

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**MANEJO INTENSIVO DE RIEGO Y NUTRICIÓN EN
MINIJARDINES CLONALES DE *Tectona grandis* (Linn. F.)
EN LA ZONA SUR DE COSTA RICA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

FIGURELLA MARÍA CALDERÓN UREÑA

CARTAGO, COSTA RICA, 2018



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE INGENIERÍA FORESTAL

**MANEJO INTENSIVO DE RIEGO Y NUTRICIÓN EN
MINIJARDINES CLONALES DE *Tectona grandis* (Linn. F.)
EN LA ZONA SUR DE COSTA RICA**

**TESIS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO FORESTAL CON EL
GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA**

FIGURELLA MARÍA CALDERÓN UREÑA

CARTAGO, COSTA RICA, 2018

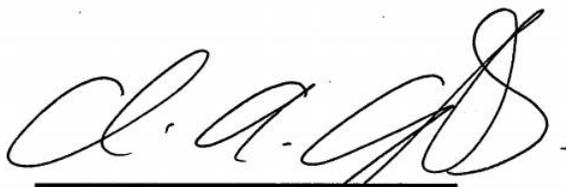
CONSTANCIA DE APROBACIÓN

MANEJO INTENSIVO DE RIEGO Y NUTRICIÓN EN MINIJARDINES CLONALES
DE *Tectona grandis* (Linn. F.) EN LA ZONA SUR DE COSTA RICA

Proyecto final de graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería
Forestal.



Ing. Sofia Quirós Monge
Lectora de Tesis



Edwin Esquivel Segura Ph.D.
Director de Tesis



Mario Guevara Bonilla M. Sc.
Lector de Tesis



Dorian Carvajar Vanegas
Coordinador de Trabajo Final
de Graduación



Fiorella Calderón Ureña.
Estudiante

DEDICATORIA

A Dios por estar al lado mío y guiarme durante toda esta travesía.

A mi mamá Ana, mi papá Erick, mi hermana Daniela y mi Romeo, por ser parte de mi linda familia y ser pilares fundamentales de mi vida.

A todas las personas que me apoyaron.

AGRADECIMIENTO

Le agradezco a la empresa American Reforestation Company, a Willy Barrantes por tomarme en cuenta y permitirme realizar el proyecto de graduación con ellos, a la Ing. Sofia Quirós por la ayuda y cooperación brindada a lo largo del proyecto, a las Ingenieras Denia Brenes, Marcela Villegas y Stephanie Aragón por los buenos ratos y el buen trato durante mi estadía; y también a todo el personal administrativo y de vivero por su disposición a colaborar.

A Edwin Esquivel Ph. D. por orientarme durante el proyecto y ser un excelente tutor de tesis, pero en general un muy buen profesor y amigo a lo largo de toda la carrera.

A todos los profesores y administrativos de la escuela de ingeniería forestal por transmitir sus conocimientos, en especial a Edgar Ortiz Ph. D., Mario Guevara M. Sc. y Dorian Carvajal M. Sc. por su colaboración en mi etapa de tesis.

A mis amigos que de una u otra forma me ayudaron para lograr realizar este proyecto.

A mis compañeros, amigos y futuros colegas por compartir tantos momentos chivas y hacer que estos años hayan sido una etapa increíble de mi vida.

A mi abuelo Porfi por enseñarme a valorar y a querer a la naturaleza tanto como él lo hace.

A toda mi familia por apoyarme y ser el soporte para seguir adelante durante todos mis estudios.

MANEJO INTENSIVO DE RIEGO Y NUTRICIÓN EN MINIJARDINES CLONALES DE *Tectona grandis* (Linn. F.) EN LA ZONA SUR DE COSTA RICA

Fiorella Calderón Ureña

RESUMEN

La nutrición forestal es un tema en desarrollo actualmente tanto en plantaciones como en las etapas de vivero. En casos como los minijardines clonales existen plantas madre que presentan clorosis indicando algún tipo de deficiencia nutricional. En un minijardín clonal de *Tectona grandis* se evaluó el sistema de riego y la aplicación de tratamientos, mezclando dosis de fertilizantes (orgánicos y sales) junto con criterios de riego variados para así poder aplicar la técnica de fertirriego. Se determinaron los coeficientes de uniformidad de Christiansen y de distribución. Aparte de los tratamientos, también se utilizó el factor de semanas para evaluar el comportamiento de las plantas madre de teca ante la cosecha de brotes. El sistema de riego mostró resultados de su uniformidad que lo catalogan como inaceptable. En cuanto a las variables medidas (diámetro, altura, número de hojas y cantidad de brotes) no se encontraron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre tratamientos, pero sí entre semanas. En este proyecto se concluye que a pesar de que no existieron diferencias significativas entre tratamientos, los costos de utilizar sales como fertilizante son considerablemente menores.

Palabras clave: Clorosis, deficiencia nutricional, fertirriego, teca, brotes.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial – Compartirlgual 4.0 Internacional.

ABSTRACT

The forestry nutrition is a current development topic both in plantation and in the nursery stages. In cases like clonal minigardens, there are mother plants that have chlorosis that shows some kind of nutritional deficiency. In a clonal minigarden with *Tectona grandis* the irrigation system and a treatment application were evaluated by mixing fertilizer doses (organic and salts) with varied irrigation criteria to apply the fertigation technique. The Christiansen and distribution uniformity coefficients were determined for the irrigation system. In addition to the treatments, the weekly factor were also used to evaluate the behavior of teak mother plants considering the sprouts harvest. The irrigation system showed results of its uniformity that placed it in an unacceptable level. Regarding the variable measures (diameter, height, number of leaves and sprouts) there weren't significant difference ($p \leq 0.05$) between treatments but yes between weeks. In this project it is concluded that although there weren't significant difference between treatments, the costs for using salts as fertilizer are considerably lower.

Key words: Chlorosis, nutritional deficiency, fertigation, teak, sprouts.

*Calderón Ureña, F. (2018). Manejo intensivo de riego y nutrición en minijardines clonales de *Tectona grandis* (Linn. F.) en la zona sur de Costa Rica. Tesis de licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 47p.

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA.....	i
AGRADECIMIENTO	ii
RESUMEN	iii
ABSTRACT	iv
ÍNDICE GENERAL.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS.....	3
Sitio de estudio	3
Establecimiento de línea base	3
Propiedades físicas	4
Homogeneidad del riego.....	4
Densidad aparente	7
Identificación de nutrientes	8
Estrategia de mejoramiento	9
Diseño experimental.....	11
Análisis de datos.....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	13
Línea base	13
Propiedades físicas	13
Homogeneidad del riego.....	14
Densidad aparente y contenido de humedad	16
Identificación de nutrientes	17
Estrategia de mejoramiento	19
Diámetro	19
Altura	21
Brotes	23
Hojas	26

Costos	28
CONCLUSIONES	31
RECOMENDACIONES	32
REFERENCIAS.....	33

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Colocación de frascos en el minijardín para la determinación del CUC y CUD, Puntarenas, Costa Rica.....	6
Figura 2. Representación visual del agua de riego recolectada para cada bancal del minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	15
Figura 3. Diámetro de plantas madre de <i>Tectona grandis</i> de acuerdo a la semana de medición en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.	20
Figura 4. Altura de plantas madre de <i>Tectona grandis</i> de acuerdo a los tratamientos utilizados en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.	21
Figura 5. Altura de plantas madre de <i>Tectona grandis</i> de acuerdo a la semana de medición en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.	22
Figura 6. Cantidad de hojas por planta madre de <i>Tectona grandis</i> de acuerdo a los tratamientos utilizados en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.	24
Figura 7. Cantidad de brotes por planta madre de <i>Tectona grandis</i> de acuerdo a la semana de medición en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.	25
Figura 8. Cantidad de hojas por planta madre de <i>Tectona grandis</i> de acuerdo a la semana de medición en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.	27
Figura 9. Visualización de cantidad de hojas en plantas madre de <i>Tectona grandis</i> al comparar dos semanas seguidas de medición en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.....	28

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Medición de largo y ancho de los bancales utilizados en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.	3
Cuadro 2. Parámetros de clasificación del desempeño de sistemas de riego por aspersión, con base en el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) y de distribución (CUD).	7
Cuadro 3. Tratamientos utilizados para ensayo en el minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	9
Cuadro 4. Distribución de tratamientos en relación a las parcelas y bancales del minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	11
Cuadro 5. Tamaño y porcentaje de partículas presentes en cada bancal en el minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	13
Cuadro 6. Coeficiente de uniformidad de Christiansen y coeficiente de uniformidad de distribución para cada bancal del minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	14
Cuadro 7. Promedio del agua de riego recolectada para cada bancal del minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	16
Cuadro 8. Densidad aparente de cada bancal en el minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	16
Cuadro 9. Contenido de humedad de sustrato antes de ser regado en el minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	17
Cuadro 10. Análisis químico de agua utilizada para el riego en el minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	17
Cuadro 11. Análisis químico de muestras de sustrato para cada bancal evaluado en el minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	18
Cuadro 12. Análisis químico de muestras foliares para cada bancal evaluado en el minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	19
Cuadro 13. Promedio de altura de plantas madre para cada semana evaluada en el minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.	23

Cuadro 14. Precio de fertilizantes y sales utilizadas para la nutrición de las plantas madre de <i>Tectona grandis</i> en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.	28
Cuadro 15. Rendimiento de las diferentes dosis utilizadas en el minijardín clonal de <i>Tectona grandis</i> , Puntarenas, Costa Rica.....	29

INTRODUCCIÓN

La teca (*Tectona grandis* Linn. F.) es un árbol maderable de importancia económica en bosques tropicales y subtropicales (Camel, Galeano y Carrer 2017). Esta especie a pesar de ser exótica, es una de las especies más utilizadas en Costa Rica en proyectos de reforestación comercial. De acuerdo con la Organización Internacional de Maderas Tropicales (ITTO por sus siglas en inglés) (2004) el éxito de la teca se debe a sus buenas características de durabilidad, fácil labrado, cualidades estéticas, resistencia y su peso considerado como liviano.

Uno de los métodos más utilizados actualmente en el país para la reproducción de esta especie son los viveros clonales mediante la técnica de propagación vegetativa. Este método se basa en la producción de minijardines y la obtención de mini-estaquillas en ambientes protegidos o invernaderos (Murillo, Wright, Monteuis y Montenegro, 2013). La alternativa de producción clonal trata de mejorar la producción, disminuir tiempos de enraizamiento, tener mejores respuestas a problemas fitosanitarios y mantener la producción de plántulas durante todo el año a pesar de condiciones desfavorables del tiempo (Chacón y Murillo; 2005).

Los viveros clonales presentan varias etapas dentro del proceso de producción clonal, una de ellas son los minijardines. Dentro de estos se encuentran las plantas madre, las cuales son escogidas de acuerdo a sus árboles parentales, quienes de acuerdo a Espitia, Murillo y Castillo (2011) son el éxito del mejoramiento genético. Estas plantas son las encargadas de producir brotes que luego de diversas actividades serán seleccionadas para llevar a campo.

Con el fin de mantener una producción de brotes constante es de gran relevancia que las plantas madre permanezcan dentro de un invernadero, teniendo controladas condiciones de humedad y temperatura, buenas condiciones sanitarias y además un adecuado manejo del riego y nutrición para permitir crecimientos vigorosos y libres de enfermedades (Daorden, 2007; Ayala, 2011). Dentro de las variables

mencionadas el riego es una de las más importantes, ya que el agua es uno de los principales factores en la promoción de crecimiento en ecosistemas artificiales como lo son los invernaderos (Landis, Tinus, McDonald, y Barnett, 1989; Centeno, 2017).

De acuerdo con McDonald (1987) el conocer el momento adecuado para regar y la manera para realizar la actividad puede prevenir el daño por calor, además menciona que el principal objetivo del riego en viveros es disminuir el estrés de las plantas por causa de la humedad. Centeno (2017) comenta que un mal diseño de riego puede producir aplicaciones de agua excesivas o insuficientes lo que provocaría baja efectividad y afectación directa en el desarrollo de las plantas en los minijardines.

En conjunto con el riego la fertilización es una de las prácticas culturales que influye más directamente en la calidad de las plantas (Escamilla, Obrador, Carrillo y Palma, 2015). Las plantas responden diferente ante la aplicación de distintas dosis de fertilizante, por lo que Escamilla et al. (2015) indican que es necesario realizar investigaciones acerca de la respuesta que estas tienen ante la aplicación de las dosis. Por otro lado, Hernández y Rubilar (2012) mencionan que tanto el nitrógeno como el fósforo son elementos esenciales para la producción de plantas y de acuerdo con Chávez y Fonseca (1991), la aplicación de N, P y K favorecen el crecimiento, color y vigor de las plantas de teca en la etapa de viveros.

La empresa American Reforestation Company cuenta con minijardines clonales de teca. No obstante, las técnicas de nutrición que la empresa utiliza no están respaldadas con criterios de riego y fertilización definidos y fundamentados. Es por eso que se cree que con el aumento en el manejo nutricional y del riego del minijardín, se incrementará la producción y la calidad de brotes en las plantas madre.

El objetivo de este proyecto fue mejorar estado nutricional de los minijardines clonales de *Tectona grandis* (Linn F.) ubicados en la zona sur del país.

MATERIALES Y MÉTODOS

SITIO DE ESTUDIO

El proyecto se estableció en el vivero clonal de la empresa American Reforestation Company ubicado en la Península de Osa, específicamente en Puerto Jiménez de Golfito, Puntarenas (83°32'13" W 8°53'88" N).

De acuerdo con la Oficina Subregional Osa y Amador S. (2016) el sitio presenta clima Tropical Húmedo y muy lluvioso, con una precipitación que va desde los 2500 hasta los 6000 mm/año. La estación seca está presente en los meses de diciembre a marzo, siendo marzo y febrero los meses más secos; mientras que la época lluviosa va desde abril a noviembre.

El sitio en estudio se encuentra a 26 msnm (US Dept of State Geographer, 2018) y su temperatura media anual es de 25 °C (Oficina Subregional Osa y Amador S., 2016).

ESTABLECIMIENTO DE LÍNEA BASE

Para establecer la línea base se evaluaron 3 de los bancales cuyas mediciones se encuentran en el cuadro 1.

Cuadro 1. Medición de largo y ancho de los bancales utilizados en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.

Bancal	Largo (m)	Ancho (m)
6	21,00	1,21
7	21,01	1,45
8	21,14	1,42

Durante la semana del 9 al 13 de julio se realizó una evaluación a los minijardines clonales de teca en donde se identificó, mediante la observación y consultas a los encargados del vivero, el horario, tiempo de duración y cantidad de aplicación tanto

del riego como del fertilizante. Además, se observó el método de aplicación de estas dos variables y se consultó sobre el precio de compra de los fertilizantes. Asimismo, se evaluó el manejo brindado a los bancales para conocer el tipo de sustrato utilizado, lavado de bancales y periodo de renovación de plantas madre.

PROPIEDADES FÍSICAS

Se tomaron muestras sustrato para identificar el color tanto en húmedo como en seco con ayuda de una tabla Munsell.

También se realizó la granulometría a la misma muestra con ayuda de tamices de distintos tamaños de mallas (8, 6.7, 2 y 1 mm). Luego de tamizar las muestras se pesó el sustrato que no pasó cada tamiz para determinar los porcentajes de cada granulometría.

HOMOGENEIDAD DEL RIEGO

Para lograr determinar la uniformidad del riego a lo largo de los 3 bancales utilizados para el proyecto se determinó el coeficiente de uniformidad de Christiansen (1942) (CUC) y el coeficiente de uniformidad de distribución (CUD), cuyas fórmulas están representada en las ecuaciones 1 y 2.

$$CUC = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^n |X_i - X_m|}{n * X_m} \right] * 100 \quad (1)$$

$$CUD = \frac{X_{25}}{X_m} \quad (2)$$

Donde

X_i : Cantidad de agua recogida por colector.

X_{25} : Media de 25% del total de recipientes con la menor cantidad de agua recogida (mm).

X_m : Valor medio de la cantidad de agua recogida.

n : Número de colectores

Se utilizaron 63 recipientes de vidrio de 4,7 cm de diámetro por bancal, los cuales se enumeraron de forma consecutiva. En cada bancal se colocaron tablas de madera con una distancia entre ellas de 1 metro para un total de 21 tablas. Se colocaron 3 recipientes en cada una de las tablas manteniendo el orden con respecto a su enumeración, uno en el centro y dos a los lados tal y como se muestra en la figura 1. Se aplicó riego por un tiempo de 2,5 minutos y finalizado este periodo se procedió a determinar el volumen de agua recogida mediante el pesaje de los recipientes con una balanza electrónica ($\pm 0,1$ ml). Al finalizar la medición se secaron los frascos para repetir el procedimiento de nuevo.



Figura 1. Colocación de frascos en el minijardín para la determinación del CUC y CUD, Puntarenas, Costa Rica.

Para cada bancal se realizaron 3 repeticiones. Se midió un bancal por día durante diferentes horas de la mañana (7:00 am, 9:00 am y 10:00 am).

Para interpretar los datos obtenidos de las mediciones del CUC y CUD se utilizaron los parámetros mostrados en el cuadro 2.

Cuadro 2. Parámetros de clasificación del desempeño de sistemas de riego por aspersión con base en el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC) y de distribución (CUD).

	Excelente	Bueno	Razonable	Malo	Inaceptable
CUC (%)	>90	80-90	70-80	60-70	<60
CUD (%)	>84	68-84	52-68	36-52	<36

Bernardo, Alves y Chartuni (2009) mencionado por Flórez et al. (2013)

DENSIDAD APARENTE

Para esta propiedad física se utilizaron 8 cilindros por bancal cuyas medidas fueron de 5 cm de alto y 5 cm de diámetro, los cuales fueron enterrados entre los 5-10 cm de profundidad de cada bancal. Una vez alcanzada la profundidad, cada uno de ellos fue retirado del sustrato teniendo el cuidado de no perder muestra del cilindro colocando tapas a ambos lados de estos.

Posteriormente se procedió a secar las muestras por 24 horas a 105°C y se obtuvo el peso húmedo y el peso seco de cada muestra. A cada cilindro se le calculó el volumen y luego con los datos de peso seco de la muestra y volumen del cilindro se procedió a calcular la densidad aparente con la siguiente ecuación (3):

$$\frac{\text{Peso seco (g)}}{\text{Volumen (cm}^3\text{)}} * 100 \quad (3)$$

CONTENIDO DE HUMEDAD

En la determinación del contenido de humedad se obtuvieron 15 muestras de sustrato del invernadero momentos antes del riego. Cada muestra fue pesada para obtener su peso húmedo y luego se secó en horno por 24 horas a 105°C para conocer su peso seco. Posteriormente se utilizó la siguiente ecuación (4) para determinar la retención de humedad:

$$\frac{\text{Peso húmedo (g)} - \text{Peso seco (g)}}{\text{Peso seco (g)}} * 100 \quad (4)$$

IDENTIFICACIÓN DE NUTRIENTES

Luego de realizar la evaluación, se tomaron muestras de los mismos bancales evaluados anteriormente para realizar distintos análisis químicos.

- a. Muestra de sustrato: Con ayuda de una pala de jardín se obtuvo 10 submuestras de sustrato a lo largo del bancal, para luego mezclar todas las submuestras y lograr una muestra compuesta por bancal con un peso mínimo de 200 g. Este procedimiento se realizó para cada uno de los 3 bancales.
- b. Muestra foliar: Se cortaron brotes de las plantas madre a lo largo de todo el bancal utilizando una podadora de mano. Luego de obtener suficientes brotes se procedió a cortar los peciolos de las muestras para solo tener la lámina de la hoja hasta obtener un peso mínimo de 200 g por muestra.

Se realizaron 3 lavados a la muestra de las hojas para eliminar posibles restos de fertilizante presentes en la superficie de las hojas. Este consistió en llenar un recipiente con agua y consumir las muestras foliares por algunos segundos, luego de terminar con el primer lavado se cambió el agua del recipiente y se realizó el segundo lavado y posterior a ese se repitió el procedimiento para concluir con el tercer lavado. Después de los lavados las muestras se colocaron en una superficie bajo sombra para lograr un secado al aire.

- c. Muestra de agua: La muestra de agua que se obtuvo fue agua de pozo (250 ml), siendo la fuente de agua utilizada por la empresa para regar el invernadero.

ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO

Se realizó un ensayo en las plantas madre en donde se involucraron los factores de riego y fertilización. Con ayuda de los resultados de la línea base y los análisis químicos los expertos en nutrición, Manuel Acevedo y Edwin Esquivel, determinaron 2 dosis de fertilización y 2 criterios de riego para aplicarlo en el ensayo, además de los métodos utilizado por la empresa. En total existieron 9 tratamientos al utilizar 3 dosis de fertilizante y 3 criterios de riego. El cuadro 3 muestran las diferentes dosis de riego y fertilizante que se utilizaron para cada tratamiento en el ensayo.

Cuadro 3. Tratamientos utilizados para ensayo en el minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

TRATAMIENTO	RIEGO	FERTILIZACIÓN
1	A	D
2	A	E
3	A	F
4	B	D
5	B	E
6	B	F
7	C	D
8	C	E
9	C	F

Donde

A y D: Protocolo típico de la empresa

B: Fertirriego de día por medio

C: Fertirriego/ Riego de manera alternada

E: 1,6 g L-1 MgSO₄

0,942 g L-1 CaNO₃

0,578 g L-1 Urea

0,714 g L-1 KH₂PO₄

F: 0,454 g L-1 MgSO₄

0,300 g L-1 CaNO₃

0,556 g L-1 Urea

0,348 g L-1 KH₂P

Para cada tratamiento se determinó el precio de los fertilizantes utilizados y así conocer cuál método puede resultar más económico para la empresa.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Para la aplicación de los tratamientos se utilizó el método de parcelas divididas con el diseño experimental de bloques completos al azar, en donde el factor A estaba representado por los tratamientos (cuadro 3) mientras que el factor B eran las fechas en las que se realizaron mediciones (7 semanas). Cada bloque estaba representado por bancales cuyas medidas están en el cuadro 1. En cada bloque se establecieron 9 parcelas con medidas de 1,5 x 0,8 m y en cada una se marcaron 42 plantas madre para realizar las mediciones. Los tratamientos se asignaron de manera aleatoria para cada bancal. Su distribución está representada en el cuadro 4.

Cuadro 4. Distribución de tratamientos en relación a las parcelas y bancales del minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

	Bancal 8	Bancal 7	Bancal 6
Parcela 9	T 8	T 9	T 2
Parcela 8	T 1	T 8	T 9
Parcela 7	T 6	T 5	T 1
Parcela 6	T 3	T 2	T 7
Parcela 5	T 4	T 1	T 3
Parcela 4	T 7	T 3	T 5
Parcela 3	T 9	T 4	T 6
Parcela 2	T 2	T 6	T 8
Parcela 1	T 5	T 7	T 4

Las variables a medir fueron la elongación, diámetro, número de hojas y número de brotes. Las mediciones se realizaron cada 7 días por un periodo de 7 días.

ANÁLISIS DE DATOS

Se analizaron los datos utilizando los programas de Office Excel 2013, Infostat y Past. Se realizaron pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas, ANDEVA, así como pruebas para mostrar diferencias significativas entre los distintos factores y variables evaluadas.

Para identificar las diferencias entre medias se utilizaron pruebas estadísticas tanto paramétricas como no paramétricas, las cuales fueron las pruebas de Tuckey (0,05) y Friedman (0,05) respectivamente.

Por otro lado se utilizó el programa QGIS 2.18.3 para analizar los datos de la uniformidad del riego.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

LÍNEA BASE

PROPIEDADES FÍSICAS

El color que se obtuvo para el sustrato de los bancales fue homogéneo en cada uno, dando un resultado de café grisáceo en sustrato seco y café muy oscuro en sustrato húmedo.

Para la prueba de granulometría se obtuvieron los resultados presentados en el cuadro 5 donde se muestra la cantidad de sustrato en gramos y el porcentaje que cada uno representa para cada bancal.

Cuadro 5. Tamaño y porcentaje de partículas presentes en cada bancal en el minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

Tamiz (mm)	BANCAL 6		BANCAL 7		BANCAL 8	
	Sustrato (g)	%	Sustrato (g)	%	Sustrato (g)	%
8	4,37	0,37	11,70	1,05	14,53	1,43
6,7	7,46	0,63	7,85	0,70	5,59	0,55
2	254,20	21,56	297,48	26,71	283,12	27,91
1	302,59	25,66	389,73	34,99	273,51	26,96
<1	610,43	51,77	406,94	36,54	437,60	43,14

De acuerdo a los parámetros de Yong y Warketin (1966) y Rozados, Suárez y Méndez (2004) se tiene que con los resultados obtenidos existe un porcentaje alto de arena (0,2-2mm), el cual presenta un promedio de 54,88% entre los 3 bancales medidos. Para este promedio no se tomó en cuenta las partículas menores a 1 mm debido a que dentro de ellas se encuentran arenas, arcillas y limos los cuales no se pudieron determinar por falta de instrumentos.

Dentro del tamiz de 6,7 mm se encuentra la que estas son piedras machacadas, lisas y pequeñas (2-3,5 mm) mejor conocida como grava. De acuerdo con Acevedo (comunicación personal, 2018) no deberían de existir dentro del bancal debido a que

cambia mucho la porosidad del medio y podría provocar heterogeneidad en las plantas.

También se debe de tomar en cuenta que comparando los 3 bancales y teniendo en consideración que el sustrato que presentan es una mezcla de tierra y arena, se puede observar que no son homogéneos en cuanto a sus partículas por cuanto la porosidad y la capacidad de retención de humedad se podrían ver diferenciadas si se compararan los bancales.

HOMOGENEIDAD DEL RIEGO

Los datos resultantes de las mediciones para la determinación de los coeficientes de uniformidad mostraron que tanto el CUC como el CUD se encuentran en condiciones inaceptables de acuerdo a los parámetros del cuadro 1, ya que el CUC mostró datos menores al 60% y el CUD menor a 36% a en los 3 bancales medidos, tal y como se muestra en el cuadro 6.

Cuadro 6. Coeficiente de uniformidad de Christiansen y coeficiente de uniformidad de distribución para cada bancal del minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

BANCAL	CUC (%)	CUD (%)
6	56,05 ± 0,90	35,98 ± 0,18
7	48,42 ± 0,67	30,58 ± 0,12
8	48,22 ± 0,80	25,55 ± 0,14

Autores como Keller y Bliesner (1990) mencionados por Laserna S., Montero J., Sheikhesmaeili, O. y Alcázar E. (2016) comentan que para que el sistema por aspersión tenga buenos niveles de eficiencia se requiere un valor mínimo de CUC \geq 80%, lo cual en este caso no se cumple. De acuerdo con Burt et al. (1997) algunos factores que influyen en la heterogeneidad de la distribución del agua son las variaciones de presión, el diseño de los aspersores, tamaño de boquilla, espaciamiento entre cada una y las condiciones climáticas.

Algunas de las causas que se pudieron observar en el invernadero durante el estudio es que hay boquillas que no están en sus mejores condiciones, además, existen lugares a lo largo de los bancales que se no les llega suficiente agua y por ende se secan muy rápido. Por otro lado, la ubicación de los aspersores en cuanto a altura no es homogénea en todo el invernadero.

Para demostrar una representación visual de los resultados de la recolección de datos en la figura 3 se observa la distribución de los frascos en donde se recolectó el agua para cada bancal, siendo las partes más oscuras donde se recolectó más agua y las partes más claras donde casi no se recolectó. Es evidente que en cada bancal existen zonas en donde la cantidad de agua es abundante comparada con otros sitios.

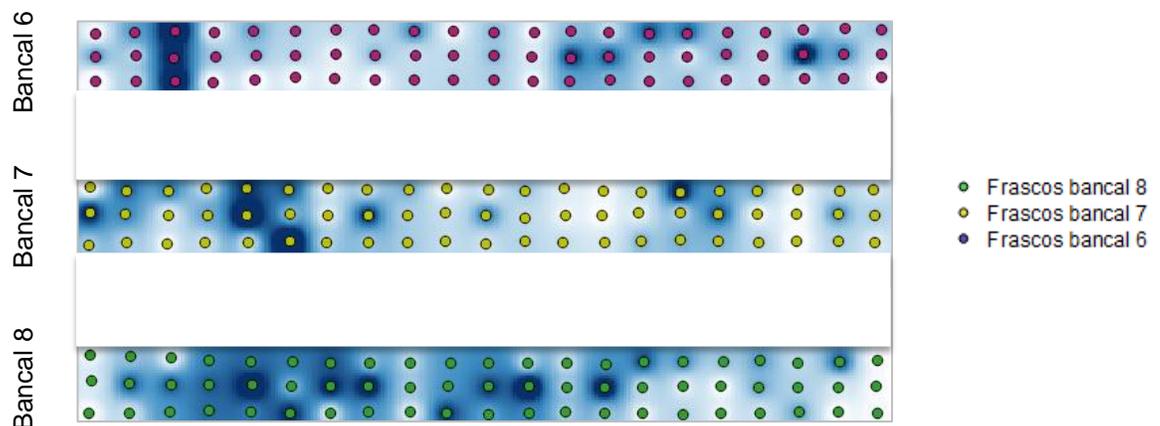


Figura 2. Representación visual del agua de riego recolectada para cada bancal del minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

El tener heterogeneidad del riego provoca que las partes en donde existe exceso de agua sean vulnerables ante la existencia de lixiviación de nutrientes, reducción en la concentración de oxígeno disponible para las raíces y aumento en la incidencia de plagas y enfermedades; mientras que en las zonas en donde la escasez de agua aumenta, los riesgos de salinización del suelo incrementan e inhiben el potencial productivo de las plantas (Paulino et al., 2009).

Para esta prueba también se compararon los datos entre bancales los cuales dieron como resultado que sí existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$). De acuerdo al cuadro 7 los datos mostraron que los bancales 6 y 8 no presentan diferencias en cambio el bancal 7 si difiere significativamente de los otros 2.

Cuadro 7. Promedio del agua de riego recolectada para cada bancal del minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

BANCAL	PROMEDIO (ml)	RANKING
7	0,96	74,66 ^a
8	1,29	99,64 ^b
6	1,48	110,71 ^b

DENSIDAD APARENTE Y CONTENIDO DE HUMEDAD

Los resultados obtenidos para la densidad aparente del sustrato se encuentran en el siguiente cuadro.

Cuadro 8. Densidad aparente de cada bancal en el minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

BANCAL	DENSIDAD APARENTE (g*cm ⁻³)	CV
6	1,25 ± 0,09	7,32
7	1,24 ± 0,06	4,52
8	1,24 ± 0,09	7,30

La densidad aparente obtenida fue muy similar en todas las muestras que se tomaron en los 3 bancales lo que demuestra que esta variable si es homogénea. Los resultados de los datos dieron valores entre 1,24-1,25 lo cual según Shargel y Delgado (1990) mencionado por Rubio (2010) corresponden a una textura fina arcillosa, ya que presentan una densidad aparente entre los 1,00-1,30 g*cm⁻³. Donoso (1992) mencionado por Rubio (2010) comenta que valores bajos como los que se obtuvieron en el actual proyecto indican que son sustratos tienen buena porosidad, aireación, drenaje y buena penetración de raíces, por lo que es un resultado favorable para presentarse en el sustrato de las plantas madre.

En cuanto al contenido de humedad de las muestras que se tomaron los resultados dieron que todas las muestras presentaban contenidos de humedad distinta, tal y como se muestra en el cuadro 9. Al comparar las muestras estadísticamente por medio de una prueba Tuckey se determinó que sí existen diferencias significativas ($p \leq 0,05$).

Cuadro 9. Contenido de humedad de sustrato antes de ser regado en el minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

MUESTRA	CONTENIDO HUMEDAD (%)
1	17,37 ± 2,19 ^a
2	22,82 ± 2,50 ^a
3	14,09 ± 3,95 ^b

Al tener diferentes contenidos de humedad en las muestras tomadas se demuestra que no se tiene un criterio de riego estricto para la parte del vivero clonal, lo que podría suponer que no se esté regando en los momentos en que las plantas lo necesitan realmente. Esto podría deberse a que el método de riego que se utiliza actualmente en la empresa es el de observación y tacto para conocer si el sustrato requiere ser regado.

IDENTIFICACION DE NUTRIENTES

Los resultados que se obtuvieron con el análisis de muestras de agua, sustrato y foliar fueron los siguientes:

Cuadro 10. Análisis químico de agua utilizada para el riego en el minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

mg/L								mS/cm		
pH	N-NH4+	N-NO3-	N-UREICO	Ca	Mg	K	P	Na	S	CE
7,3	ND	0,5	ND	28,6	15,6	4,1	0,1	6,2	0,8	0,3

Centro de investigaciones agronómicas, 2018.

*Fe, Zn, Cu y Mg no fueron identificados en la muestra.

Con el análisis del agua de riego se propuso las fórmulas químicas de fertilización para aplicar a los bancales (cuadro 3), esto debido a que los nutrientes que el agua les estaba proporcionando a las plantas a la hora de regar no estaba tomado en cuenta en la dosis utilizada por la empresa.

En relación al sustrato (cuadro 11) tanto los distintos elementos como el pH, la acidez y la capacidad de intercambio catiónico mostraron valores superiores a los ideales de acuerdo a los datos brindados por el Centro de Investigación Agronómica (2018). Por otro lado, en la guía de interpretación de suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería presentada por Kass (2007) se muestra que todas las relaciones entre cationes presentes en el sustrato se encuentran balanceadas además, la mayoría de elementos se encuentran en un valor medio exceptuando al manganeso que está en niveles más bajos y al fósforo, zinc y hierro que sus niveles superan al valor medio.

Cuadro 11. Análisis químico de muestras de sustrato para cada bancal evaluado en el minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

		Bancal			
		LAB	6	7	8
pH	H2O	5,5	6,4	6,7	6,6
cmol(+)/L	ACIDEZ	0,5	0,11	0,12	0,11
	Ca	4	12,8	16,71	16
	Mg	1	4,58	7,34	6,89
	K	0,2	1	0,82	0,99
	CICE	5	18,49	24,99	23,99
%	SA	-	0,6	0,5	0,5
mg/L	P	10	86	93	107
	Zn	3	16,5	14,5	14,4
	Cu	1	7	7	6
	Fe	10	82	98	83
	Mn	5	1	ND	1
mS/cm	CE	1,5	1,2	0,9	1,1

Centro de investigaciones agronómicas, 2018.

Para analizar los niveles foliares presentados en el cuadro 12 se utilizaron los valores brindados por Alvarado y Raigosa (2012) para *Tectona grandis* específicamente, quienes señalan que elementos como el nitrógeno, fósforo, magnesio, potasio, azufre, boro y zinc presentan niveles superiores a los adecuados, especialmente el último elemento mencionado (zinc) ya que su nivel adecuado se encuentra de 20-50 mg/kg. Por el contrario los elementos de calcio, hierro y cobre se encuentran en niveles adecuados para esta especie.

Cuadro 12. Análisis químico de muestras foliares para cada bancal evaluado en el minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

	IDLAB	Adecuado	Bancal		
			6	7	8
% ¹ masa	N	1,52-2,78	3,56	3,82	3,66
	P	0,14-0,25	0,31	0,37	0,44
	Ca	0,72-2,20	1,23	1,16	0,89
	Mg	0,20-0,37	0,4	0,44	0,35
	K	0,80-2,32	3,4	3,19	3,78
	S	0,11-0,23	0,22	0,25	0,24
mg/kg	Fe	58,00-390,00	14	161	135
	Cu	10,00-25,00	12	13	16
	Zn	20,00-50,00	324	328	155
	Mn	50,00-112,00	70	71	56
	B	15,00-45,00	49	49	42

Centro de investigaciones agronómicas (2018) y Alvarado y Raigosa (2012).

ESTRATEGIA DE MEJORAMIENTO

DIÁMETRO

El diámetro no mostró diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, si mostró diferencias en cuanto a las semanas ($p < 0,05$). Estas variaciones ocurrieron tanto para el aumento como la disminución del diámetro a lo largo del periodo de medición mostradas en la figura 3.

En el caso de los T7, T8 y T9 los comportamientos de los diámetros fueron más constantes y estuvieron dirigidos más hacia el aumento de la variable, teniendo en

común que a estos tratamientos se les aplicó la técnica de fertirriego/riego, por lo que recibieron agua todos los días. En cuanto a la nutrición para estos tratamientos solo se puede observar que el T7 fue el que tuvo valores más bajos.

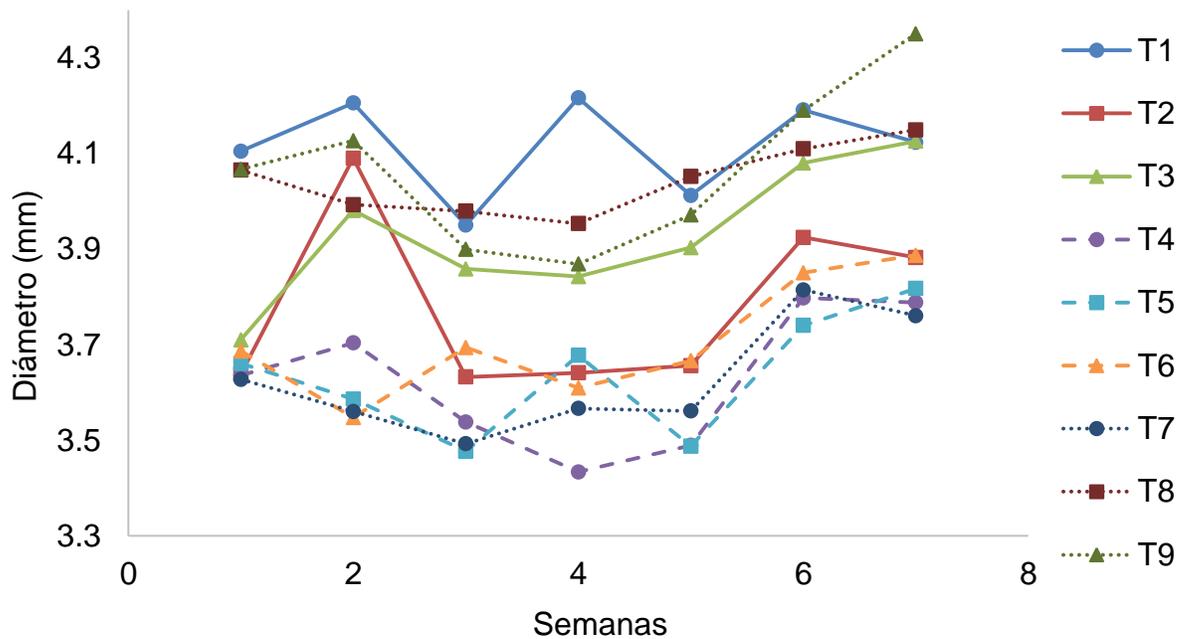


Figura 3. Diámetro promedio de plantas madre de *Tectona grandis* de acuerdo a la semana de medición en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.

Para los demás tratamientos sí ocurrieron variaciones en diámetro y las causas de estos cambios pudieron ser por algún estrés hídrico que sufrieran las plantas madre. En relación a la posible causa Prieto et al. (2004) comentan en una investigación realizada que el incremento en diámetro en plantas que sufren de estrés hídrico es menor al de las que no sufren.

Landis et al. (1989) mencionan que el tener el sustrato con una humedad alta hace que las plantas no se vean afectadas por escasez hídrica debido a que el agua está disponible fácilmente. En la figura 3 se puede observar que tanto los T1, T2 y T3 como los T4, T5 y T6, teniendo en cuenta que los métodos de riego para estos tratamientos fueron de la empresa y riego de día por medio respectivamente, son los tratamientos que varían su diámetro y también son los que no fueron regados todos

los días. Estas plantas pudieron verse afectadas por un estrés hídrico y además por el estrés que sufren debido a la corta constante de brotes.

ALTURA

Para la variable altura se determinó que no existen diferencias significativas entre los tratamientos ($p \leq 0,05$), pero a pesar de ello en la figura 4 se muestra como el T5 fue el que presentó valores más bajos en las 7 semanas de medición al compararlo con los demás tratamientos que se mantuvieron en un nivel más homogéneo.

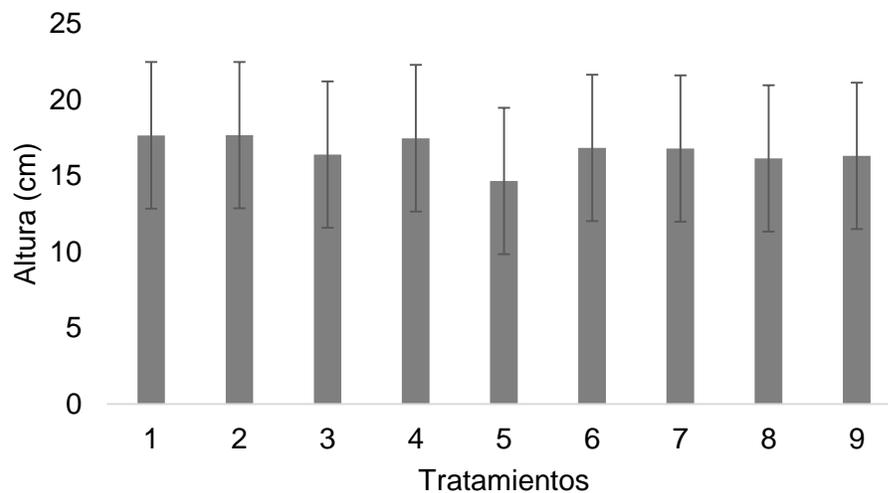


Figura 4. Altura promedio de plantas madre de *Tectona grandis* de acuerdo a los tratamientos utilizados en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.

Estudios como el de Hernández y Rubilar (2012) concluyen que con la especie *Pinus radiata* la elongación de los brotes si presentó diferencias significativas al aumentar concentraciones de fertilizante, en ese caso fue de sales nitrogenadas y mencionan que conforme se aumentan las dosis se incrementa el crecimiento en elongación en los brotes. De igual forma en un estudio de Monsalve, Escobar, Acevedo, Sánchez y Coopman (2009) se generaron mejores resultados en *Eucalyptus globulus* al utilizar una dosis nitrogenada en cantidades mayores.

Por otro lado, en la figura 5 se puede observar que no se genera crecimiento en altura en todas las semanas, si no que existen disminuciones en algunas de ellas. Esto se debe a que en semanas como la 1, 2, 5 y 6 la cosecha de brotes estuvo presente para estos bancales. Sin embargo, en las 2 primeras semanas mencionadas no se logró ver cambios visibles debido a que previo a esas semanas pasó un tiempo considerado sin cosechar brotes por lo que las plantas madre tomaron mucha altura y las cosechas de la semana 1 y 2 funcionaron para nivelar la altura de todas las parcelas.

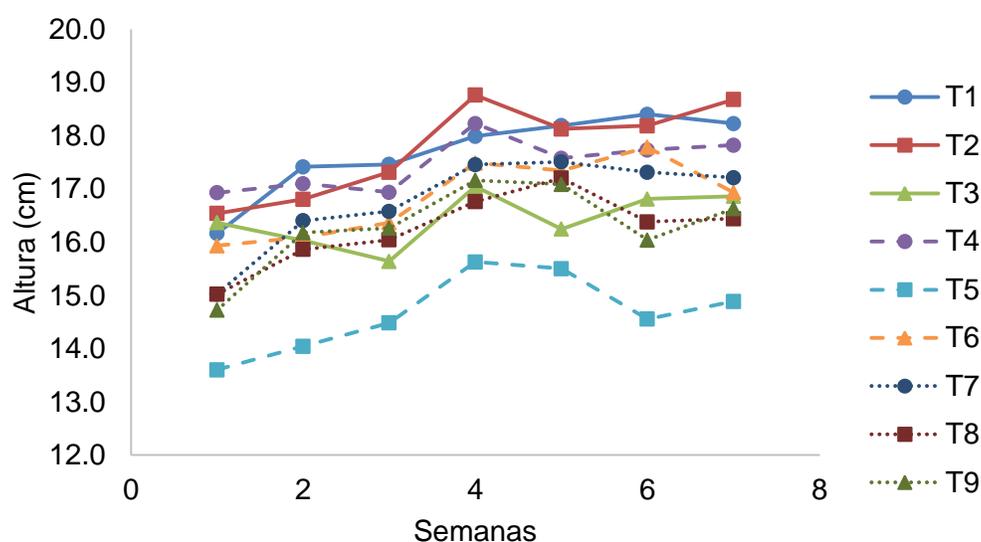


Figura 5. Altura promedio de plantas madre de *Tectona grandis* de acuerdo a la semana de medición en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.

Es importante recalcar que para los tratamientos 1, 4 y 7 la dosis de fertilización no se aplicó completamente a partir de la semana 4 debido a un desabastecimiento de producto en la empresa. No obstante, esta situación no generó grandes diferencias en los resultados al presentar comportamientos similares a los demás.

Cuadro 13. Promedio de altura de plantas madre para cada semana evaluada en el minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

Semana	Promedio
1	15,59 ± 1,07 ^a
2	16,19 ± 0,97 ^b
3	16,33 ± 0,91 ^b
6	16,94 ± 1,22 ^c
7	17,04 ± 1,11 ^c
5	17,19 ± 0,86 ^c
4	17,36 ± 0,91 ^c

Para el factor de semanas sí existieron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) como lo muestra el cuadro 13 en donde de la semana 1 a la 2 y de la 3 a la 4 existen aumentos en la altura estadísticamente diferente. En cambio, si se observa la semana 5 y la semana 6, aunque no fueron significativamente, hubo diferencias en disminuciones en cuanto a la variable evaluada. Como se mencionó anteriormente las semanas 5 y 6 fueron unas de las semanas en donde se cosecharon brotes y es por eso que su altura disminuyó.

BROTOS

Con los datos de la variable cantidad de brotes se determinó que no existía homogeneidad de varianza ($p \leq 0,05$) por ende los datos no cumplían con todos los supuestos necesarios para el ANOVA y al no existir pruebas no paramétricas de acuerdo a Ortíz (comunicación personal, 4 de octubre, 2018), se procedió a analizar los datos de esta variable por parcela mayor (bloque x tratamiento) y parcela menor (tratamiento x semanas).

En la parcela mayor los datos sí cumplieron con los supuestos de normalidad, pero no existieron diferencias significativas entre los tratamientos al realizar una prueba Tuckey con un nivel de confianza del 95%. Estos resultados se muestran en la figura 6, en donde los T2, T8 y T9 sobresalen del resto pero con diferencias mínimas.

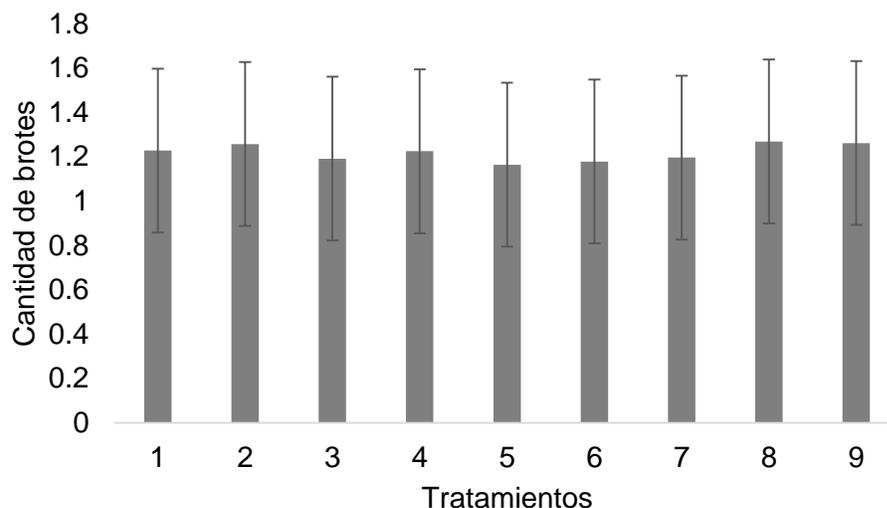


Figura 6. Cantidad de brotes promedio por planta madre de *Tectona grandis* de acuerdo a los tratamientos utilizados en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.

En un estudio de Chacón y Murillo (2005) que realizaron en jardines clonales con *Gmelina arborea* determinaron que se cosechaban un promedio de 9,88 brotes por planta madre cada 15 días en sustrato de tierra, el cual es similar al sustrato del proyecto (tierra y arena), sin embargo, la distancia a la que se encontraban estas plantas madre era de 40 x 40 cm mientras que en el minijardín clonal evaluado era de 5 x 5 cm, provocando que se genere más competencia en cuanto a elongación y no en diámetro por lo que puede generar que las planta madre estén gastando sus energías en darles altura a 1-2 brotes que a producir más cantidad de ellos.

En cuanto a la parcela menor al realizar la prueba de Friedman ($p \leq 0,05$) se determinó que sí existen diferencias significativas entre las semanas medidas. Es por eso que se realizó una prueba de Wilcoxon para conocer las comparaciones en cuanto a las semanas las cuales se muestran en la figura 7, en donde se puede notar que la mayoría de los tratamientos a lo largo de la semana siguen la misma dinámica de aumentar brotes en las semanas 4 y 7 y disminuyen la cantidad en las semanas 2 y 5 producto de la cosecha. A parte de esto, de la semana 2 a la 3 los valores de

brotos se mantienen constantes y de la 5 a la 6 varían tanto en aumento como en disminución debido a que en esa semana se cosechó en menor cantidad.

Por otro lado, los tratamientos T3, T1 y T6 no se comportan de igual forma que los demás. En el caso del T3 se puede observar que en las 3 primeras semanas la cantidad de brotes solo fue disminuyendo, volviendo a aumentar a partir de la semana 4 con los valores más bajos al compararlo con los demás tratamientos. En cambio los otros tratamientos (T1 y T6) se comportaron de forma distinta en las últimas semanas, en donde la cantidad de brotes disminuyó mientras que en los demás tratamientos iba en aumento.

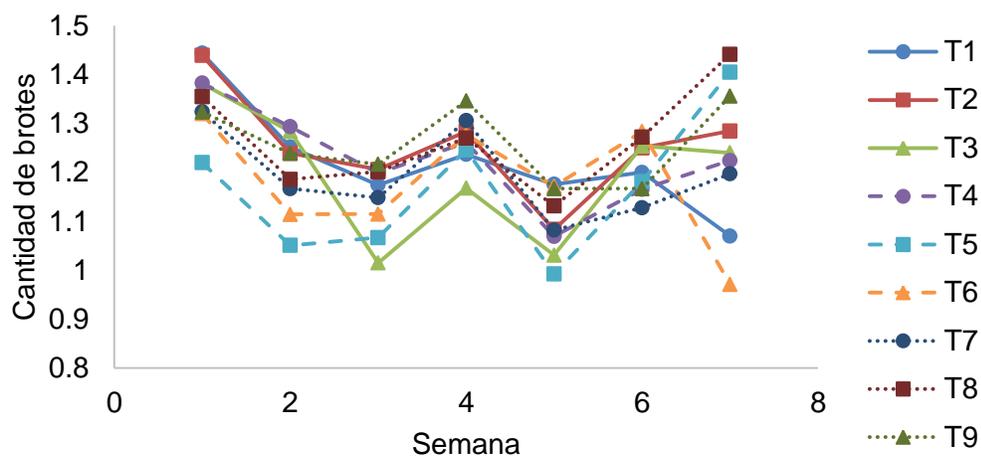


Figura 7. Cantidad de brotes promedio por planta madre de *Tectona grandis* de acuerdo a la semana de medición en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.

Una posible causa del comportamiento de los brotes a lo largo de la semana es que las respuestas a los tratamientos se estén presentando a partir de la semana 6 en adelante. Esto porque previo al inicio de la aplicación de tratamientos no se lavaron los nutrientes presentes en los bancales debido a que, al estar el sustrato en contacto con el suelo, no se aseguraba que el lavado fuera efectivo y aparte las instalaciones no se prestaban para realizarlo.

Abdelnour, Valverde y Aguilar (2004) en un ensayo que realizaron mostraron que utilizando distintos reguladores de crecimiento obtuvieron de 1 a 4,6 brotes por estaca de la especie *Tectona grandis* en un periodo de 6 semanas, lo cual se asemeja a los valores obtenidos en el proyecto, a pesar de que en este caso no se utilizó reguladores de crecimiento y lo que se evaluó fue plantas madre en vez de estacas.

Desde otro punto de vista se debe destacar que a pesar que las plantas madre pasaron por 4 cosechas durante el proyecto, cada semana se lograron obtener resultados positivos para una posible cosecha con excepción de la semana 5 y 7 con los tratamientos 5 y 6 respectivamente, los cuales obtuvieron un promedio inferior a 1 para la cantidad de brotes (figura 7). Además, según Aparicio, Cruz y Montiel (2008) los setos o plantas madre incrementan el número de brotes conforme se producen podas o se cosechan los brotes por lo que, si se hubiera extendido el periodo de medición, las plantas madre pudieran producir una mayor cantidad de brotes.

HOJAS

En la cantidad de hojas no existió normalidad en los datos, es por eso que al igual que la variable de brotes, se analizaron los datos por parcela mayor y parcela menor y se les aplicó una prueba Friedman. Los resultados de esta prueba mostraron que únicamente existen diferencias significativas en la parcela menor, es decir, entre los tratamientos y las semanas.

Las variaciones en cuanto a la parcela menor presentan un comportamiento similar en la mayoría de los tratamientos, en donde se muestra claramente en la figura 8 que en la semana 5 y 6 la cantidad de hojas fue reducida siendo estas unas de las fechas de cosecha. Pero cabe resaltar que para la semana 2 a pesar de que también fue una semana cosechada, se presentaron aumentos en la cantidad de hojas en todos los tratamientos menos en el T1.

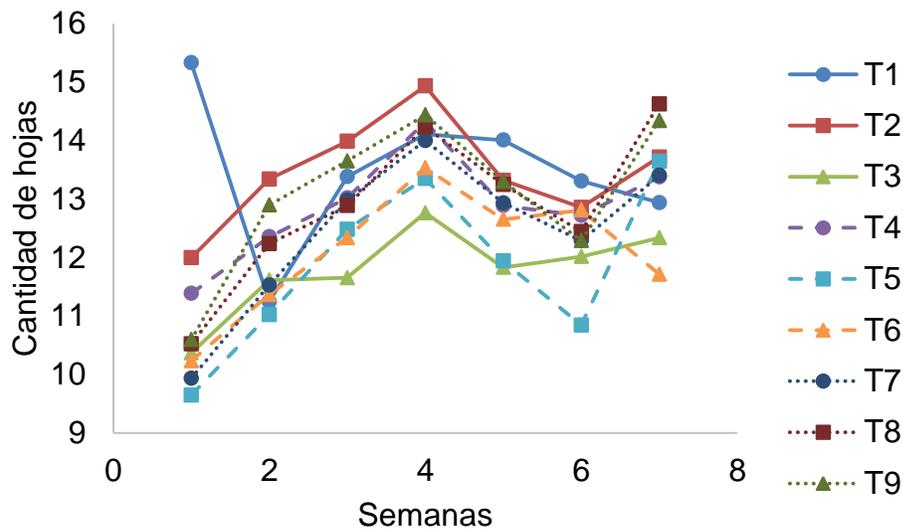


Figura 8. Cantidad de hojas promedio por planta madre de *Tectona grandis* de acuerdo a la semana de medición en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.

Sin embargo, también es notable que no todos los tratamientos se comportan de igual forma como lo son los T1, T3 y T6. Para el T1 se observa que de la semana 1 a la 2 este tuvo un decrecimiento en la cantidad de hojas posiblemente debido a que previo al ensayo, las zonas en donde se encontraban estas parcelas tuvieran mucha altura lo que provocó que a la hora de nivelar la altura de estas se disminuyera mucho la cantidad de hojas.

En el caso del T3 se muestra que su comportamiento a partir de la semana 5 es únicamente en aumento lo cual no pasa en los demás tratamientos. Esto pudo haber sido causa de que no se seleccionaran gran cantidad de brotes para cosechar con ese tratamiento o que se cortaran sin reducir mucho su altura, ya que de acuerdo a la figura 6 durante esas semanas la altura se mantuvo en rangos muy reducidos, lo que hace que la pérdida de hojas sea menor.

Por último, el tratamiento 6 cambia su comportamiento en las últimas semanas ya que de la semana 5 a la 6 se presenta un aumento en la cantidad de hojas suponiendo que casi no hubo cosecha de brotes para ese tratamiento en esa

semana. En cambio de la 6 a la 7 pasa lo contrario al reducir las hojas ante una posible cosecha mientras que los demás tratamientos aumentaron la cantidad para esas semanas.

Para visualizar estos cambios se muestra en la figura 9 las fotografías que fueron tomadas en la semana 4 (izquierda) y en la semana 5 (derecha), donde se puede observar que la cantidad de hojas si se ve reducida si se comparan una semana con la otra; asimismo varían las variables de altura y cantidad de brotes.



Figura 9. Visualización de cantidad de hojas en plantas madre de *Tectona grandis* al comparar dos semanas seguidas de medición en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.

COSTOS

Para realizar el cálculo de los costos solo se tomó como base el minijardín clonal de la empresa para no usar todo el vivero. El precio de los fertilizantes y químicos utilizados en el proyecto se muestran en el cuadro 14.

Cuadro 14. Precio de fertilizantes y sales utilizadas para la nutrición de las plantas madre de *Tectona grandis* en el minijardín clonal, Puntarenas, Costa Rica.

	Químico	Cantidad	Precio (₡)
Empresa	Elementos mayores	3,785 lt	9000
Empresa	Elementos menores	3,785 lt	9000
Empresa	Elementos individuales	3,785 lt	9000
Sugerido	Sulfato de magnesio	25 kg	3149
Sugerido	UREA	45 kg	11761
Sugerido	Fosfato monopotásico	25 kg	12680
Sugerido	Nitrato de calcio	25 kg	5600

FERTICA y Quirós (comunicación personal, 11 octubre, 2018)

De acuerdo a información anterior y a los datos brindados por la empresa se logró calcular la cantidad de veces que se podría fertilizar en las diferentes dosis utilizadas en los bancales en relación al cuadro 3, los resultados se muestran a continuación (cuadro 15).

Cuadro 15. Rendimiento de las diferentes dosis utilizadas en el minijardín clonal de *Tectona grandis*, Puntarenas, Costa Rica.

	Químico	Dosis 40 lt	Días	Mes	Año
Empresa	Elementos mayores orgánicos	200 ml	18,93	0,63	0,05
	Elementos menores orgánicos	200 ml	18,93	0,63	
	Elementos individuales orgánicos	200 ml	18,93	0,63	
Dosis 1	MgSO4	32 g	781,25	26,04	2,17
	UREA	11,6 g	3879,31	129,31	
	KH2PO4	14,2 g	1760,56	58,69	
	CaNO3	18,8 g	1329,79	44,33	
Dosis 2	MgSO4	18,16 g	1376,65	45,89	3,12
	UREA	13,92 g	3232,76	107,76	
	KH2PO4	22,24 g	1124,10	37,47	
	CaNO3	12 g	2083,33	69,44	

Con los cálculos mostrados se demuestra que, con el uso de sales, los fertilizantes pueden ser utilizados en un periodo de 2 a 3 años sin que se acabe el producto, mientras que los químicos de la empresa rinden para menos de 1 mes cada envase.

Cabe agregar que de acuerdo con Burt et al. (1998) el fertirriego es el único método correcto de aplicar fertilizantes a los cultivos bajo riego siendo este aplicado uniformemente. Una buena aplicación de fertirriego trae consigo reducciones en la aplicación de fertilizantes (Burt, 1995) y por ende menos costos. Imas (1999) también menciona que el fertirriego es totalmente necesario cuando el método de riego es por presión, como los aspersores que la empresa utiliza.

Si el riego y la fertilización se realizan de forma separada utilizando sales, los beneficios del riego no se verán reflejados en el cultivo ya que es probable que haya zonas donde las sales no se logren disolver por falta de agua. Es por eso que

incorporar los nutrientes dentro del sistema de riego es la mejor opción para que la fertilización se realice de manera uniforme.

Es evidente entonces que la empresa se vería beneficiada al practicar fertirriego con sales que con los compuestos orgánicos viéndolo tanto a nivel económico como nutricionalmente ya que se le estarían brindando los nutrientes exactos que la planta necesita y no una dosis que está generalizada.

CONCLUSIONES

La densidad aparente de los bancales permite que el sustrato presente buena aireación, buen drenaje y buenas condiciones para la penetración de raíces. El riego no es uniforme de acuerdo al CUC y CUD y no existe un criterio de riego definido.

Los análisis químicos mostraron que el sustrato se encuentra balanceado y las plantas presentan dosis de nutrientes mayores a las recomendadas.

A pesar que por un problema de abastecimiento no se logró tener la aplicación del tratamiento durante todo el periodo, durante las semanas de medición no se encontraron diferencias entre tratamientos.

Es posible que dosis de fertilización aplicada a los bancales en los distintos tratamientos mostraran efecto residual por influencia de los nutrientes brindados por la empresa en semanas anteriores.

Los costos de utilizar las sales son más económicos que los fertilizantes orgánicos.

RECOMENDACIONES

Mejorar el sistema de riego de la empresa, el cual puede empezar por el mantenimiento de las boquillas y las mangueras utilizadas hasta lograr obtener valores iguales o superiores a 80% de CUC.

En un futuro ensayo de fertilidad se recomienda lavar el sustrato para que los nutrientes brindados previamente no influyan en los resultados obtenidos.

Cambiar el sustrato de los bancales a solamente arena para poder controlar de mejor manera la nutrición al ser sustrato inerte.

Las dosis de sales utilizadas pueden mejorarse al interpretar análisis foliares. Además, si se decidiera fertilizar utilizando sales, es recomendable añadir sulfatos de micronutrientes (Fe, Mn, Cu, Zn, etc.).

Analizar la senescencia de las hojas para determinar cuánto tiempo duran las hojas vivas en la planta.

REFERENCIAS

- Abdelnour, A., Valverde-Cerdas, L., Aguilar M. E. (2004). Micropropagación de tres especies maderables de importancia económica y ecológica para Costa Rica. *Proyecto de investigación interinstitucional. ITCR-UNA-CATIE*. Recuperado de <https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/505/Informe%20final%20Proyecto%20MICIT%20junio%202004.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Aparicio-Rentería, A., Cruz-Jiménez, H. y Montiel-Ruíz, O. (2008). Multiplicación clonal de pinos a través del uso de estacas: una alternativa para mantener ganancias genéticas forestales. *Foresta Veracruzana* 10(1), 54.
- Ayala-Terán, A. N. (2011). *Establecimiento de cultivo in vitro de Molle (Schinus molle L.) a partir de yemas axilares tomadas de plantas madre como una herramienta para la propagación de la especie en el distrito metropolitano de Quito* (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica del Ejército. Sangolquí.
- Bernardo, A., Alves-Soares, C. y Chartuni-Mantovani (2009). Manual de Irrigação. (Vol 8). Imprensa Universitária. Viçosa/MG.
- Burt, C. M. (1995). Fertigation – The Next Frontier. *Irrigation Business and Technology*. 4(3), 16-19.
- Burt, C. M. (1998). Fertigation Basics. *Irrigation Training and Research Center*. Recuperado de <http://www.itrc.org/papers/pdf/fertbasics.pdf>
- Burt, C. M., Clemmens, A.J., Srelkoff, T. S., Solomon, K. H., Bliesner, R. D., Hardy, L. A., Howell, T. A., y Eisenhauer, D. E., (1997). Irrigation Performance Measures: Efficiency and Uniformity. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*. 123(6), 423-442. doi 10.1061/(ASCE)0733-9437(1997)123:6(423)11.
- Camel, V., Galeano, E., y Carrer, H. (2017). Red de coexpresión de 320 genes de *Tectona grandis* relacionados con proceso de estrés abiótico y xilogénesis.

Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas, 20(2), 5-14. Doi: 10.1016/j.recqb.2017.04.001.

Centeno-Campos, R.E. (2017). *Definición de un protocolo de riego y fertilización en la fase de aclimatación en plántulas de teca (Tectona grandis L.F.) en el invernadero de Panamerican Woods Plantation S.A., en Nandayure, Guanacaste.* (Grado de Licenciatura). Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica.

Centro de Investigaciones Agronómicas (2018). Reporte de ensayos. Ciudad de la investigación, Universidad de Costa Rica.

Chacón, P., y Murillo, O. (2005). Análisis comparativo de la producción de minijardines clonales hidropónicos y jardines clonales en tierra de melina (*Gmelina arborea* Roxb.). *Kurú: Revista Forestal*, 2(6), 2-5.

Chaves, E., y Fonseca, W. (1991). *Teca (Tectona grandis), especie de árbol de uso múltiple en América Central.* Recuperado de [https://books.google.co.cr/books?id=aHMOAQAIAAJ&pg=PA1&lpg=PA1&dq=Teca+\(Tectona+grandis\),+especie+de+%C3%A1rbol+de+uso+m%C3%BAltiple+en+Am%C3%A9rica+Central.&source=bl&ots=ZNlaE6PURt&sig=muhG9l6ybsazHsnoubCVEoJqs2c&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjKot7l0KTeAhUOUK0KHdYdQAm8Q6AEwBHoECCQAQ#v=onepage&q=Teca%20\(Tectona%20grandis\)%2C%20especie%20de%20%C3%A1rbol%20de%20uso%20m%C3%BAltiple%20en%20Am%C3%A9rica%20Central.&f=false](https://books.google.co.cr/books?id=aHMOAQAIAAJ&pg=PA1&lpg=PA1&dq=Teca+(Tectona+grandis),+especie+de+%C3%A1rbol+de+uso+m%C3%BAltiple+en+Am%C3%A9rica+Central.&source=bl&ots=ZNlaE6PURt&sig=muhG9l6ybsazHsnoubCVEoJqs2c&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjKot7l0KTeAhUOUK0KHdYdQAm8Q6AEwBHoECCQAQ#v=onepage&q=Teca%20(Tectona%20grandis)%2C%20especie%20de%20%C3%A1rbol%20de%20uso%20m%C3%BAltiple%20en%20Am%C3%A9rica%20Central.&f=false)

Christiansen, J. (1942). *Irrigation by Sprinkling.* Berkeley, California: Universidad de California. Recuperado de: <https://archive.org/stream/irrigationbyspri670chri#page/n0/mode/2up>

Daorden, M. E. (2007). Cultivo *in vitro* de tejidos vegetales [Diapositivas de Power Pint]. Obtenido de https://inta.gov.ar/sites/default/files/script-tmp-md_0701.pdf

- Donoso C. (1992). Ecología forestal. Editorial Universitaria, Universidad Austral de Chile. Valdivia, Chile.
- Escamilla-Hernández, N., Obrador-Olán, J. J., Carillo-Ávila, E., y Palma-López, D. (2015). Uso de fertilizantes de liberación controlada en plantas de teca (*Tectona grandis*), en la etapa de vivero. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 329-333.
- Espitia C. M., Murillo G. O., y Castillo P. C. (2011). Ganancia Genética Esperada en Teca (*Tectona grandis* L.f.) en Córdoba (Colombia). *Colombia Forestal*, 14(1), 83.
- Flórez-Tula, N., Zution-Gonçalves, I., Rodrigues-Calvacante Feitosa, D., Agnellos-Barbosa, A., Ponciano-de Deus, F., Diego-Ribeiro, M. y Eiji-Matsura, E. (2013). Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo en un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia*, 47(2), 113.
- Hernández C, A., y Rubilar P, R. (2012). Efecto de la fertilización nitrogenada y fosforada en el desarrollo y fenología de brotes de setos de *Pinus radiata*. *Bosque (Valdivia)*, 33(1), 53-54.
- Imas, P. (1999). Manejo de nutrientes por fertirriego en sistemas frutihortícolas. *International Potash Institute*. Recuperado de <https://www.ipipotash.org/ar/presentn/mdnpfesf.php?l=3>
- ITTO (2004). Perspectiva para la teca de plantaciones. *Actualidad forestal tropical*, 12(1), 1. Doi: ISSN 1022-632X.
- Keller, J y Bliesner, R. D., (1990). Sprinkle and Trickle Irrigation. AVI Book. Van Nostrand Reinhold. New York. USA.
- Lacerna-Arcas, A. S., Montero-Martínez, J., Sheikhesmaeili, O. y Alcázar-Bascuñana, E., (2016). Análisis de la uniformidad de riego en sistemas de aspersión semiportátil con aspersores de gran tamaño. *XXXIV Congreso Nacional de Riegos*. doi: <http://dx.doi.org/10.21151/CNRiegos.2016.C13>

- Landis, T., Tinus, R., McDonald, S. y Barnett, J. (1989). *Seedling nutrition and irrigation*. (4ta edición. The Container tree nursery manual, p. 71-119). Washington, DC: U.S. Dept. of Agriculture, Forest Service.
- McDonald, S. (1987). *Irrigation in Forest-Tree Nurseries: Monitoring and Effects on Seedling Growth* (11va edición p. 107). Springer, Dordrecht.
- Monsalve, J., Escobar, R., Acevedo, M. Sánchez, M. y Coopman, R. (2009). Efecto de la concentración de nitrógeno sobre atributos morfológicos, potencial de crecimiento radical y estatus nutricional en plantas de *Eucalyptus globulus* producidas a raíz cubierta. *Bosque*. 30(2), 88-94.
- Paulino, M. de O., Figueiredo, F. P., Fernandes, R. C., Maia, J. L., Guilherme, D. O. y Barbosa, F. S. (2009). Avaliação da uniformidade e eficiência de aplicação de água em sistemas de irrigação por aspersão convencional. *Revista Brasileira de Agricultura Irrigada*. 3(2), 48-54.
- Reich P.B. y Schoettle, A.W. 1988. Role of Phosphorus and Nitrogen in Photosynthetic and Whole Plant Carbon Gain and Nutrient Use Efficiency in Eastern White Pine. *Oecologia* 77(1), 25-33.
- Rubio-Gutierrez, A. M. (2010). *La densidad aparente en suelos forestales del Parque Natural Los Alcornocales*. (Grado de Ingeniero Técnico Agrícola). Universidad de Sevilla.
- Sánchez, S., y Murillo, O. (2004). Desarrollo de un método para controlar la calidad de producción de plántulas en viveros forestales: estudio de caso con ciprés (*Cupressus lusitanica*). *Agronomía Costarricense*, 28(2).
- Oficina Subregional Osa y Amador S. (2016). Caracterización del territorio Península de Osa. *Instituto de Desarrollo Rural*. Recuperado de:

https://www.inder.go.cr/territorios_inder/region_brunca/caracterizaciones/Caracterizacion-territorio-Peninsula-Osa.pdf

Prieto-Ruiz, J. A., Cornejo-Oviedo, E.H., Domínguez-Calleros, P.A., Návar-Chaidez, J. de J., Marmolejo-Moncivais, J. G. y Jiménez-Pérez, J. (2004). Estrés hídrico en *Pinus engelmannii* Carr., producido en vivero. *Investigación Agraria: Sistemas de Recursos Forestales* 13(3), 443-451.

Rozados-Lorenzo, M. J., Suárez-García, M., Méndez-Pardo, H. (2004). Distribución del tamaño de partículas en suelos forestales de Galicia (No España) mediante la aplicación de tecnología de difracción láser. *Sociedad Española de Ciencias Forestales*. 20, 209-214.

US Dept of State Geographer (2018). Google Earth Pro (7.3.1). [Software de computadora].

Yong, R. N. y Warkentin, B. P. (1966). Introduction to soil behavior. *MacMillan Co.* New York.