.87	53			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.13119
Error: 5.4851 gl: 44

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
11	13.25	2	1.66	A		
2	11.50	18	0.55	A	B	
9	8.88	5	1.05	A	B	C
7	7.97	3	1.35	A	B	C
10	7.77	3	1.35	A	B	C
5	6.45	2	1.66		B	C
1	6.38	12	0.68		B	C
3	5.80	4	1.17		B	C
12	5.65	2	1.66		B	C
8	3.23	3	1.35			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

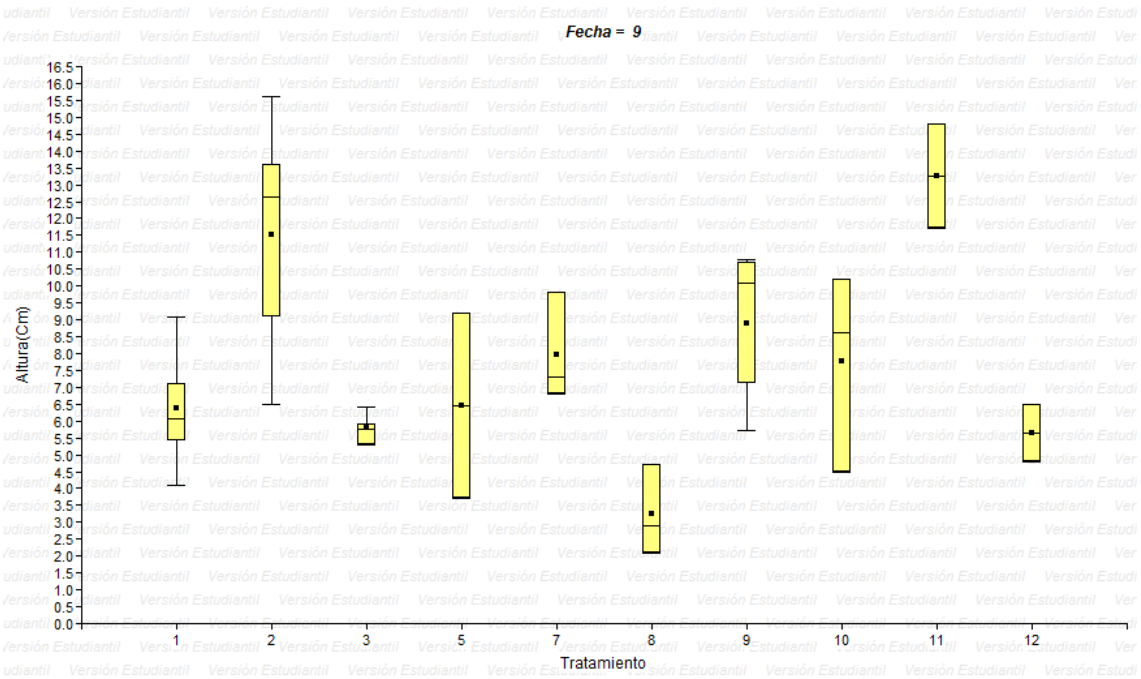

Figura 16. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 9 de medición para alturas.

La Tabla *13* al igual que en la fecha ocho, se sigue presentando las mismas variaciones entre los tratamientos antes observados con la adición de la diferencia entre el tratamiento once y uno, de la misma forma el comportamiento de medias y cuartiles se sigue presentando como en la fecha ocho con solo la variación de los datos siendo la media más alta de 13.65 cm, y la más baja de 3.23 cm.

5.5.1.1 Análisis fecha 10 de medición.

Tabla 14.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 10 de medición para alturas

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
10	Altura(Cm)	54	0.60	0.52	25.59

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	348.27	9	38.70	7.34	<0.0001
Tratamiento	348.27	9	38.70	7.34	<0.0001
Error	231.85	44	5.27		
Total	580.12	53			

Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=6.00934
Error: 5.2693 gl: 44

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
11	13.50	2	1.62	A		
2	11.76	18	0.54	A	B	
9	9.16	5	1.03	A	B	C
10	8.87	3	1.33	A	B	C
7	8.50	3	1.33	A	B	C
5	7.70	2	1.62	A	B	C
1	6.70	12	0.66		B	C
3	6.60	4	1.15		B	C
12	6.35	2	1.62		B	C
8	4.30	3	1.33			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

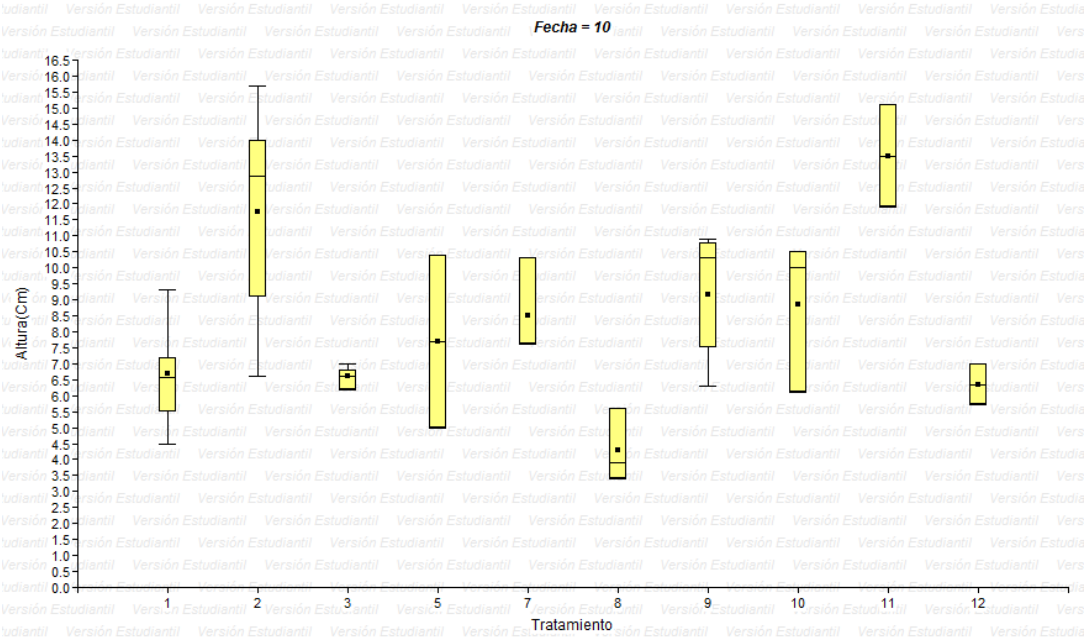

Figura 17. *Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 10 de medición para alturas.*

La Tabla *14* en la fecha final se observa diferencia entre el tratamiento número once y los tratamientos uno, tres, doce y ocho, este comportamiento es similar al de la fecha ocho y nueve, con la excepción de que el tratamiento con el tratamiento cinco ya no se observa variación alguna, y el tratamiento dos y ocho siguen presentando una variación. De igual forma la media mayor y menor son de los tratamientos once con 13.5 cm y ocho con 4.3 cm respectivamente. Los segundos cuartiles correspondientes al mayor y menor también son para el once y ocho.

5.6 Análisis de diámetros.

5.6.1 Diámetro de las plántulas. El crecimiento diametral de las plantas es el crecimiento en grosor que tiene el tallo, estos valores se dan en unidades de cm, se procedió a medir las plántulas con una altura igual o mayor a los cinco centímetros, por motivos especificados en la metodología del experimento.

5.6.1.1 Análisis fecha 1 de medición.

Tabla 15.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 1 de medición para diámetros.

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
1	Diámetro (Cm)	11	sd	sd	sd

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.00	3	0.00	sd	sd
Tratamiento	0.00	3	0.00	sd	sd
Error	0.00	7	0.00		
Total	0.00	10			x

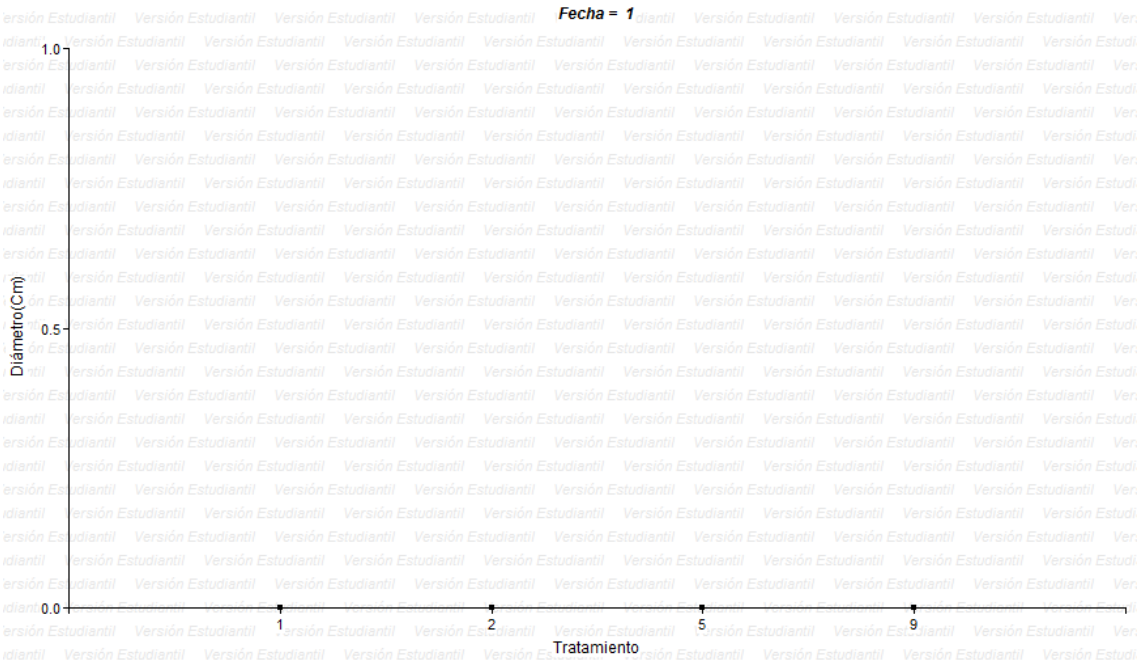

Figura 18. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 1 de medición para diámetros.

5.6.1.2 Análisis fecha 2 de medición.

Tabla 16.

Análisis de varianza correspondiente a la fecha 2 de medición para diámetros.

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
2	Diámetro (Cm)	50	sd	sd	sd

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.00	10	0.00	sd	sd
Tratamiento	0.00	10	0.00	sd	sd
Error	0.00	39	0.00		
Total	0.00	49			

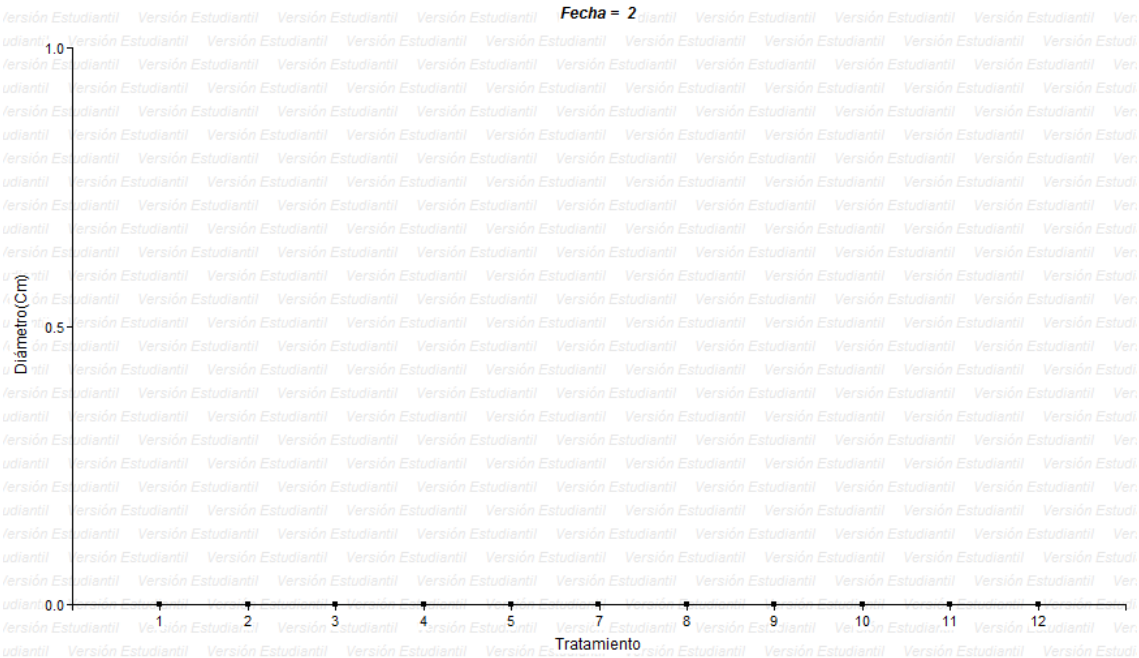

Figura 19. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 2 de medición para diámetros.

5.6.1.3 Análisis fecha 3 de medición.

Tabla 17.

Análisis de varianza correspondiente a la fecha 3 de medición para diámetros.

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
3	Diámetro(Cm)	51	0.22	0.03	343.21

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.03	10	2.6E-03	1.14	0.3555
Tratamiento	0.03	10	2.6E-03	1.14	0.3555
Error	0.09	40	2.3E-03		
Total	0.12	50			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.14733

Error: 0.0023 gl: 40

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2	0.05	1	0.01	A
11	0.00	4	0.02	A
3	0.00	6	0.02	A
1	0.00	9	0.02	A

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
9	0.00	6	0.02	A
10	0.00	3	0.03	A
4	0.00	2	0.03	A
7	0.00	3	0.03	A
12	0.00	2	0.03	A
5	0.00	1	0.05	A
8	0.00	1	0.05	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

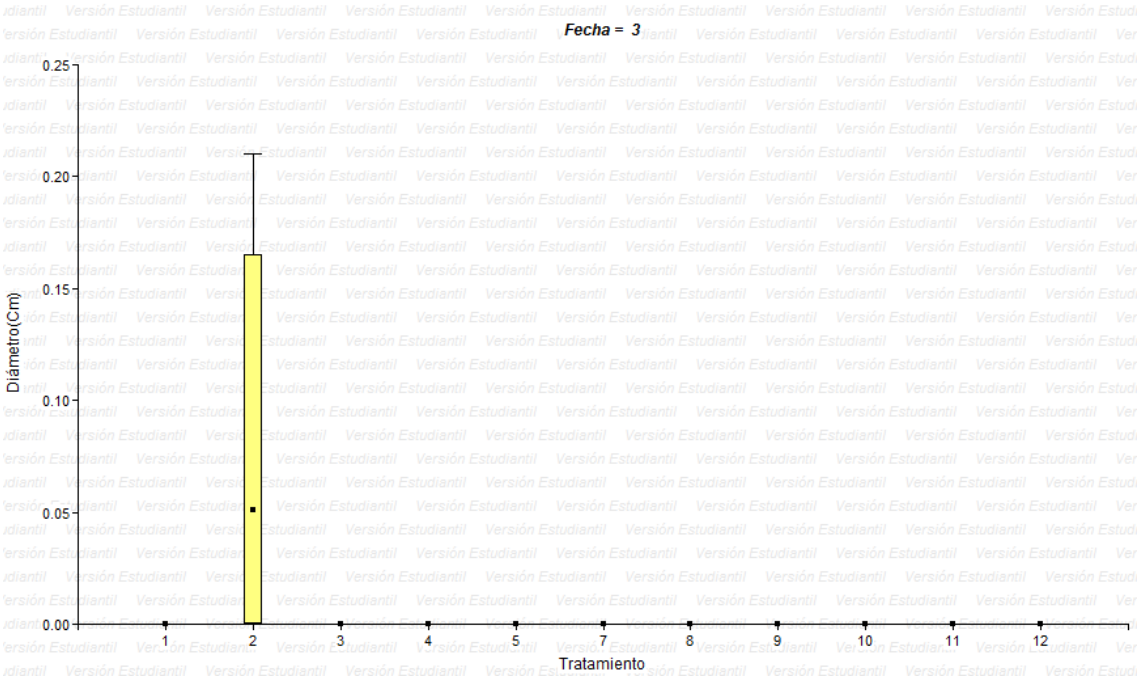

Figura 20. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 3 de medición para diámetros.

Las Tabla *15* y Tabla *16*,Y Figura 18 y Figura 19. No se muestran variaciones debido a la ausencia de valores ya que las especificaciones usadas para la toma de datos sobre la medición de diámetros no se cumplieron en estos casos, dando como resultados datos nulos o inexistentes impidiendo poder llegar a realizarse un análisis.

En la Tabla *17* la significancia no es suficiente p=0.3555, al ser esta superior al aplicado en el nivel de confianza para el análisis de los datos, se observa que de los doce tratamientos uno solo presento datos, pero siendo aún insuficientes los datos para un análisis objetivo de la varianza entre diámetros por tratamiento. Esto se aprecia con mayor claridad en la Figura 20 en donde los únicos datos graficados son del tratamiento dos.

5.6.1.4 Análisis fecha 4 de medición.

Tabla 18.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 4 de medición para diámetros.

Fecha	Variable	N	R²	R² Aj	CV
4	Diámetro(Cm)	43	0.45	0.32	122.14

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.14	8	0.02	3.49	0.0048
Tratamiento	0.14	8	0.02	3.49	0.0048
Error	0.17	34	5.0E-03		
Total	0.31	42			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.21158
Error: 0.0050 gl: 34

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
2	0.13	15	0.02	A
9	0.06	5	0.03	A
11	0.04	4	0.04	A
10	0.04	2	0.05	A
5	0.00	1	0.07	A
4	0.00	1	0.07	A
3	0.00	3	0.04	A
1	0.00	7	0.03	A
7	0.00	5	0.03	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

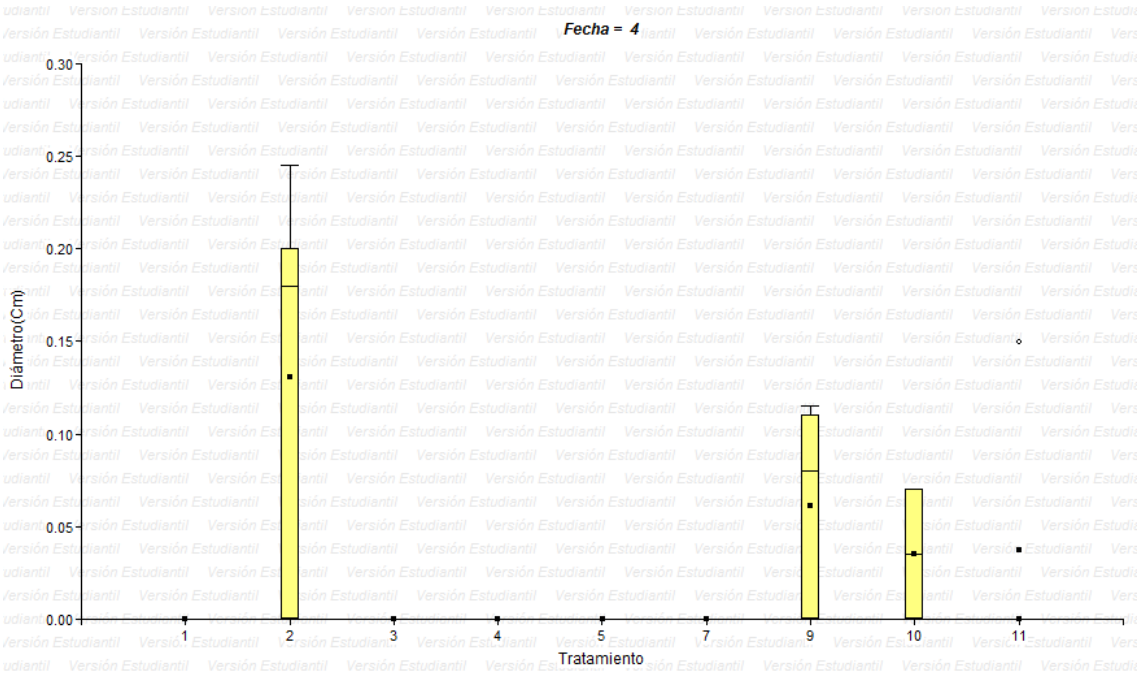

Figura 21. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 4 de medición para diámetros.

5.6.1.5 Análisis fecha 5 de medición.

Tabla 19.

Análisis de varianza correspondiente a la fecha 5 de medición para diámetros.

Fecha	Variable	N	R²	R² Aj	CV
5	Diámetro(Cm)	57	0.38	0.27	118.46

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.21	9	0.02	3.25	0.0038
Tratamiento	0.21	9	0.02	3.25	0.0038
Error	0.34	47	0.01		
Total	0.55	56			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.24489

Error: 0.0072 gl: 47

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
11	0.17	2	0.06	A
2	0.14	20	0.02	A

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
10	0.10	2	0.06	A
9	0.06	6	0.03	A
7	0.02	6	0.03	A
1	0.02	13	0.02	A
5	0.00	1	0.08	A
12	0.00	2	0.06	A
3	0.00	3	0.05	A
8	0.00	2	0.06	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

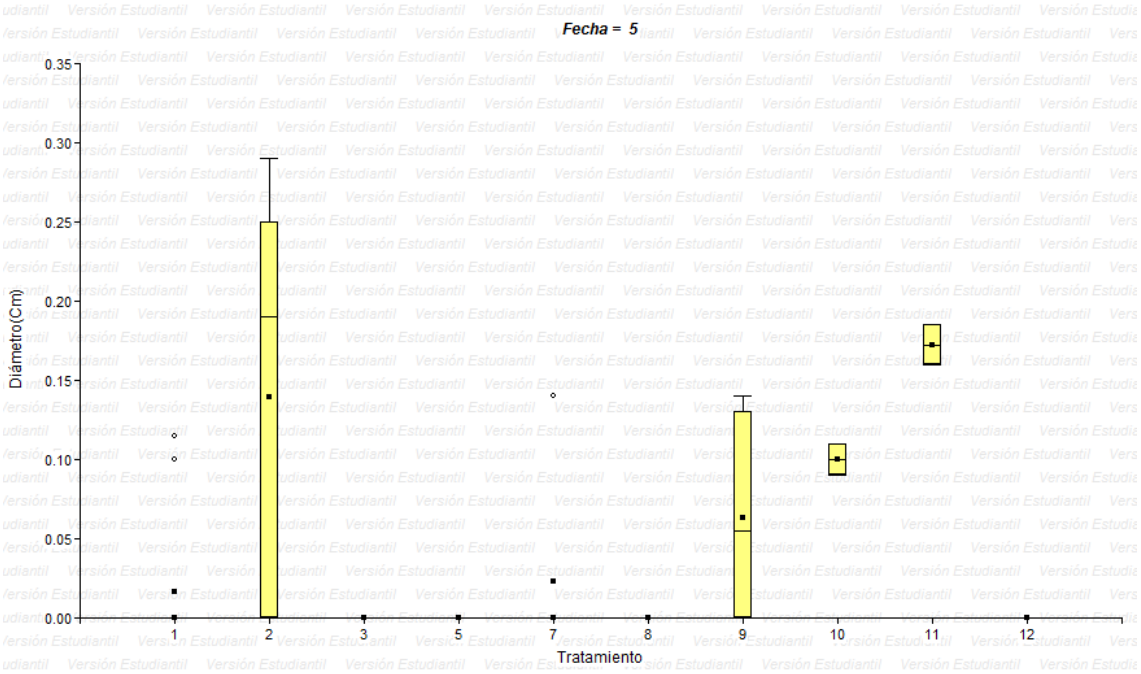

Figura 22. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 5 de medición para diámetros.

5.6.1.6 Análisis fecha 6 de medición.

Tabla 20.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 6 de medición para diámetros.

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
6	Diámetro(Cm)	56	0.36	0.23	100.81

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.23	9	0.03	2.86	0.0092
Tratamiento	0.23	9	0.03	2.86	0.0092
Error	0.41	46	0.01		
Total	0.63	55			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.26420

Error: 0.0088 gl: 46

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
11	0.20	2	0.07	A
2	0.16	19	0.02	A
10	0.13	2	0.07	A
9	0.09	6	0.04	A
1	0.05	12	0.03	A
7	0.04	4	0.05	A
3	0.03	5	0.04	A
12	0.00	2	0.07	A
8	0.00	3	0.05	A
5	0.00	1	0.09	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

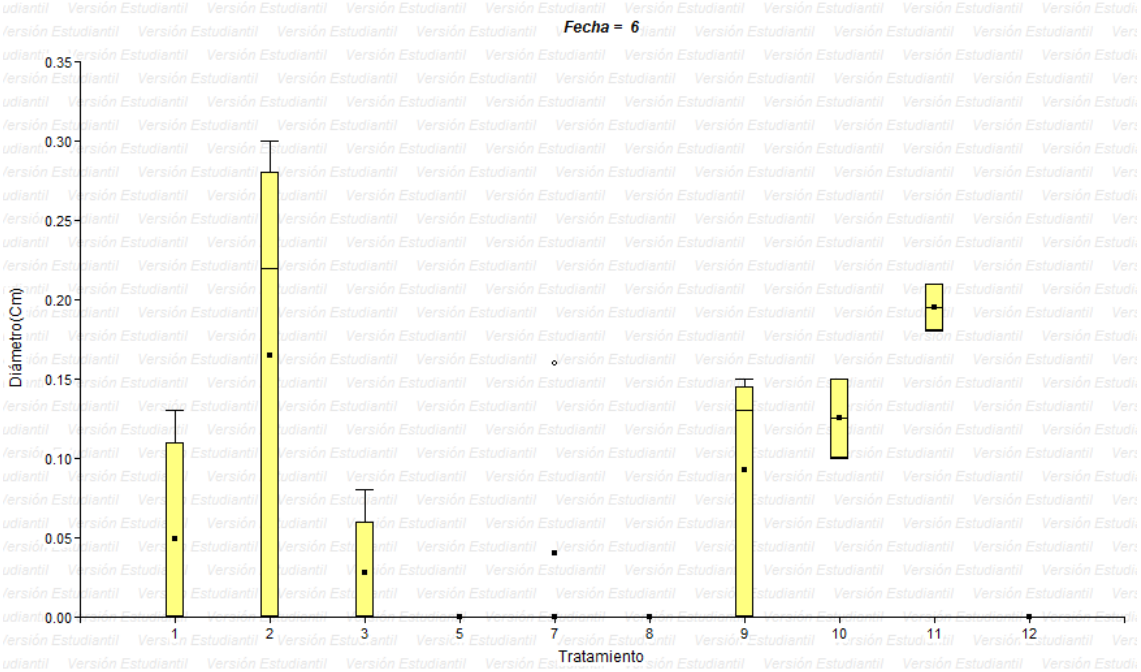

Figura 23. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 6 de medición para diámetros.

5.6.1.7 Análisis fecha 7 de medición.

Tabla 21.

Análisis de varianza correspondiente a la fecha 7 de medición para diámetros.

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
7	Diámetro(Cm)	55	0.42	0.31	77.91

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.31	9	0.03	3.64	0.0017
Tratamiento	0.31	9	0.03	3.64	0.0017
Error	0.43	45	0.01		
Total	0.74	54			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.26882

Error: 0.0095 gl: 45

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
11	0.23	2	0.07	A
2	0.22	18	0.02	A
Tratamiento	Medias	n	E.E.	
5	0.13	1	0.10	A
9	0.13	5	0.04	A
7	0.10	3	0.06	A
3	0.09	4	0.05	A
1	0.07	12	0.03	A
10	0.07	4	0.05	A
8	0.00	4	0.05	A
12	0.00	2	0.07	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

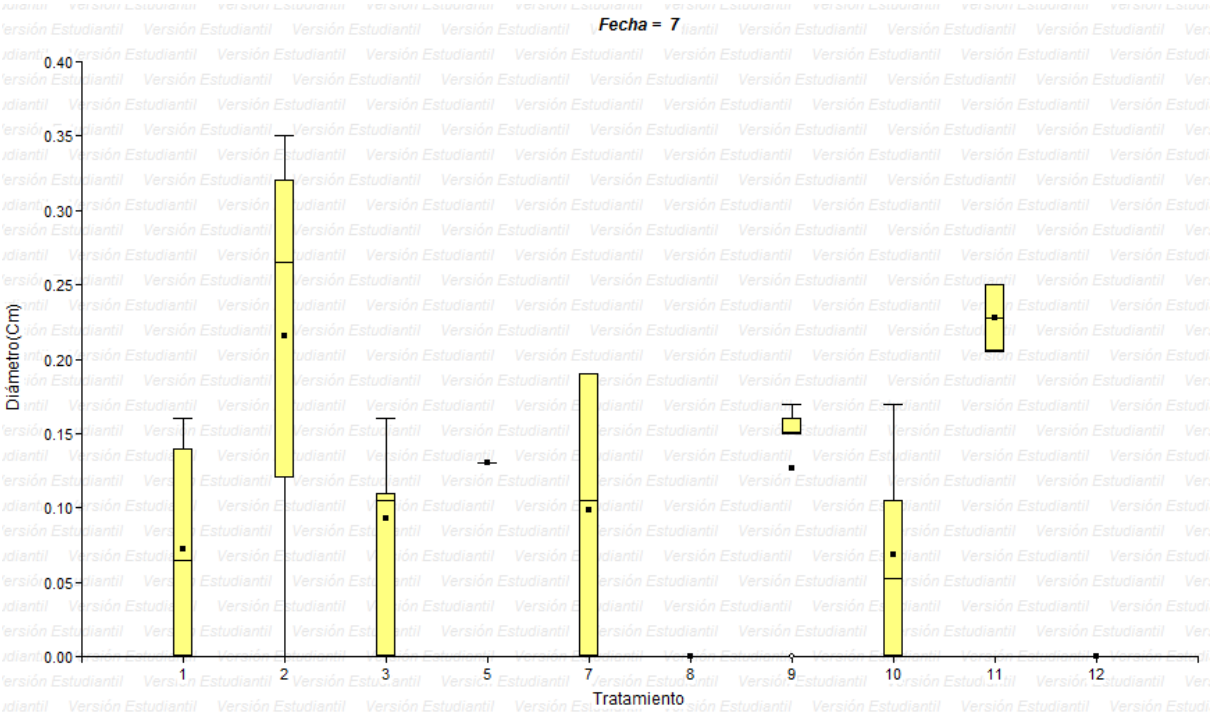

Figura 24. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 7 de medición para diámetros.

Para las Tabla *19* Tabla *20* y Tabla *21* se cuenta con los datos suficientes para que los valores obtenidos sean significativos, para la fecha cuatro se tiene un P-valor igual a p=0.0048, fecha cinco p=0.0038, fecha seis p=0.0092 y para la fecha siete p=0.0017 con respecto a un nivel de significancia de 0.05. Las diferencias entre las medias de cada una de las tablas son muy similares, no se presenta una variación entre las medias en cada una de las tablas las cuales, al hacer un contraste de diferencia entre estas, se observa que no se llega a dar una variación significativa entre los diámetros de cada tratamiento en estas primeras fechas.

En la Figura 21 el tratamiento de mayor dispersión es el número dos, el cual también posee la media más alta en esta fecha de 0.13 cm y el segundo cuartil más alto, la media más baja presentada corresponde al tratamiento diez y once con 0.04 cm, pero el cuartil más bajo pertenece al tratamiento diez; Figura 22 el tratamiento dos sigue presentando la mayor dispersión de datos y el segundo cuartil mayor entre los demás tratamientos, pero la mayor media la arroja el tratamiento

once de 0.17 cm y el tratamiento nueve presenta el menor cuartil, la media más baja la presenta los tratamientos siete y uno con 0.02 cm; en la Figura 23 la mayor dispersión de datos y segundo cuartil más alto la presenta el tratamiento dos, la media más alta la sigue presentando el tratamiento once con 0.2 cm, mientras que la media de 0.03 cm y el segundo cuartil más bajos los posee el tratamiento 3; la Figura 24 el tratamiento once tiene la mayor media 0.23 cm, mientras que el segundo cuartil más alto es del tratamiento dos y una dispersión de datos mayor, el cuartil más bajo es del tratamiento diez, y las medias más bajas son de los tratamientos uno y diez con 0.07 cm.

5.6.1.8 Análisis fecha 8 de medición.

Tabla 22.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 8 de medición para diámetros.

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
8	Diámetro(Cm)	56	0.57	0.48	53.05

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.42	9	0.05	6.65	<0.0001
Tratamiento	0.42	9	0.05	6.65	<0.0001
Error	0.32	46	0.01		
Total	0.74	55			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.21493
Error: 0.0070 gl: 46

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
2	0.27	18	0.02	A	
11	0.23	2	0.06	A	
7	0.15	3	0.05	A	B
9	0.12	6	0.03	A	B
1	0.12	12	0.02	A	B
3	0.10	4	0.04	A	B
10	0.08	4	0.04	A	B
5	0.07	2	0.06	A	B

Tratamiento	Medias	n	E.E.		
12	0.07	2	0.06	A	B
8	0.00	3	0.05		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

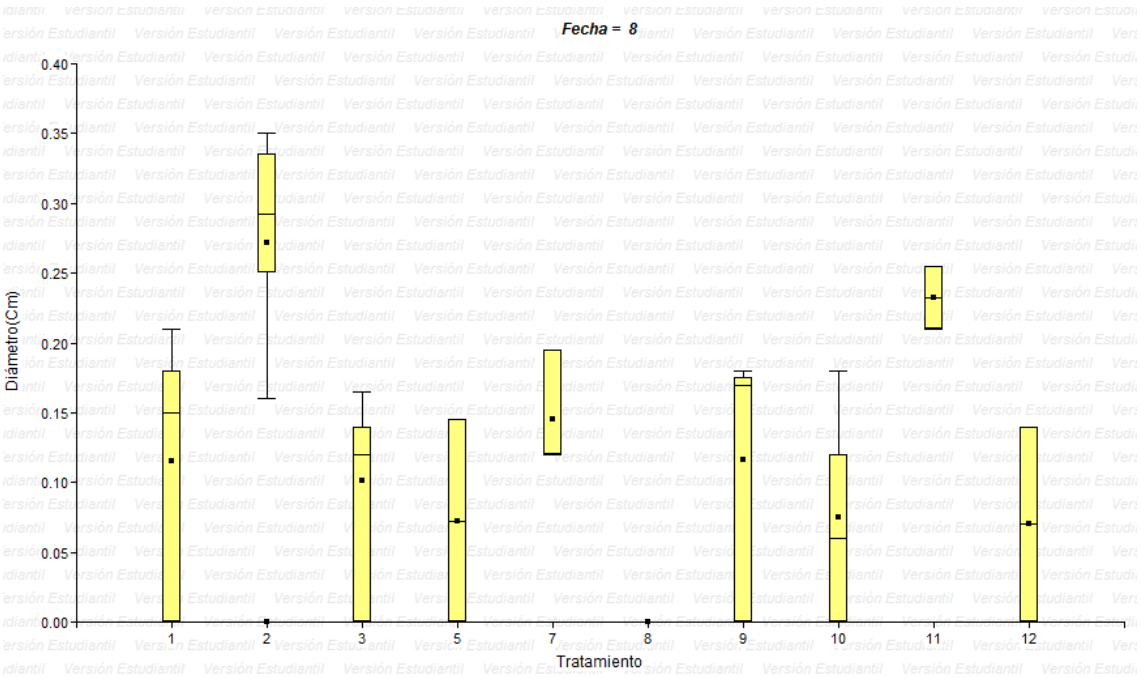

Figura 25. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 8 de medición para diámetros.

En la Tabla *22* los datos son significativos con un p-valor mayor de 0.0001 la diferencia honestamente significativa es de 0.2149, aunque a primera vista y según el análisis se presentan variación entre los tratamientos dos y ocho, once y ocho al observar detalladamente los valores medios del tratamiento ocho, estos son de 0 centímetros, siendo poco relevantes estas diferencias.

En la Figura 25 se puede observar una gran dispersión de datos en el tratamiento uno, el segundo cuartil más alto se presenta en el tratamiento dos y también posee la mayor media 0.27 cm, el

segundo cuartil con menor valor entre los tratamientos es del tratamiento diez, pero la media más baja es de los tratamientos cinco y doce de 0.07 cm.

5.6.1.9 Análisis fecha 9 de medición.

Tabla 23.
Análisis de varianza correspondiente a la fecha 9 de medición para diámetros.

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
9	Diámetro(Cm)	54	0.70	0.63	32.73

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.39	9	0.04	11.17	<0.0001
Tratamiento	0.39	9	0.04	11.17	<0.0001
Error	0.17	44	3.9E-03		
Total	0.56	53			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.16281
Error: 0.0039 gl: 44

Tratamiento	Medias	n	E.E.				
2	0.29	18	0.01	A			
11	0.25	2	0.04	A	B		
9	0.18	5	0.03	A	B	C	
7	0.16	3	0.04	A	B	C	D
1	0.16	12	0.02	A	B	C	D
3	0.15	4	0.03	A	B	C	D
10	0.10	3	0.04		B	C	D
5	0.10	2	0.04		B	C	D
12	0.07	2	0.04			C	D
8	0.00	3	0.04				D

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

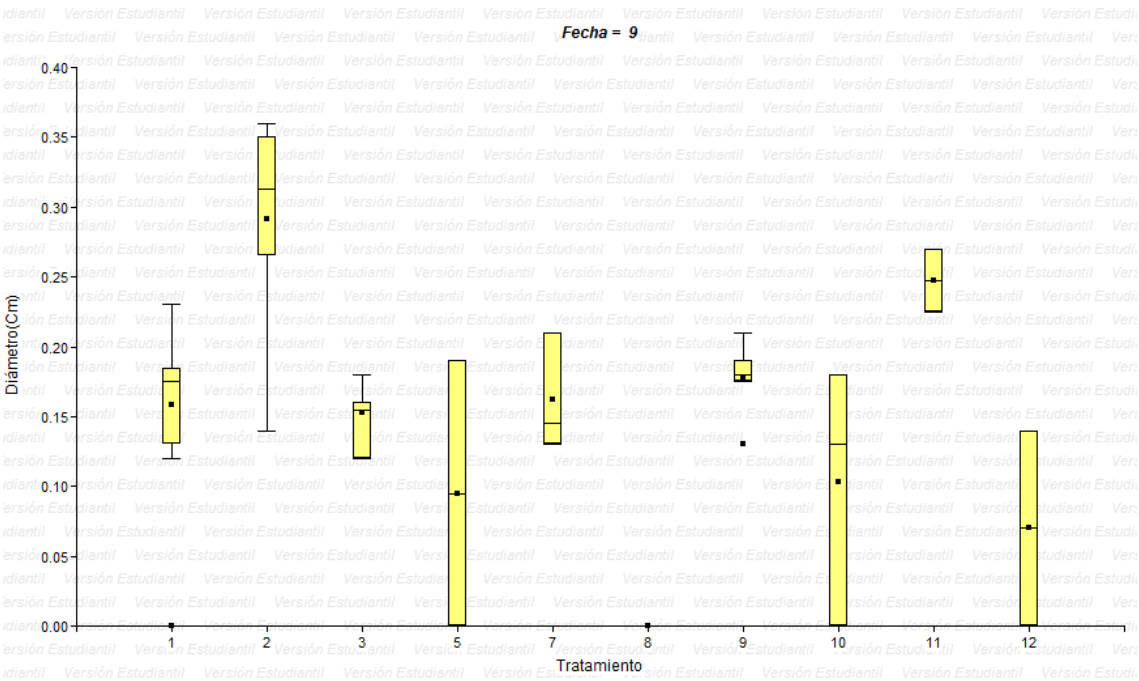

Figura 26. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 9 de medición para diámetros.

En la

Tabla *23* se aprecia una diferencia entre los tratamientos dos y ocho, once y ocho, nueve y ocho, que puede ser descartable debido a los valores de cero del tratamiento ocho los cuales no arrojan un resultado concluyente en sí, varia el diámetro dependiendo del tratamiento, contrario a la diferencia observada entre los tratamientos dos y diez, dos y cinco, dos y doce, once y doce en los cuales claramente se observa que existe una variación entre estos, esto debido a que el resultado de la diferencia entre cada par de tratamientos comparados es mayor al valor de la diferencia honestamente significativo la cual es de 0.1628, en cuanto al valor de significancia, entra en los valores aceptados siendo estos altamente significativos con un P-valor mayor a 0.0001.

Los datos observables en la Figura 26 nos muestra que la mayor dispersión de datos la presenta el tratamiento dos el cual también tiene el segundo cuartil más alto y media con un valor de 0.29 cm, el segundo cuartil y media más baja es del tratamiento doce con 0.07 cm.

5.6.1.10 Análisis fecha 10 de medición.

Tabla 24.

Análisis de varianza correspondiente a la fecha 10 de medición para diámetros.

Fecha	Variable	N	R^2	R^2 Aj	CV
10	Diámetro(Cm)	54	0.66	0.60	28.72

Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	0.32	9	0.04	9.68	<0.0001
Tratamiento	0.32	9	0.04	9.68	<0.0001
Error	0.16	44	3.7E-03		
Total	0.49	53			

Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=0.15953

Error: 0.0037 gl: 44

Tratamiento	Medias	n	E.E.			
2	0.31	18	0.01	A		
11	0.28	2	0.04	A	B	
9	0.19	5	0.03	A	B	C
3	0.17	4	0.03	A	B	C
1	0.17	12	0.02	A	B	C
7	0.17	3	0.04	A	B	C
10	0.16	3	0.04	A	B	C
5	0.15	2	0.04	A	B	C
12	0.15	2	0.04		B	C
8	0.03	3	0.04			C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)

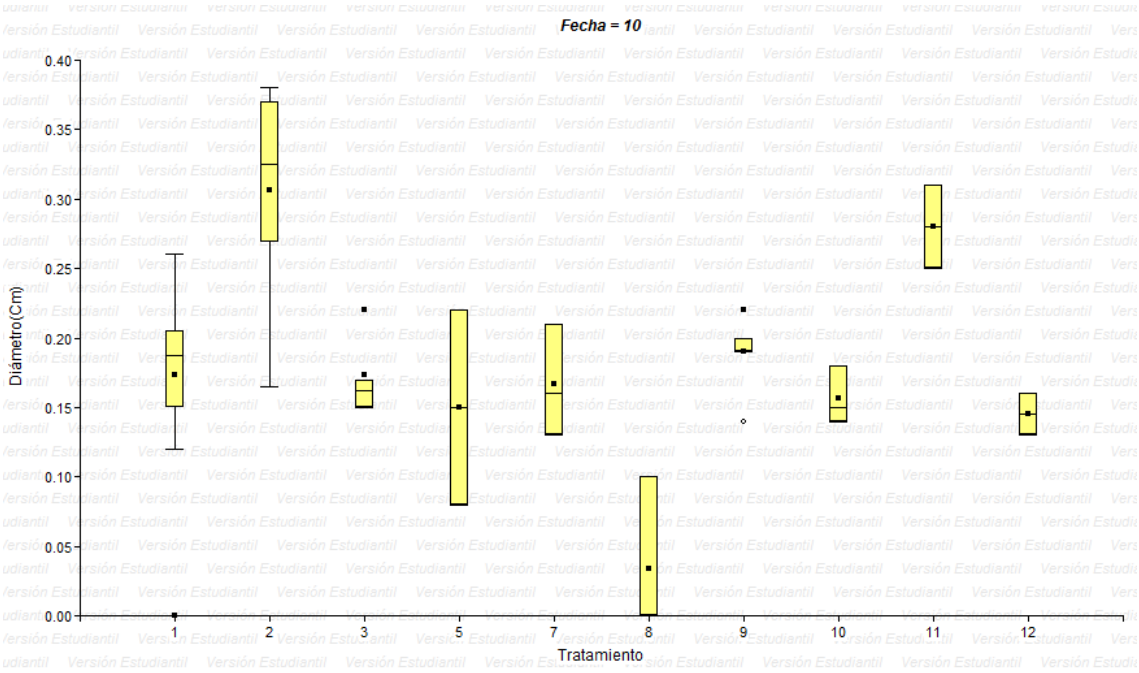

Figura 27. Gráfico de caja correspondiente a la Fecha 10 de medición para diámetros.

En la

Tabla *24* se aprecia una diferencia entre del tratamiento dos con los tratamientos doce y cinco, los cuales por la mínima diferencia presentan una variación ya que el resultado de sus restas y posterior comparación con el DMS da como resultado una diferencia de 0.001, mientras que los tratamientos dos y ocho, once y ocho esta diferencia es mucho más amplia, el valor de la diferencia honestamente significativo o DMS es de 0.15953, en cuanto al valor de significancia, entra en los valores aceptados siendo estos altamente significativos con un P-valor mayor a 0.0001.

Los datos observables en la Figura 27 nos muestra que la mayor dispersión de datos la presenta el tratamiento dos, también tiene el segundo cuartil más alto y media con un valor de 0.37 centímetros, el segundo cuartil y media más baja es del tratamiento ocho con 0.03 centímetros.

5.7 Análisis de Área Foliar

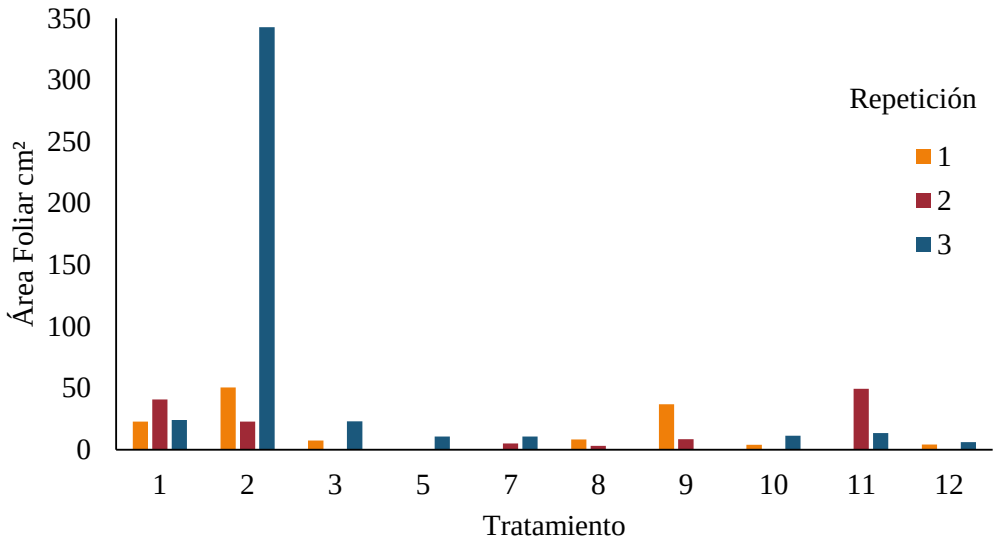

Figura 28. Área foliar expresada en cm^2.

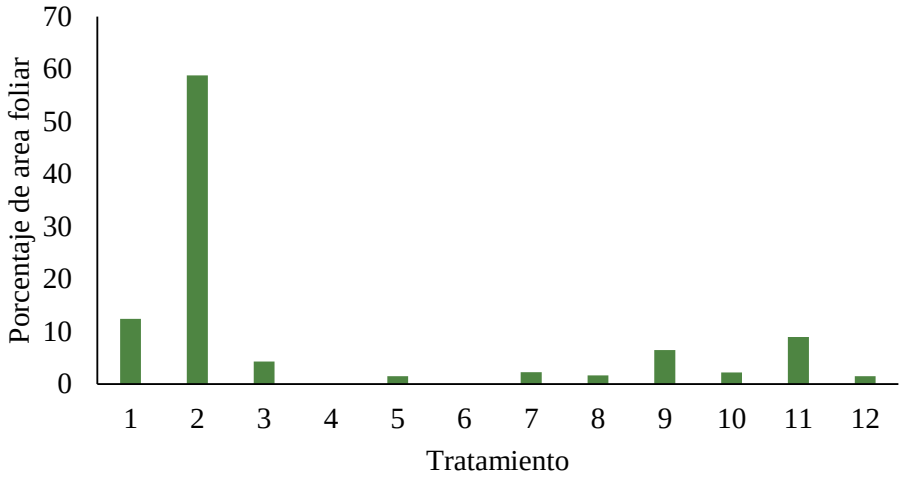

Figura 29. Porcentaje de área foliar.

5.7.1 Área foliar. El área foliar nos da como resultado que la mayor concentración de este valor se dio en el tratamiento dos, el cual se focalizo toda el área foliar de dicho tratamiento en la repetición tres, no obstante los valores obtenidos en las repeticiones uno y dos siguen siendo relevantes respecto a los demás tratamientos, en cuanto al porcentaje que presenta los tratamientos individualmente, muestra que el tratamiento dos es el de mayor porcentaje con valores de 58.8%, superiores a los demás tratamientos observados, de los cuales se destacan el tratamiento uno con 12.4%, el número once con 8.9% y el número nueve con un valor de 6.44%.

5.8 Análisis Número de Hojas.

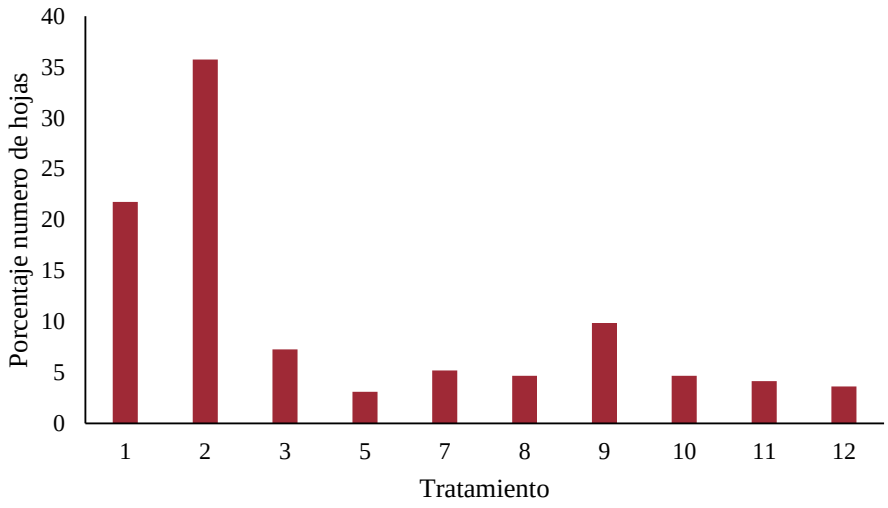

Figura 30. Porcentaje número de hojas.

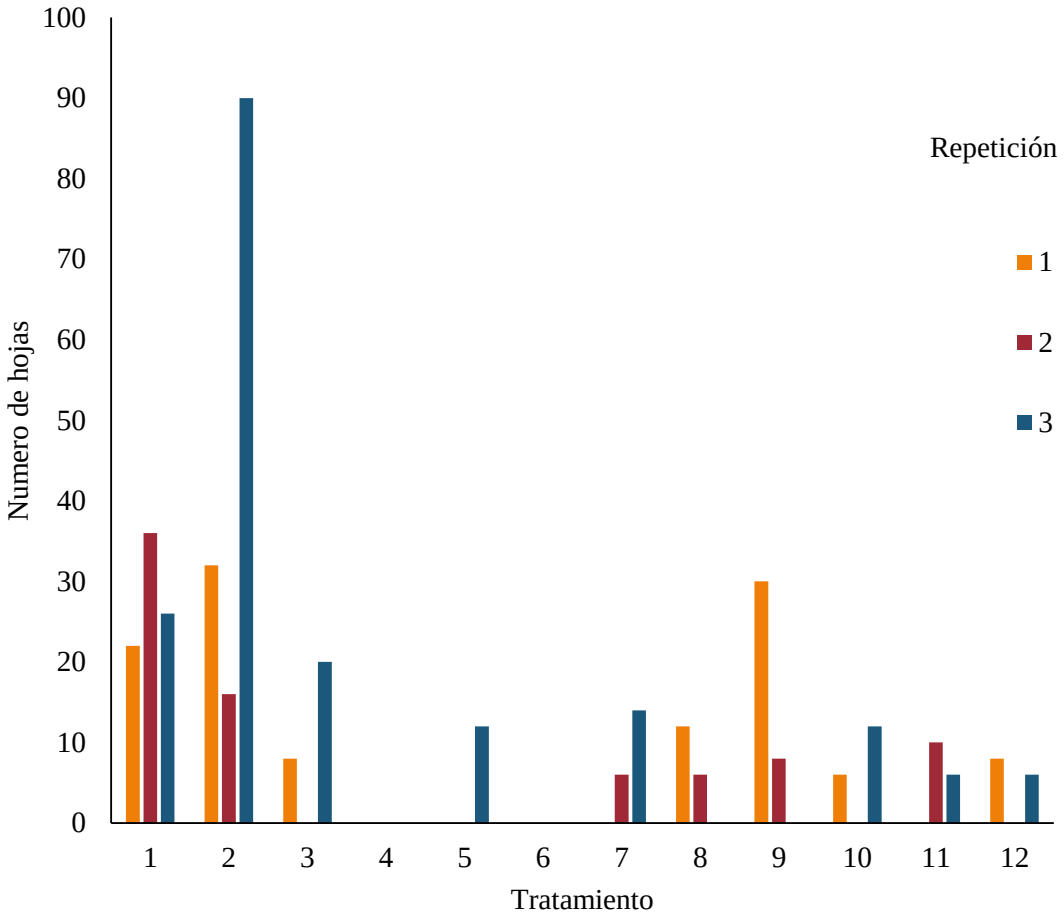

Figura 31. *Número de hojas*

5.8.1 Número de hojas. El tratamiento que dio el mayor porcentaje y conteo de hojas fue el tratamiento dos, donde una de sus repeticiones destaco sobre las otras dos, no presenta una homogeneidad en el número de hojas que presenta a lo largo de sus tres repeticiones; el tratamiento uno el cual es el segundo con el mayor conteo de hojas, si muestra cierta homogeneidad entre sus repeticiones. El tratamiento cuatro a pesar de haber presentado germinación de semillas no posee datos de conteo de hojas puesto que, a la fecha de realizar dicha medición, las plántulas antes germinadas habían muerto.

5.9 Conductancia Estomática.

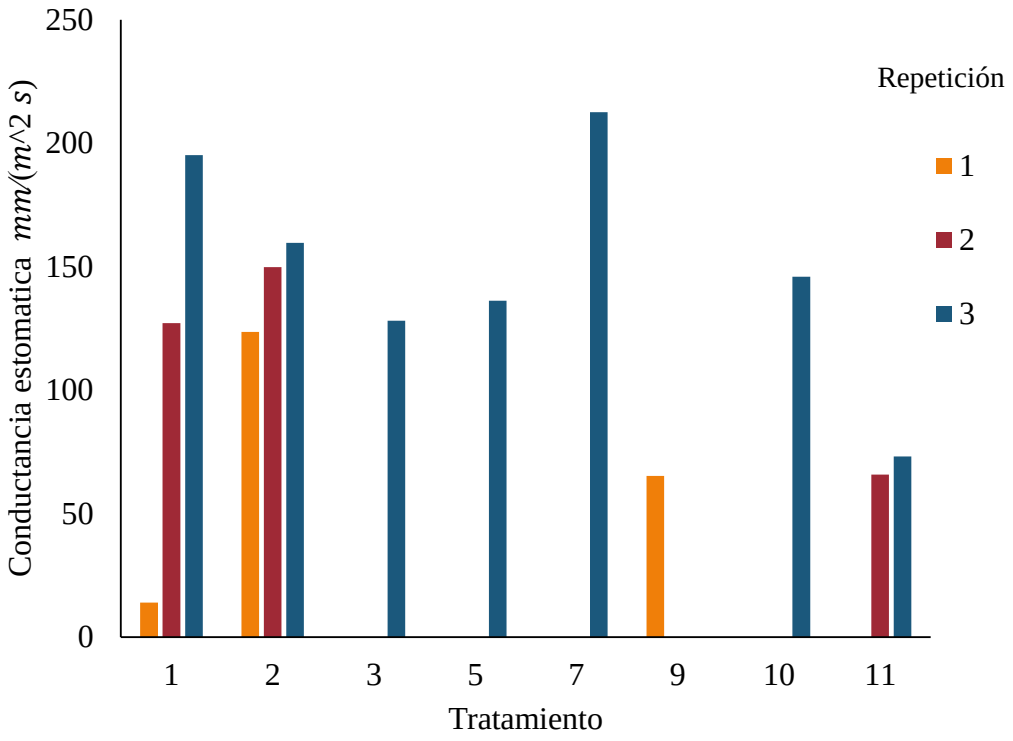

Figura 32. Conductancia estomática.

La conductancia estomática, con valores altos nos muestra que en estas plántulas se presenta un mayor intercambio gaseoso entra la planta y el aire que la rodea, intercambiando CO_2 del aire por agua en la planta a través de las estomas. Los mayores valores los presentan las plántulas del tratamiento dos en conjunto y con una notable homogeneidad, mientras que el mayor valor recolectado es del tratamiento siete, aunque este solo posea una repetición. En general, los sustratos de arena, o repetición tres, son los que presentan los mayores valores en cada tratamiento existente.

5.10 Temperatura Foliar.

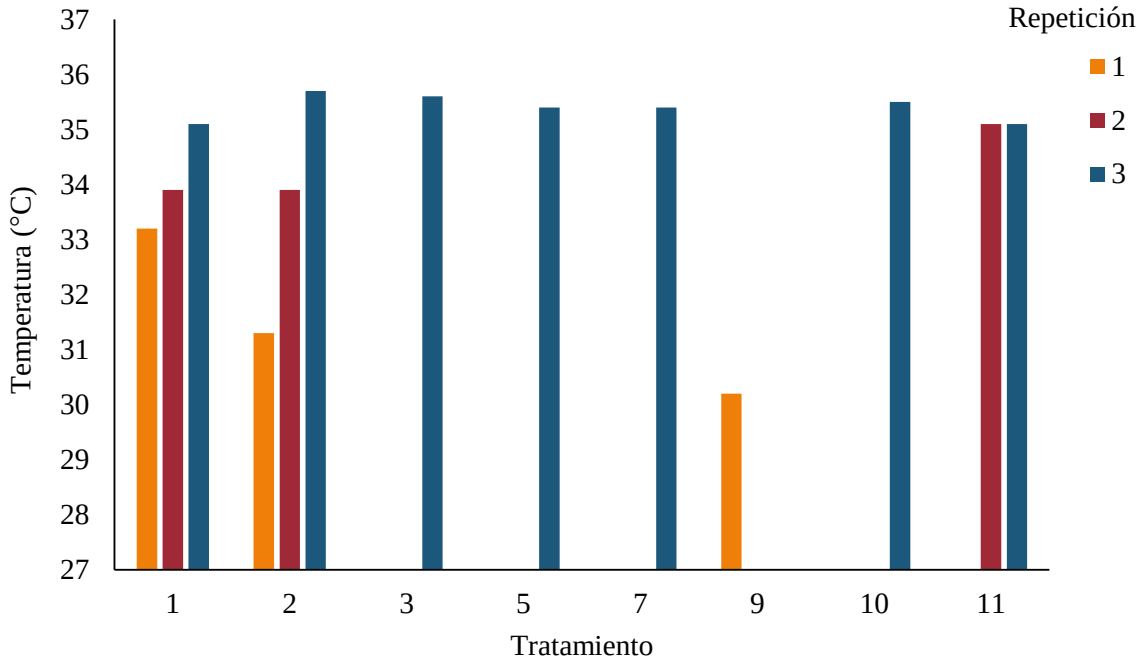

Figura 33. Temperatura foliar.

La temperatura foliar se encuentra en valores normales con respecto al ambiente en el que se encuentran, los tratamientos presentan una fluctuación de sus temperaturas mínima manteniéndose homogéneos, pero existe una variación de temperaturas entre sustratos siendo la más baja para el sustrato de tierra-arena, la media para la tierra, y la más alta para la arena. Este comportamiento de temperaturas por sustratos se ve en la mayoría de los tratamientos.

5.11 Eficiencia Fotosintética.

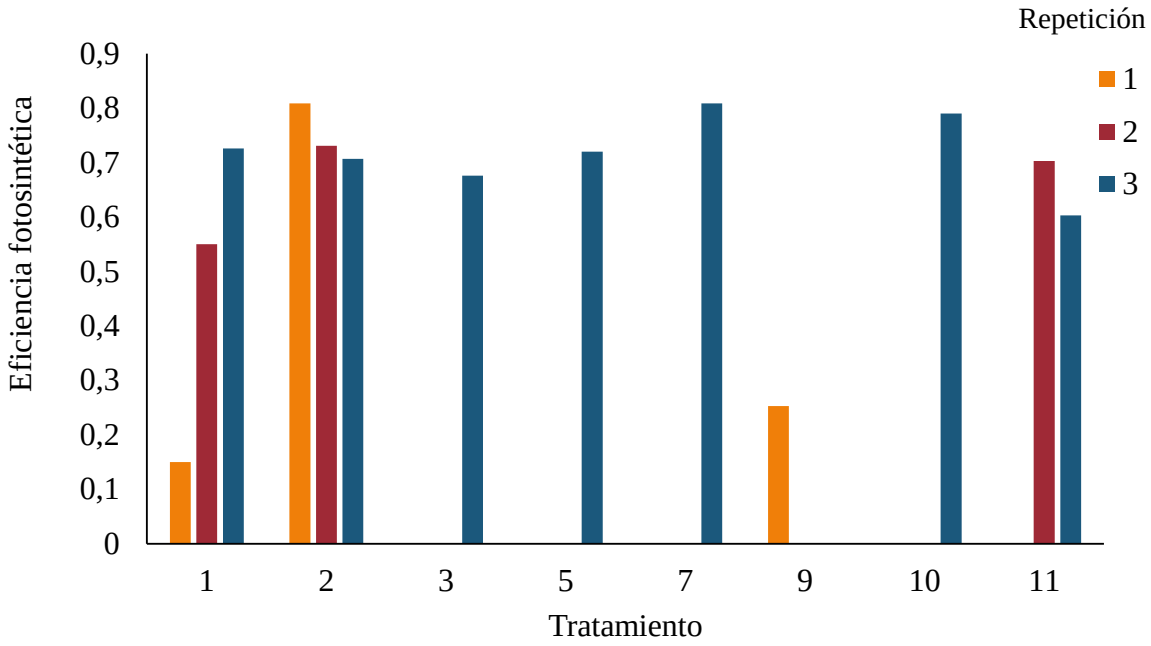

Figura 34. Valores de eficiencia fotosintética

Los valores normales aceptados para la eficiencia fotosintética deben ser mayores a 0.8, lo cual nos dice que las plantas analizadas están altamente estresadas. Provocando una disminución en el crecimiento de las plantas, los resultados más cercanos a los valores aceptados son los del tratamiento número dos, el cual presenta una aproximación en las tres repeticiones realizadas.

5.12 Humedad Relativa.

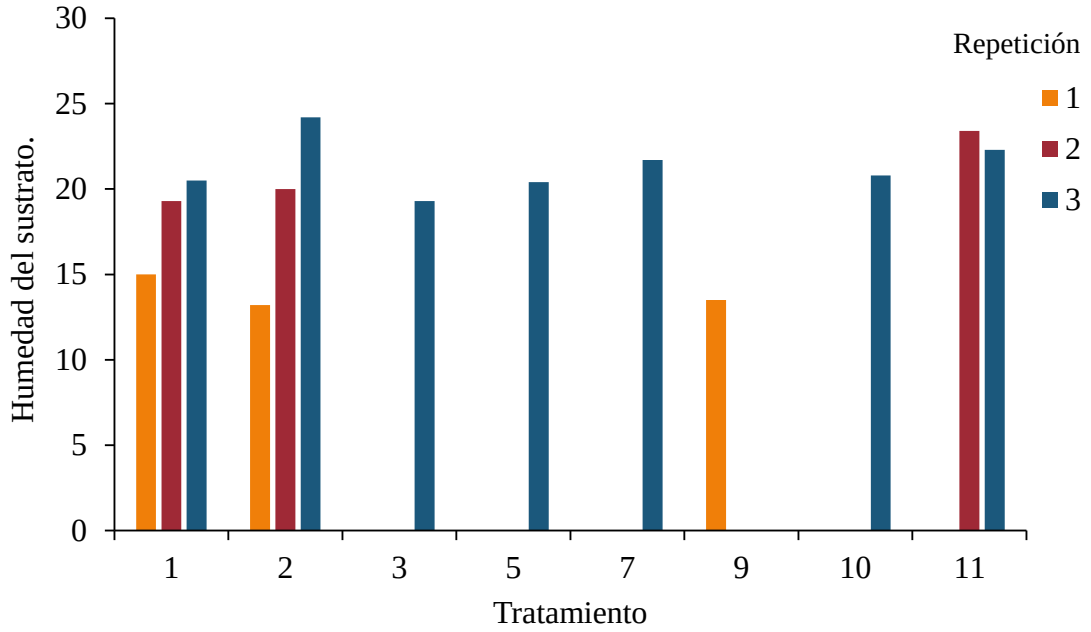

Figura 35. Humedad del sustrato.

Los valores de humedad que se presentaron para los sustratos presentan un comportamiento normal a nivel de tratamientos, pero presentan una variación entre sustratos, los valores más altos en la mayoría de los tratamientos los presenta el de arena, los valores medios son para los de tierra, y los más bajos para tierra arena, pero a pesar de esto presentan valores adecuados para la supervivencia de las plantas, los datos se tomaron solo en los sustratos que presentaban plántulas germinadas.

5.13 Análisis General.

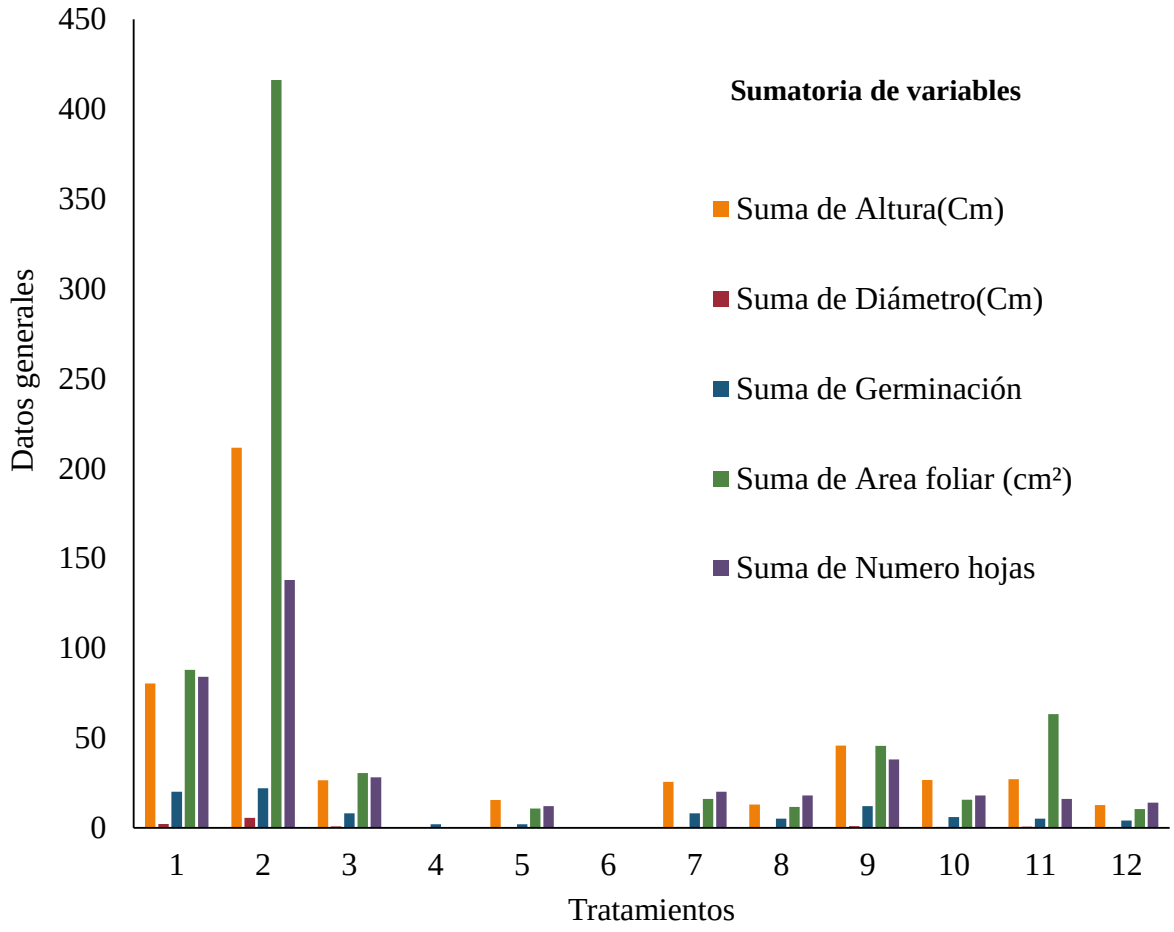

Figura 36. Datos generales.

Al hacer un análisis de los datos obtenidos conjuntamente, se puede apreciar una gran dominancia del tratamiento dos, siendo este tratamiento el que arroja los mayores datos de germinación, alturas, diámetros, número de hojas y área foliar, el tratamiento uno es el que le sigue con los valores más altos, el tratamiento cinco es el que peores resultados arrojo.

6 Discusión

Los resultados mostrados en germinación, altura y diámetro, área foliar y número de hojas fue el tratamiento 2 el cual corresponde a cobertura trasparente, se pudo observar que este tratamiento fue por diferencia el que genero mejores resultados en cuanto las variables estudiadas, las coberturas transparentes fueron las de mejor resultado en el experimento, y lo valores más bajos obtenidos fueron los de las coberturas azules y en segundo lugar la de color amarillo, contrario a lo encontrado (Bustos, 2009)en cuanto a la cobertura que presento los mejores resultados en la germinación la cual fue la cobertura con de color rojo y para los resultados de crecimiento en su fase inicial las coberturas de color azul y rojo, fueron los q generaron un mayor resultado, en cuanto al área foliar de las plántulas medidas en este experimento fueron las de color negro y azul las que generaron un mayor valor en área foliar. Estos resultados en el color para los mejores resultados fueron similares para (Casierra y Rojas, 2009), en el cual es el color rojo fue el que favoreció el crecimiento en altura, masa seca y número de hojas en el brócoli (*Brassica oleracea var. italica*) las menores variables obtenidas fueron por parte de coberturas azules y amarillas. Se observa que para (Bustos, 2009) y (Casierra y Rojas, 2009) los mejores resultados fueron el color rojo y los más bajos si se diferencian. Siendo la cobertura roja la de mejor resultados, esto se debe a que la mayor absorción de la clorofila es mayor con las longitudes de ondas entre los 400-700 nm

Esto contradice los resultados obtenidos en el presente trabajo, pero gracias al espectro de transmitancia (Díaz *et al.*, 2000) este resultados atípicos se puede explicar, este fenómeno, trata de que una cobertura dejara pasar las longitudes de ondas del color que esta posea, pero limitara la cantidad de luz que recibirá la planta, esto es contraproducente para la especie usada (*Tectonca*

grandis L.f) que es un árbol que en todas las fases de su desarrollo necesitara la mayor exposición lumínica posible, explicando de esta manera que la cobertura azul la cual ofrecía un paso parcial de la luz, fuera la de menores resultados obtenidos, y la transparente que permitía el 100% de luminosidad al exponerse al sol resultara ser la más adecuada para este tipo de experimentos, explica aún más que las coberturas rojas obtuvieron los segundos mejores resultados, por un lado por la longitud de onda que sería la óptima para la absorción por parte de la clorofila, pero producía un paso parcial de la luz creando valores medios de crecimiento.

La incidencia del sustrato en las variables estudiadas resultados favorables en los tratamientos uno y dos Arena-tierra y tierra respectivamente, estos generaron buenos resultados en cuanto a la germinación de las semillas, en el trabajo realizado en la misma especie por el semillero (Salazar y Leiva, 2010) los resultados favorables fueron en la implementación del sustrato de tierra más arena en proporciones de 1 a 3 respectivamente, aunque en dicho trabajo no se realizó germinación en sustrato de solo tierra, para nuestro trabajo la utilización de tierra dio resultados favorables en cuanto la germinación y su fase inicial de crecimiento. Las recomendaciones hechas por el semillero a la hora de la venta de las semillas resultan acertadas al observar los resultados. Esto se debe a que la teca es una especie que para su germinación y crecimiento necesita de sustratos con buen drenaje, porosidad y baja compactación para evitar problemas en el desarrollo de la semilla, estas especificaciones las cumplen los sustratos de tierra-arena. Los más bajos resultados dados por los sustratos de arena se deben a que es un sustrato que en épocas de lluvia retiene demasiada humedad y en épocas de sequía la pierda con facilidad, también se tiene grandes aumentos en la temperatura al estar expuesta al sol, esto provoca problemas en la germinación y posterior desarrollo de la raíz de la planta.

7 Conclusiones

El tratamiento con los resultados más beneficiosos para el desarrollo en el crecimiento diametral y de altura de la especie *Tectona grandis*, fue el tratamiento número dos el cual no solo dio mejores resultados en estos valores, también en el porcentaje de germinación, número de hojas y el área foliar.

La falta de germinación en el tratamiento número seis, lo da como el tratamiento menos recomendado a la hora de germinar semillas de teca.

En general la cobertura con los más bajos resultados es la azul por debajo de las demás coberturas, independiente de el sustrato usado. Aunque no hubo datos suficientes de crecimiento, se descarta su uso, ya que sin importar los posteriores posibles resultados que pueda arrojar, no son garantía de que se mejoren los obtenidos en los demás tratamientos.

El sustrato que dio mayores resultados por encima de todos los tratamientos fue el sustrato de la repetición uno o tierra-arena, seguido del sustrato de tierra y el más bajo observado fue el de arena. Esto se hace recurrente independientemente de la cobertura usada en dicho sustrato.

La cobertura que dio los mejores resultados y por ende es la más recomendada, es la transparente. Este tratamiento independiente del sustrato usado, mostro mayores crecimientos en cada una de las repeticiones. Destacando con los mejores en el sustrato de tierra.

El exceso de humedad en el sustrato es contraproducente a la hora de germinar semillas de la especie teca, disminuyendo el porcentaje de germinación o muerte de las plántulas germinadas. Al igual que esto la falta de circulación de aire y exceso de humedad contribuyo a la mortalidad de semillas y plántulas, por el aumento de la temperatura en las bandejas de germinación.

8 Recomendaciones

Es de gran importancia para próximos estudios sobre implementación de coberturas de colores y experimentos sobre absorción de longitud de onda del espectro visible, el colocar las coberturas en una estructura de vivero o parecida, para que así no tenga afectaciones por el calor y la humedad que se presenta al colocar las coberturas a bajas alturas sobre las bandejas de germinación.

Hacer estudios sobre los regímenes de riego de la especie usada, para así conocer las cantidades de agua en el riego y la frecuencia con que se debe hacer, y de esta forma producir la germinación de la semilla, evitando de esta forma problemas de falta o exceso de agua, por ende, lograr una germinación mayor y más homogénea.

Conseguir semillas certificadas para los experimentos, conocer su procedencia, su almacenamiento y su fecha de recolección para no tener problemas de disminución en su porcentaje de germinación.

Una vez adquirirlas las semillas se recomienda mantenerlas almacenadas bajo condiciones de temperatura apropiadas para así evitar que estas pierdan viabilidad.

Referencias Bibliográficas

Anderson, A., y Leach, C. (1962). *Análisis de las semillas para descubrir organismos que son llevadas en ellas*. Ciudad México, México: Continental S.A.

Arias, A. (2008). ¿Cómo definir la energía en los cursos básicos?. *Latin-American Journal of Physics Education, 2*(3), 21.

Aristeguieta, L. (1973). *Familias y géneros de los árboles de Venezuela*. Caracas, Venezuela: Instituto Botánico.

Barrera, J., Suárez, D., y Melgarejo, L. (Ed.). (2010). *Análisis de Crecimiento en Plantas. Laboratorio de fisiología y bioquímica vegetal.* Bógota, Colombia: Universidad Nacional de Colombia.

Beard, J. (1943). The importance of race in teak, Tectona grandis L. *Indian Forester, 69*(12), 486-488.

Benthall, A. (1946). *The trees of Clacutta: and its neighbourhood*. Calcutta, India: Thacker Spink and Co. Ltd.

Bidwell, R. (1993). *Fisiología vegetal*. Ciudad de México,México: AGT.

Bustos, Á. (2009). *Ensayo de calidad lumínica en plantas de Eucalyptus globulus, Eucalyptus nitens y Pinus radiata bajo cobertura de malla raschel y papel celofán de colores* (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.

Casierra, F., y Rojas, J. (2009). Efecto de la exposición del semillero a coberturas de colores sobre el desarrollo y productividad del brócoli (*Brassica oleracea* var. italica). *Agronomía Colombiana, 27*(1), 49-55.

Cespédes, D. (2013). *Estudio de factibilidad para el cultivo y comercialización de teca, ubicado En el cantón san dicente, provincia de Manabí, Ecuador* (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Ambato, Ecuador

Colombia Leyes y Decretos, Decreto 216 de 2003, Diario Oficial 45086 (Febrero 3 de 2003).

Colombia Leyes y Decretos, Decreto 2811 de 1974, Diario Oficial 34243 (Diciembre 18 de 1974).

Colombia, Leyes y Decretos. Ley 99 del 1993. Diario Oficial 41146. (22 de diciembre de 1993).

Colombia, Leyes y Decretos. Ley 165 de 1994. Diario Oficial No. 41.589. (01 de julio 1994).

Colombia, Política de Bosques, Documento CONPES No. 2834 (enero de 1996).

Colombia, Constitución Política de Colombia. Gaceta Constitucional No. 116 (20 de julio de 1991).

Díaz, N., Ruiz, J., Reyes, E., Cejudo, A., Novo, J., Peinado, J., *et al.* (2000). *Espectrofometría: Espectros de absorción y cuantificación colorimétrica de biomoléculas. Universidad de Córdoba. España.* Recuperado de: https://www.uco.es/dptos/bioquimica-biol-mol/pdfs/08ESPECTROFOTOMETRIA.pdf.

FAO. (2000). Teca. *Revista Internacional de Silvicultura e Industrias Forestales (Unasylva), 1*(5), 4-5.

Goitia, L. (2003). *Manual de dasonomía y silvicultura.* La Paz, Bolivia: Facultad de Agronomía, Universidad Mayor de San Andrés (UMSA).

Goméz, A. (2015). Crece demanda por los maderables. *El campesino.com: La voz del campo Colombiano.* Recuperado de https://www.elcampesino.co/el-arbol-de-teca/.

Gómez, F. (2014). Efecto de la calidad espectral sobre el desarrollo vegetal de *Salvia splendens* variedad Vista Red and White. *Revista Tecnología en Marcha, 27*(8), 49-54.

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2010a). *Resolución 1167 de 2010.* Diario Oficial No. 47.666 (29 de marzo de 2010).

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2010b). *Resolución 2457 de 2010*. Diario Oficial No. 47.778 (22 de julio de 2010).

Instituto Colombiano Agropecuario (ICA). (2015). *Resolución 3168 de 2015.* Diario Oficial No. 49.632 (11 de septiembre de 2015).

Keogh, R. (2009). Future of teak and the high-grade tropical hardwood sector: Solving the Tropical Hardwood Crisis with Emphasis on TEAK. *FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations),* 1(00153), 47.

Keogh, R., y Whitmore, J. (Septiembre de 1980). Teca (*Tectona grandis* Linn. F.) procedencias del Caribe, Centro América, Venezuela y Colombia Producción de madera en los neotrópicos por medio de plantaciones. *Producción de Madera en los Neotrópicos por Medio de Plantaciones*, simposio IUFRO, Viena (Austria); Programme on Man and the Biosphere, Paris (Francia); Dept. de Agricultura, Río Piedras, Puerto Rico.

Khan Academy, (2018). *Luz y pigmentos fotosintéticos*.: Khan Academy. Recuperado de https://es.khanacademy.org/science/biology/photosynthesis-in-plants/the-light-dependent-reactions-of-photosynthesis/a/light-and-photosynthetic-pigments.

Krishnapillay, B. (2000). Silvicultura y ordenación de la plantaciones de teca. *Unasylva 201, 51*(1), 14-21.

Lohse, L. (1997). *Evaluación germinativa en semillas de mara (Swietenia macrophylla, King) en seis tipos de substratos.* (Tesis doctoral). Universidad Mayor de San Andrés (UMSA), La Paz, Bolivia.

López, S. (1977). *Flora de Venezuela: Verbenaceae*. Merida, Venezuela*:* Universidad de Los Andes.

Losada, M. (1977). Los distintos tipos de fotosíntesis y su regulación. *Investigación y Ciencia, 1*(7), 6-18.

Medina, E., De Bifano, T., y Delgado, M. (1976). Diferenciación fotosintética en plantas superiores. *Interciencia, 1*(2), 96-103.

Meyer, B., Anderson, D., Bohning, R., Guibert, L., y Pitterbarg, R. (1966). *Introducción a la fisiología vegetal.* Recuperado de: http://www.sidalc.net/cgi-bin/wxis.exe/?IsisScript=UCC.xis&method=post&formato=2&cantidad=1&expresion=mfn=031617.

Moya, R., Berrocal, A., Serrano, J., y Tomazello, M. (2009). Variación radial de la anatomía, densidad y durabilidad de la madera de teca (Tectona grandis) procedente de dos calidades de sitio y dos regiones climáticas de Costa Rica. *Investigación agraria: Sistemas y recursos forestales, 18*(2), 119-131.

Niembro, A. (1988). *Semillas de árboles y arbustos: ontogenia y estructura*: Ciudad de México, México: Editorial Limusa.

Pandey, D., y Brown, C. (2000). La teca: una visión global. *Unasylva, 51*(2), 3-13.

Patiño Valera, F. (1983). *Guía para la recolección y manejo de semillas de especies forestales.* Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/44510093_Guia_para_la_recoleccion_y_manejo_de_semillas_de_especies_forestales_Fernando_Patino_Valera_et_al.

Pérez, C. (2007). *Germinación de semillas de mimosa aculeaticarpa var. biuncifera (benth) barneby (fabaceas)* (tesis de pregrado). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Pachuca de Soto Hidalgo, México.

Quenallata, J. (2008). *Aplicación de técnicas pregerminativas en semillas de Teca (Tectona grandis L.) en Sapecho- La Paz.* (Tesis de pregrado) Universidad Mayor de San Andrés, Facultad de Agronomía, Sapecho- La Paz.

Rasband, W. (2007). ImageJ. Recuperado de http://rsbweb.nih.gov/ij/

Redacción agropecuaria. (2015). Teca, el maderable que más se siembra en Santander. *Vangiardia. Com.* Recuperado de https://www.vanguardia.com/economia/local/teca-el-maderable-que-mas-se-siembra-en-santander-JBVL339321.

Reol, E. (2003). Los pigmentos fotosintéticos, algo más que la captación de luz para la fotosíntesis. *Revista Ecosistemas, 12*(1), 11.

Rodriguez, M. (1985). *Morfología y anatomía vegetal*. La Paz, Bolivia: Los Amigos del Libro.

Rodríguez, R. (2010). *Manual de prácticas de viveros forestales*. Pachuca Hgo., México: Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo.

Salazar, A., y Leiva, S. (2010). *Desarrollo de un paquete tecnológico para la producción de material forestal reproductivo certificado de teca para la Costa Atlántica colombiana*. Bógota, Colombia: Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural.

Seino, H. (1971). *Técnicas para el mejoramiento del cultivo de durazno en Bolivia.* Cochabamba, Bolivia: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).

Taiz, L., y Zeiger, E. (2007). *Fisiologia vegetal*. Los Angeles, Estados Unidos: Sínauer Associates.

Weaver, P. (1993). *Tectona grandis L. f.* New Orleans, U.S.A.*:*Department of Agriculture, Forest Service, Southern Forest Experiment Station.

White, K. (1991). *Teak: some aspects of research and development.* Bangkok, Thailand: FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations).

Willan, R. (1991). *Guía para la manipulación de semillas forestales con especial referencia a los trópicos*. Roma, Italia: FAO.

Apéndices

Apéndice A.

Formato recolección de datos en campo para las variables germinación, altura, diámetro.

Efectos de los diferentes rangos de longitud de onda sobre la germinación y crecimiento inicial en la especie Teca (*Tectona grandis* L.f)										
Medición:										
Repetición:			**Bandeja:**			**Tratamiento:**				
Plántula.	*Fecha 1*	*Fecha 2*	*Fecha 3*	*Fecha 4*	*Fecha 5*	*Fecha 6*	*Fecha 7*	*Fecha 8*	*Fecha 9*	*Fecha 10*
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
16										
17										
18										

Apéndice B.

Formato para la recolección de datos en campo de las variables: (Número de hojas, Área foliar, conductancia estomática y eficiencia fotosintética)

Efectos de los diferentes rangos de longitud de onda sobre la germinación y crecimiento inicial en la especie Teca (*Tectona grandis* L.f).		
Medición:		Fecha:
Repetición:	Bandeja:	Tratamiento:
Plántula.	Medición	
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		
13		
14		
15		
16		
17		
18		