

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

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 PLANTATIONS
S.A, EN NANDAYURE, GUANACASTE

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA

RONY ESTEBAN CENTENO CAMPOS

CARTAGO, COSTA RICA

ENERO 2017



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERIA FORESTAL

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 PLANTATIONS
S.A, EN NANDAYURE, GUANACASTE

PROYECTO FINAL DE GRADUACIÓN PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE
INGENIERO FORESTAL CON EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIATURA

RONY ESTEBAN CENTENO CAMPOS

CARTAGO, COSTA RICA

ENERO 2017



Este obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento
4.0 Internacional

Constancia de Aprobación

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 PLANTATIONS S.A, EN
NANDAYURE, GUANACASTE

Proyecto Final de Graduación para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Forestal

Tribunal Evaluador



Ing. Vinicio Ríos Garro
Lector de Tesis



Edwin Esquivel Segura, Ph.D.
Director de Tesis



Ing. Folkert Kottman
CEO Panamerican Woods
Plantations S.A



Dorian Carvajal Venegas
Coordinador Trabajo Finales de
Graduación



Rony Centeno Campos
Estudiante

DEDICATORIA

A mi Dios, por haberme dado la fortaleza de continuar cuando creí que todo estaba perdido

A mi pequeño Daniel, motor de mi vida

A mi abuela en el cielo

A quienes siempre creyeron en mí.

“Mira que te mando que te esfuerces y seas valiente. No temas, ni desmayes; porque yo, el Señor Tu Dios, estaré contigo donde quiera que vayas”

Josué 1:9

AGRADECIMIENTOS

Total agradecimiento a la empresa Panamerican Woods Plantations S.A, al Ingeniero Folkert Kottman por la oportunidad de realizar este trabajo, al Ing. Vinicio Ríos por su valiosa colaboración y orientación, a los Ingenieros Antony Elizondo y Jimmy Solano por su disposición a colaborar con lo que en su momento necesitaba.

A Edwin y Jorge por su valiosa colaboración en el trabajo realizado en el vivero.

Al profesor y tutor Ph.D Edwin Esquivel por su colaboración y paciencia y cuyo conocimiento permitieron la culminación de este trabajo.

A mis profesores de la Escuela de Ingeniería Forestal.

A mis compañeros, por hacer de estos años de formación un viaje agradable.

Finalmente, de manera especial a la familia Vega Torres por su cariño y hospitalidad hacia mi persona.

A Chala por siempre creer en mí, por nunca negarme un consejo por su aprecio y por siempre estar presente en todos estos años.

Definición 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 Plantations S.A, en Nandayure, Guanacaste

Rony Esteban Centeno Campos

RESUMEN

Un mal diseño en el sistema de riego ocasiona aplicaciones de agua de manera excesiva o bien insuficiente limitando así su efectividad e influyendo de manera directa en el desarrollo de las plantas en los bancales, en este trabajo determinó el coeficiente de uniformidad de Christiansen con el objetivo de evaluar el estado de del sistema de riego aplicado en el vivero, se realizó mediciones del caudal entregado por los aspersores. Se encontró diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre dichas mediciones y coeficientes de uniformidad por debajo de lo aceptable. A su vez mediante un diseño de bloques completos al azar se evaluó el desarrollo y mortalidad de plántulas de teca (*Tectona grandis*) frente a la aplicación de seis tratamientos, tratamiento 1 y 2 consistió en la aplicación de una solución nutritiva de sales con un manejo del 50% del agua en las bandejas, tratamiento 4, 5 y 6 consistió únicamente en el manejo del riego a un 75%, 50% y 25%, respectivamente ,del agua disponible en las bandejas y un tratamiento control que consistió en la aplicación del proceso de fertilización que la empresa implementa. Se encontró que los mejores resultados los obtuvo los tratamientos en el cuál se fertilizó y aplicó riego de manera conjunta (1 y 2), el tratamiento con los valores más bajos los obtuvo el implementado por Panamerican Woods.

Palabras claves: Aclimatación, Fertilización, riego, *Tectona grandis*, vivero.

ABSTRACT

A bad design in the irrigation system causes an excessive or insufficient water applications, limiting its effectiveness and directly influencing the development of the plants in the terraces, in this work the coefficient of uniformity of Christiansen was determined with the objective of evaluating the state of the irrigation system applied in the nursery garden and measurements were made of the flow delivered by the sprinklers. Significant differences ($p \leq 0.05$) were found between these measurements and uniformity coefficients were below of the acceptance. At the same time, by a randomized complete block design, the development and mortality of teak seedlings (*Tectona grandis*) was evaluated against the application of six treatments, treatments 1 and 2 consisted in the application of a nutritive solution of salts with a 50% handling of the water in the trays, treatments 4, 5 and 6 consisted solely in the management of the irrigation at 75%, 50% and 25% respectively of the water available in the trays and a control treatment that consisted of the application of the fertilization process that the company implements. It was found that the best results were obtained by the treatments in which they were fertilized and applied irrigation together (1 and 2) and that the treatment with the lowest values was obtained by the one that is implemented by Panamerican Woods.

Key words: Acclimatization , fertilization, irrigation, nursery garden, *Tectona grandis*

Centeno Campos, R. 2017. Definición 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 Plantations S.A, en Nandayure Guanacaste. Tesis de Licenciatura. Escuela de Ingeniería Forestal, Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 29p.

ÍNDICE GENERAL

CONSTANCIA DE APROBACIÓN	i
DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTOS	iii
RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE CUADROS	viii
INTRODUCCIÓN	1
MATERIALES Y MÉTODOS	3
Descripción del área de estudio.....	3
Ejecución del trabajo.....	3
Análisis Estadístico	8
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
Riego	9
Fertirriego.....	11
CONCLUSIONES	16
RECOMENDACIONES.....	17
BIBLIOGRAFÍA	18

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ecuación utilizada para la determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen	4
Figura 2. Distribución espacial de los contenedores para la recolección de agua rociada durante la prueba de riego en el invernadero de Panamerican Woods 2017.	5
Figura 3. Diseño de bloques completos al azar implementado en el desarrollo del proyecto .	7
Figura 4. Ecuación para la determinación de los pesos críticos de las bandejas.	8
Figura 5. Representación visual del comportamiento del riego de los aspersores en el bancal analizado en el invernadero de Panamerican Woods.....	10
Figura 6. Representación de las medias de la altura en plántulas de teca de 12 semanas en el invernadero de Panamerican Woods.....	12
Figura 7. Porcentaje de mortalidad de plántulas de teca (<i>Tectona grandis</i>) evaluadas con diferentes tratamientos en el vivero de Panamerican Woods.	14
Figura 8. . Síntoma de deficiencia de nutrientes en plántulas de teca (<i>Tectona grandis</i>) cuya capacidad de agua almacenada en la bandeja era de un 50% en el vivero de Panamerican Woods.....	15
Figura 9. . Necrosis foliar característica de las plántulas tiempo después del proceso del corte de las hojas.....	16

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. . Parámetros de clasificación del desempeño de sistemas de riego por aspersión, con base en el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC).	4
Cuadro 2. Tratamientos ensayados y cantidades elementales aplicados	6
Cuadro 3. Promedio de las medias de riego en un bancal en el vivero de Panamerican Woods.....	9
Cuadro 4. Resultados del coeficiente de uniformidad de Christiansen para cada uno de las pruebas de riego realizadas en el bancal.	10
Cuadro 5. Mortalidad bisemanal por tratamiento en plántulas de teca (<i>Tectona grandis</i>) en el invernadero de Panamerican Woods.....	13

INTRODUCCIÓN

La teca (*Tectona grandis* L.F.) es la especie más plantada en América Latina para fines comerciales y a la vez es una de las especies forestales más utilizadas en proyectos de reforestación en Costa Rica (Valverde, Guevara, Arias, Briceño, & Esquivel, 2017), esta es una especie exótica originaria de la India y adaptada con éxito en la región tropical latinoamericana mediante el uso de importantes desarrollos tecnológicos (tales como el mejoramiento genético, polinización controlada, reproducción clonal) que han sido empleados por una buena proporción de los reforestadores (De Camino & Morales, 2013). Los mismos autores afirman que la madera de teca (*Tectona grandis* L. f.) debido a su durabilidad es una madera de alto valor económico y de gran demanda por la calidad del duramen.

En todo proceso a desarrollar, y mucho más a nivel forestal, lo más difícil de lograr pero que definirá el éxito o fracaso de un proyecto de reforestación, es establecer un correcto orden de prioridades en función de los objetivos preestablecidos. En el caso de un vivero forestal, se trata de la obtención de plántulas, con el adecuado porte y sistema de raíces, que permita una exitosa implantación en el lugar de establecimiento (Alarcón, 2017). El éxito de las plantaciones forestales depende de la calidad de las plantas producidas en vivero (Landis, Tinus, McDonald, & Barnett, 2004).

Los mismos autores afirman que la fertilización es, junto con el manejo del riego, una de las variables culturales con mayor influencia en la calidad de la planta, en especial las plantas producidas en tubetes o contenedores, el estado nutricional de éstas afecta procesos fisiológicos, como la regulación del crecimiento, el flujo de energía y la síntesis de los complejos orgánicos moleculares que las componen (Landis *et al*, 1994) (Escamilla-Hernández, Obrador-Olán, Carrillo-Ávila, & Palma-López, 2015). Un factor importante en los programas de silvicultura intensiva de plantaciones es que las plántulas que se produzcan en viveros sean de calidad óptima, para lo que se requiere de sustratos con buena fertilidad (Alvarado & Raigosa, 2012).

La fertilización es una práctica esencial en los viveros para alcanzar el crecimiento óptimo de los árboles en el menor tiempo posible, se ha comprobado (Chaves & Fonseca, 1991) que la aplicación en vivero de N, P y K mejora el color, vigor y el crecimiento de las plántulas de teca,

de la misma manera, se ha comprobado el efecto benéfico de la adición de fertirriego en plántulas de teca, sin embargo, a pesar de que este tipo de riego favorece el crecimiento y desarrollo de las plántulas existe la posibilidad de que se dé un aumento de la mortalidad de los árboles debido a intoxicación, probablemente con metales pesados (Alvarado & Raigosa, 2012).

Según Landis *et al* (1994) el riego por aspersión es la norma en los viveros forestales, además los mismos autores mencionan que la importancia del agua para el cultivo de especies forestales en contenedor, no debe ser sobreenfatizada. El agua está considerada como el principal factor limitativo del crecimiento en los ecosistemas naturales y es uno de los factores promotores del crecimiento más importantes en los ecosistemas artificiales, como los invernaderos (Landis *et al*, 1994).

La problemática que se da en el invernadero de Panamerican Woods Plantaton S.A es que alrededor de la tercer semana de haberse hecho el transplante a los tubetes se presentan en las plántulas síntomas de deficiencia de elementos menores así como necrosis en el borde la hoja, de igual forma en muchas de las plántulas es muy evidente la presencia de clorosis intervenal. Este trabajo tiene como objetivo definir y establecer un protocolo de riego y fertilización en plántulas de teca (*Tectona grandis* L.F) durante la etapa de aclimatación y endurecimiento en el invernadero de de PanAmerican Woods Plantations S.A.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del área de estudio

El trabajo se llevó a cabo en el invernadero de la empresa Panamerican Woods Plantations S.A ubicada en el cantón de Nandayure en la provincia de Guanacaste (9° 51' 02'' N y 85°13'35'' O), con base en datos obtenidos del Atlas Digital de Costa Rica (2014) y el vivero se encuentra en un piso altitudinal húmedo Premontano con transición a Basal. El clima que prevalece es un clima cálido con promedio de precipitación anual de entre 1500 a 2000 mm y una temperatura media anual de 29 °C (Panamerican Woods Plantations S.A, 2015).

Ejecución del trabajo

El trabajo se realizó en dos fases, la primer fase conllevó la evaluación en el sistema de riego con el objetivo de determinar el coeficiente de uniformidad de Christiansen (1942) (Figura 1) donde CUC es el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen en porcentaje, X_i es la cantidad de agua recogida individualmente X_m es el valor medio de la cantidad de agua recogida y n es el número de colector, para ello se usaron pequeños contenedores de 0,065 m de diámetro y 0,05 m de altura los cuales se colocaron sobre una bandeja de forma sistemática con una distribución espacial de 0,60 x 0,45 metros a lo largo y ancho del bancal (Figura 2) se usaron un total de 300 colectores para la captación del agua rociada en el de área del ensayo, se activó el sistema de riego durante un tiempo de 10 minutos, a su vez mediante el uso de un manómetro análogo se verificó que la presión en las tuberías fuera de 25 PSI de manera constante esto para controlar el caudal entregado al emisor de rocío, los aspersores utilizados fueron tipo puente de ½ pulgada de boquilla azul de 1,4 mm de diámetro con un caudal de entrega de 103,l/h y un diámetro de alcance de 3,4 m elevados a 1,50 m del suelo, la disposición de aspersores es en forma de “tresbolillo” con un distanciamiento de 3,60 x 3,85 metros, los tubos de la línea de riego son de PVC de ½ pulgada con resistencia a 600 PSI posteriormente transcurrido el tiempo de aplicación de agua rociada y mediante el uso de una balanza digital AWS \pm 0,01 se realizó la lectura del volumen obtenido a través del peso de cada uno de los colectores, a excepción de la primer prueba que para esta le lectura se hizo mediante el uso de un beaker. Las pruebas se realizaron en horas de la mañana. El área de estudio está compuesta por diez bancales de 47,71 m de longitud por 1,7 metros de ancho. Al azar se escogió un bancal para realizar las pruebas.

Para la interpretación de los valores obtenidos en el Coeficiente de Uniformidad de Christiansen se usaron los citados por Floréz-Tuta (2013) en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Parámetros de clasificación del desempeño de sistemas de riego por aspersión, con base en el coeficiente de uniformidad de Christiansen (CUC).

	Excelente	Bueno	Razonable	Malo	Inaceptable
CUC %	> 90	90-80	80-70	70-60	< 60

(Floréz-Tuta, 2013)

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

Figura 1. Ecuación utilizada para la determinación del Coeficiente de Uniformidad de Christiansen



Figura 2. Distribución espacial de los contenedores para la recolección de agua rociada durante la prueba de riego en el invernadero de Panamerican Woods 2017.

La prueba de riego se repitió tres veces en días diferentes esto con el fin de capturar la variabilidad del comportamiento de los aspersores en distintas condiciones propias del lugar (soleado, nuboso, ventoso), una vez con los datos recopilados se realizó, mediante el uso de herramientas ráster del programa QGIS, una representación visual del comportamiento de los aspersores en el bancal en cada una de las repeticiones.

La segunda fase del trabajo se realizó durante un periodo de mes y medio (17/08/2017-10/11/2017), esta se basó en un ensayo de fertilización y riego, la fertilización se realizó con distintas dosis y el riego a diferentes niveles de estrés hídrico en plántulas de teca (*Tectona grandis*) más detalles Cuadro 2.

En un diseño de bloques completos al azar, con 4 bloques (Figura 3), se aplicaron los tratamientos a cada unidad experimental constituida por una bandeja con 96 tubetes que se encontraban en la etapa de aclimatación y endurecimiento, de esta forma el número de bandejas para el ensayo fue de $6 \times 4 = 24$.

Cuadro 2. Tratamientos ensayados y cantidades elementales aplicados en plántulas de teca en el vivero de Panamerican Woods.

Numeración	Tratamiento	Dosis	
1	Sulfato de magnesio (MgSO₄)	3,4 g/20l	
	Nitrato de calcio (CaNO₃)	1 g/20l	
	Sulfato de potasio (K₂SO₄)	4,2 g/20l	
	Fosfato monopotásico (KH₂PO₄)	3,8 g/20l	
	Urea CO(NH₂)₂	11,1 g/20l	
2	Fosfato monopotásico (KH₂PO₄)	14,3 g/20l	
	Urea CO(NH₂)₂	11,6 g/20l	
	Nitrato de calcio (CaNO₃)	18,8 g/20l	
	Sulfato de magnesio (MgSO₄)	32 g/20l	
3	Lunes		
	Metalosato Multimineral Cc	60 Cc/20l	
	Metalosato de Calcio Cc	30 Cc/20l	
3	Terrasorb Cc	180 Cc/20l	
	Viernes	Metalosato Crop up Cc	85 Cc/20l
		Metalosato Hierro Cc	15 Cc/20l
Terrasorb Cc		180 Cc/20l	
4	Riego al 75% del agua disponible en la bandeja		
5	Riego al 50% del agua disponible en la bandeja		
6	Riego al 25% del agua disponible en la bandeja		

Las plántulas fueron producidas en el vivero, estas se obtuvieron a través del programa de mejoramiento genético que la empresa ha implementado desde hace 12 años, antes de ser llevadas a los tubetes de cultivo estuvo bajo condiciones controladas de temperatura (de entre 30 °C a 35 °C) y humedad relativa (un 80% a un 85%), posteriormente las plántulas fueron

transplantadas en tubetes de polipropileno de 115,74 cm³ con un sustrato que consistió en una combinación de turba rubia tipo Sphagnum (40 kg) + 15% de perlita y agua (20L/40Kg de turba) además, se incorporó a la mezcla del medio de crecimiento un fertilizante de liberación controlada (Osmocote® MiniPrill 19-6-10-3, 1kg/40kg de turba) cuya capacidad activa es de 3 a 4 meses, manualmente se formó una mezcla lo más homogénea posible.

B1T2	B1T3	B2T4	B3T1	B4T1	B4T5
B1T5	B1T1	B2T1	B3T6	B4T2	B4T6
B1T4	B2T5	B2T3	B3T4	B3T5	B4T3
B1T6	B2T2	B2T6	B3T2	B3T3	B4T4

Figura 3. Diseño de bloques completos al azar implementado en el desarrollo del proyecto

Se determinaron los pesos críticos de las bandejas se utilizó la fórmula descrita en la Figura 4 determinando los pesos secos ($PS_{bandeja}$), los pesos totales a capacidad de campo, así como el peso del sustrato en cada una de las 24 bandejas ($P_{ssustrato}$), obteniéndose el peso crítico que cada bandeja debería tener ante la pérdida de un determinado porcentaje de agua.

$$((PT_{cc} - P_{ssu}) * n\% + P_{ssu})$$

Dónde: PT_{cc} es el peso total a capacidad de campo

P_{ssu} : Es el peso seco del sustrato $n\%$: Porcentaje de riego

Figura 4. Ecuación para la determinación de los pesos críticos de las bandejas a un porcentaje de riego establecido.

La fertilización se aplicó bajo una frecuencia diferenciada siguiendo la metodología aplicada por González-Ortega *et al* (2017) es decir, la frecuencia de la solución nutritiva fue intercalada con riego, durante este periodo los tratamientos de fertilización se aplicaron cuando las bandejas llegaron a un peso crítico del 50% de agua disponible. El riego se manejó siempre de forma manual llegando a la saturación del sustrato en cada sesión utilizando para ello una regadera,

El tratamiento 3 fue el utilizado como testigo por lo que el riego se realizó con una bomba de riego manual pues es parte del protocolo de fertilización de la empresa.

Los individuos del bloque 4 del ensayo se colocaron en los tubetes de crecimiento bajo un sistema diferente de producción y con una diferencia de alrededor de tres semanas esto con el fin de determinar el comportamiento de manera meramente observacional de las plántulas frente a cada uno de los tratamientos aplicados.

Se evaluó el desarrollo y crecimiento de la plántula en altura y la mortalidad en evaluaciones quincenales.

Análisis Estadístico

Para el análisis de varianza (ANOVA) de las variables estudiadas se usaron comparaciones de medias empleando el criterio de Duncan con ($\alpha = 0,05$). Para estos análisis se usó el programa estadístico Infostat. De igual forma, para la elaboración de gráficos se realizó usando el programa Excel versión 2016.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Riego

Los valores del promedio de volumen obtenidos durante las pruebas de riego para un mismo bancal se muestran en el Cuadro 3, se encontraron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) para estas pruebas, con esta información se podría suponer que los riegos difieren entre los días por factores que no fueron controlados, algunos de ellos podrían deberse al sistema de riego otros podría ser factores ambientales, por lo anterior se deberá tener cuidado con el tiempo de regado para obtener un porcentaje de saturación de los sustratos de las bandejas.

Cuadro 3. Promedio de las medias de riego en un bancal en el vivero de Panamerican Woods.

Repetición	E.E.	Media
3	0,15	4,68 A
2	0,15	6,00 B
1	0,15	9,36 C

Medias con diferente literal son estadísticamente tienen diferencias significativas (Dunca 0.05)

Las pruebas 2 y 3 presentaron coeficientes de uniformidad por debajo de los valores de aceptación citados por Flórez-Tuta (2013) lo que implica que el sistema de riego varía dependiendo del lugar del bancal que se encuentre la bandeja, una práctica que podría compensar esta variación es posterior al riego con aspersores revisar que las bandejas cuenten con el porcentaje de agua decaído, claramente esto mientras se pueda cambiar el sistema de riego. En la Figura 5 se muestra la representación visual de los aspersores al momento del riego para cada una de las tres pruebas y en el Cuadro 4 se presentan los datos obtenidos.

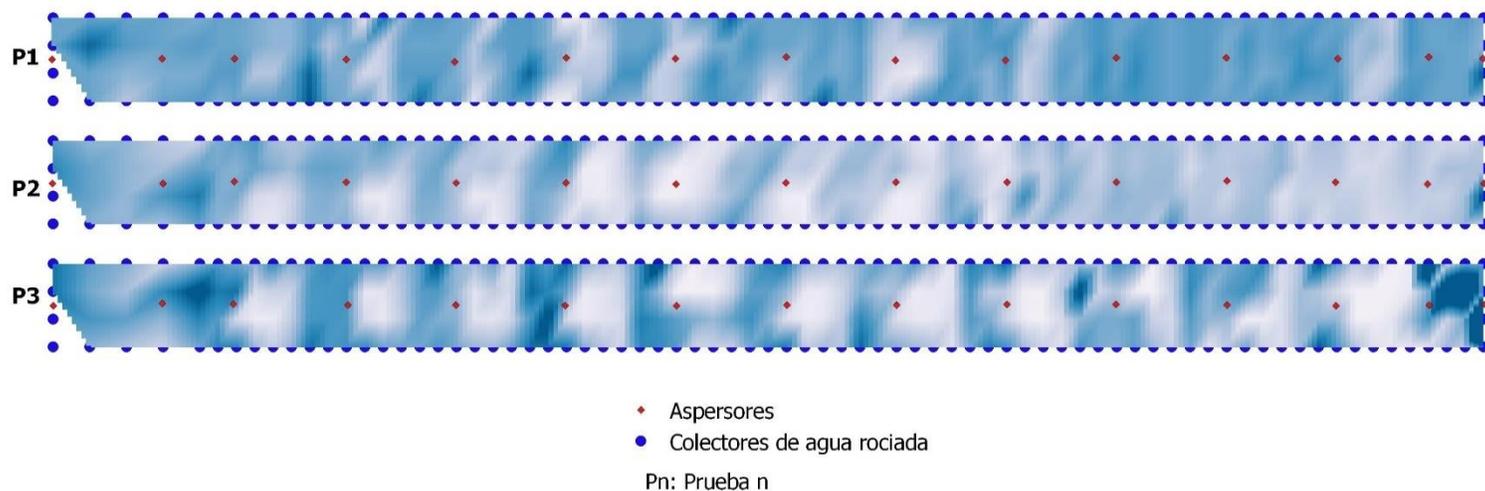


Figura 5. Representación visual del comportamiento del riego de los aspersores en el bancal analizado en el invernadero de Panamerican Woods.

Cuadro 4. Resultados del coeficiente de uniformidad de Christiansen para cada uno de las pruebas de riego realizadas en el bancal.

Prueba	Coeficiente de Uniformidad de Christiansen (%)
1	79,52 ± 0,15
2	61,67 ± 0,17
3	45,15 ± 0,20

Según Christiansen, (1942) a mayor coeficiente uniformidad es un riego mejor, partiendo de esta afirmación se podría decir que para la prueba 1 tiene un coeficiente alto por lo que podría ser aceptada, sin embargo, para la recolección de datos en esta prueba en específico se midió volumetricamente el agua con un beaker (± 1 ml) lo que implicó que el dato obtenido oculta la variabilidad presente en los datos obtenidos. Por esta razón para las pruebas 2 y 3 la metodología

fue mejorada determinando el volumen de agua mediante una balanza ($\pm 0,1$ g) considerando la densidad del agua como 1 g/cm^3 por lo que los datos pudieron mostrar las variaciones volumetricas del sistema de riego, ya que al observar las pruebas 2 y 3 se concluye que el sistema debe ser mejorado.

Por la disposición espacial en que los aspersores están colocados existen áreas en las que van a quedar sin riego, es decir, a mayor espaciamiento entre aspersores el área que se necesita irrigar aumenta, sin embargo, el radio de alcance del aspersor se mantendrá constante dejando partes sin irrigar (Flórez-Tuta, 2013).

Fertirriego

Para los resultados de las pruebas de fertilización la aplicación de sales y nutrientes manteniendo un control del agua almacenada en las bandejas a diferentes porcentajes de estrés hídrico, como era de esperarse, influyeron en el crecimiento y desarrollo de las plántulas. La intensidad de muestreo por tratamiento fue de un 6,25% es decir 24 plántulas de las 384 plántulas que conformaban cada tratamiento para un error de muestreo del 5%.

La variable altura en cada uno de los tratamientos mostró una pequeña variación entre los individuos aunque estos fueron transplantados bajo el mismo proceso en el mismo tiempo, Murillo y Sánchez (2004) mencionan que esta variación de altura se debe a un proceso productivo en los viveros dónde la semilla, en este caso la plántula, no es seleccionada por tamaño y el riego y la fertilización no se aplican de manera homogénea a lo largo del bancal.

Para efectos del presente trabajo y como se observa en la Figura 6, al evaluar la variable altura total de la plántula frente a cada tratamiento al termino de las 12 semanas que duró el ensayo entre los efectos de los tratamientos 1, 2 y 4 tuvieron valores similares y no presentaron diferencias estadísticamente significativas, no obstante, los mejores resultados en el crecimiento de las plántulas se obtuvieron manejando un 50% aproximadamente de agua disponible en las bandejas intercalando esta actividad con la aplicación de una solución nutritiva tratamientos 2 y 1 ($10,74 \pm 0,56$ cm) y ($10,38 \pm 0,54$ cm) respectivamente. Esta fue la tendencia en cada uno de los 4 bloques en el ensayo, mientras que tratamiento 4 fue el tercero con un mejor comportamiento ($10,33 \pm 0,51$), cabe destacar que para este tratamiento la aplicación de fertilizantes fue nula a excepción de la que se la aplica en la preparación del sustrato.

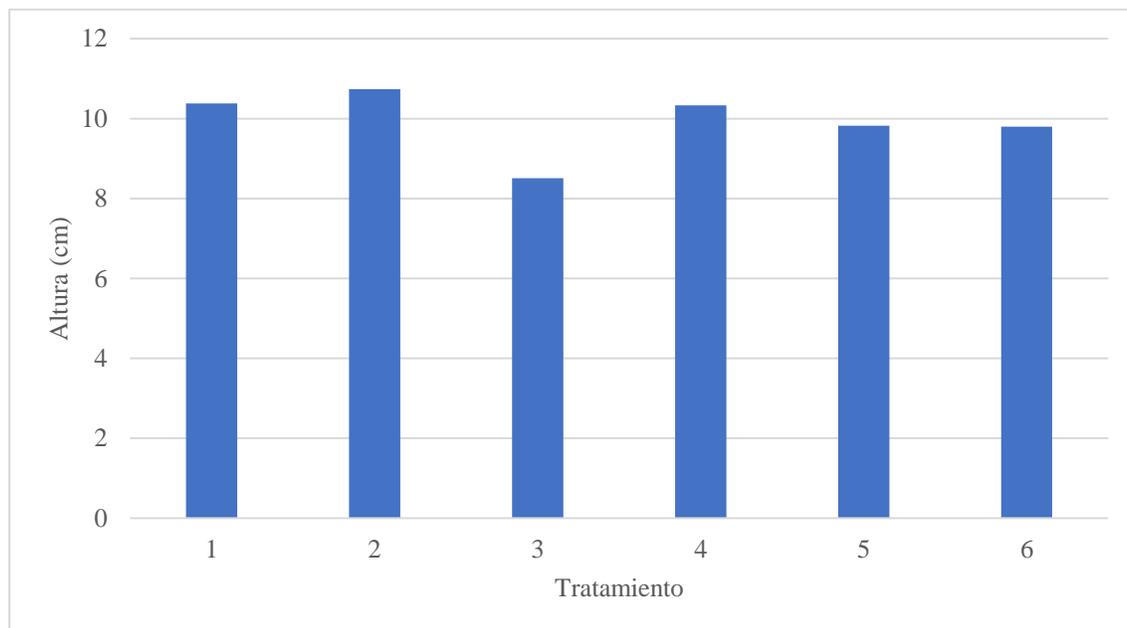


Figura 6. Representación de las medias de la altura en plántulas de teca de 12 semanas en el invernadero de Panamerican Woods.

A diferencia de los tratamientos 5 y 6 en donde las plantas fueron sometidas a un tiempo de estrés hídrico prolongado los resultados obtenidos en cuanto a la altura total aunque se podrían interpretar como aceptables, no son los mejores. Entre estos dos tratamientos tampoco hay diferencias entre ellos pero al compararlo con los otros estadísticamente si se logra ver una diferencia significativa.

Entre más tiempo se le restringió el riego a las plántulas, el crecimiento de las mismas se vio afectada, resultados similares encontró Coopman *et al*, (2010) en ensayos de endurecimiento en el cual diferentes genotipos de plántulas de *Eucalyptus globulus* fueron sometidas a estrés hídrico encontrando una disminución significativa en la altura de la planta, área foliar, tallo y biomasa folia. La morfología y la fisiología de las plantas que crecen en condiciones de restricción hídrica son diferentes a las de las plantas que tienen suficiente disponibilidad de agua, sin embargo, algunas respuestas de la planta pueden ser modificadas también por la disponibilidad de nutrientes (González-Ortega, *et al*, 2017).

Como se observa en la Figura 5 el tratamiento que fue usado como testigo, es decir, el que la empresa ha estado aplicando en sus procesos regulares fue el que presentó los menores valores de altura, si bien es cierto la aplicación que la fertilización con N, P y K en viveros es la que brinda los mejores resultados lográndose obtener plantas de buen color y vigor y acelerar su crecimiento (Alvarado & Raigosa, 2012), la combinación de la aplicación con metalosatos dos veces por semana parece influir en el crecimiento de las plántulas debido a una intoxicación o exceso de nutrientes en los tubetes.

Cuadro 5. Mortalidad bisemanal por tratamiento en plántulas de teca (*Tectona grandis*) en el invernadero de Panamerican Woods.

Tratamiento	Mortalidad						Total
	Semana						
	2	4	6	8	10	12	
T1	0	0	1	2	0	0	3
T2	0	0	0	1	0	0	1
T3	3	4	6	7	7	8	35
T4	1	1	3	2	2	3	12
T5	1	0	1	1	1	2	6
T6	0	0	3	3	5	5	16
Total	6	5	14	16	15	18	

La mortalidad es uno de los aspectos más importantes para predecir la productividad del vivero desde el punto de vista económico, así como la presencia de factores críticos: problemas fitosanitarios y prácticas silviculturales incorrectas (Murillo & Sánchez, 2004).

En el cuadro anterior es posible observar la mortalidad de las plántulas frente a cada uno de los tratamientos en términos absolutos al final de periodo de evaluación, El tratamiento en el que se obtuvo una mayor cantidad de plántulas muertas fue el, al igual que con la variable altura, el tratamiento 3 contrario a esto el tratamiento 1 y 2 fueron los que obtuvieron menos mortalidad.

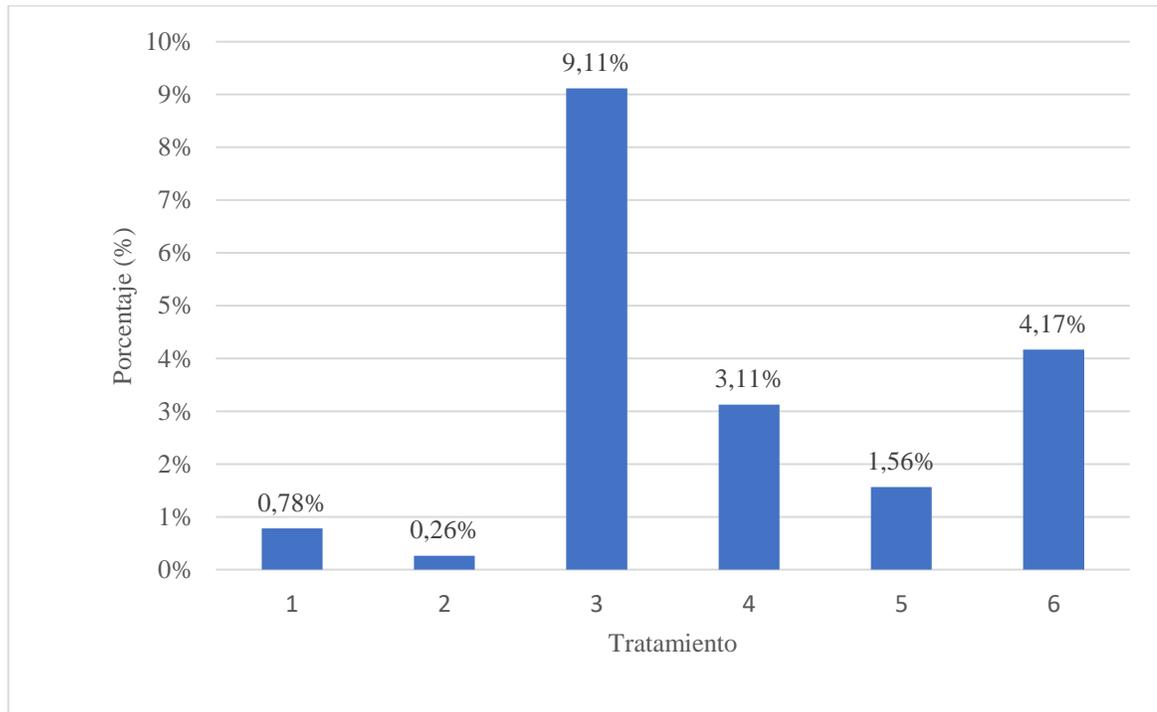


Figura 7. Porcentaje de mortalidad de plántulas de teca (*Tectona grandis*) evaluadas con diferentes tratamientos en el vivero de Panamerican Woods.

Las plántulas cuyo tratamientos era únicamente el manejo de agua en la bandeja a diferentes porcentajes presentaron una mortalidad mayor que aquellos tratamientos en el cual consistía en la aplicación de fertilizante y el control en el riego González-Ortega, *et al.* (2017) descubrió que al evaluar las componentes de biomasa y mortalidad frente a cada factor (fertilización, riego e interacción) al final de la etapa de restricción hídrica, observó que todas las plantas fertilizadas, independientemente de sí estuvieron o no sometidas a restricción hídrica, presentan valores de biomasa total significativamente superiores que aquellas plantas no fertilizadas igualmente, como se mencionó anteriormente, el tratamiento 3 es el que posee el mayor porcentaje de mortalidad considerando que para la variable altura también tuvo los valores menos favorables y sabiendo que el proceso de fertilización del vivero según (Panamerican Woods Paltations S.A, 2015) son dos veces a la semana y el riego se aplica según el criterio de encargado se puede afirmar que las plántulas para este tratamiento no estén tolerando las altas concentraciones de nutrientes al que se le están sometiendo sumado a esto los posibles macro y microelementos

contenidos en el agua usada para el riego implicaría que las plántulas estuviesen siendo intoxicadas con metales pesados.

Si bien es cierto para el tratamiento 5 el porcentaje de mortalidad no es considerable, al término del ensayo fue posible observar deficiencias nutricionales en las hojas, así como posiciones sociológicas marcadas Figura 8.



Figura 8. Síntoma de deficiencia de nutrientes en plántulas de teca (*Tectona grandis*) cuya capacidad de agua almacenada en la bandeja era de un 50% en el vivero de Panamerican Woods.

A través de un método observacional se determinó que en los tratamientos 2 y 1 hubo una disminución en la necrosis foliar de las plántulas a diferencia del tratamiento 3 en el cuál la cantidad de plántulas con este defecto si se mantuvo. En el vivero para acelerar el endurecimiento del tallo en la etapa de aclimatación, aplican un proceso silvicultural que consiste en cortar las hojas de las plántulas cada 15 días Figura 9, días después de realizado este proceso es común ver la necrosis en el borde de las hojas viejas posiblemente el equipo que se utiliza para podar las plántulas esté influyendo en la aparición de este efecto.



Figura 9. Necrosis foliar característica de las plántulas tiempo después del proceso del corte de las hojas.

CONCLUSIONES

El coeficiente de uniformidad de Christiansen del agua para las pruebas de riego en el del vivero indican que la irrigación no sé está dando de manera hómegenea a lo largo del bancal lo que va implicar que hayan plantas a las que no tendrán acceso total al agua.

En las condiciones ensayadas los mejores resultados en la aplicación de tratamientos de fertilización y el control de riego se dieron en aquello en el cuál se daba una interacción adición de nutrientes y un control del 50% del agua almacenada en las bandejas.

Las plántulas en su etapa de aclimatación son susceptibles a soportar tiempos prolongados de estrés hídrico, sin embargo, las características morfo-funcionales se verán afectadas sino se le aplica fertilizante en dosis adecuadas.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un rediseño en el sistema de riego con el objetivo de aminorar el área a irrigar, podría funcionar el duplicar las torres de aspersion en los bancales.

Realizar operaciones de riego y fertilización de forma alternada manejando el 75% de agua almacenada en las bandejas para obtener resultados deseables.

Es recomendable realizar un análisis químico foliar los tratamientos de fertilización propuestos en este trabajo y realizar una comparación con el que se trabaja regularmente en el vivero.

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, A. (2017). *Infoagro Systems, S.L.* Recuperado el 26 de julio de 2017, de [WWW.Infoagro.com](http://www.infoagro.com):
http://www.infoagro.com/semillas_viveros/viveros/nutricion_y_riego_en_viveros.htm
- Alvarado, A., & Raigosa, J. (2012). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales* (1 ed.). San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo.
- Alvarado, A., & Raigosa, J. (2012). *Nutrición y fertilización forestal en regiones tropicales* (1 ed.). San José, Costa Rica: Asociación Costarricense de la Ciencia del Suelo
- Chaves, E., & Fonseca, W. (1991). *Teca (Tectona grandis), especie de árbol de uso múltiple en América Central*. Turrialba: CATIE.
- Christiansen, J. (1942). *Irrigation by sprinkling*. California: University of California .
- Coopman, R., Jara, J., Escobar, R., Corcuera, L., & Bravo, L. (enero de 2010). Genotypic variation in morphology and freezing resistance of *Eucalyptus globulus* seedlings subjected to drought hardening in nursery. *Electronic Journal of Biotechnology*, 13(1), 5-6. Obtenido de http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0717-34582010000100005#r_1
- De Camino, R., & Morales, J. P. (2013). *Las plantaciones de teca en América Latina: Mitos y realidades*. Turrialba: CATIE.
- Escamilla-Hernández, N., Obrador-Olán, J., Carrillo-Ávila, E., & 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.
- Flórez-Tuta, N. (2013). Eficiencia de aplicación de agua en la superficie y en el perfil del suelo de un sistema de riego por aspersión. *Agrociencia*, 47(2), 107-119.

- González-Ortega, M., Acevedo, M., Cartes Rodríguez, E., Alvarez Maldini, C., Bannister, J., & Kremer, K. (2017). Desempeño morfo-fisiológico de plantas de olivillo (*Aextoxicon punctatum*) sometidas a restricción hídrica en función de la disponibilidad nutricional: Manejo en vivero orientado a la restauración. *7° Congreso Forestal Español. Gestión del monte: Servicios ambientales y bioeconomía* (pág. 11). Cáceres, Extramadura: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Landis, T., Tinus, R., McDonald, S., & Barnett, J. (2004). *Manual de Viveros para la Producción de Especies Forestales en Contenedor*. Portland, Oregón, USA: Dpto. de Agricultura de los Estados Unidos. Servicio Forestal.
- Murillo, O., & Sánchez, S. (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), 95-109.
- Panamerican Woods Plantations S.A. (2015). *Forest Management Plan*. Técnico Forestal. Nandayure, Guanacaste: PAWP.
- TEC (Tecnológico de Costa Rica). (2014). Atlas Digital de Costa Rica 2014. Cartago, Costa Rica
- Valverde, J. C., Guevara, M., Arias, D., Briceño, E., & Esquivel, E. (2017). Efectos de las actividades de labranza en el índice de área foliar en una plantación de *Tectona grandis* en la zona norte de Costa Rica. *Madera y Bosque*, 23, 2-7.
doi:10.21829/myb.2017.232498