

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades



Comparación de producción de plantas de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii* en viveros a cielo abierto con métodos tradicionales versus producción en invernadero con métodos tradicionales e hidropónicos, Jalapa, Guatemala

Trabajo de Graduación en modalidad de investigación presentado por Evelyn Bosch de Chacón para optar al grado académico de Licenciada en Biología

Guatemala

2016

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades

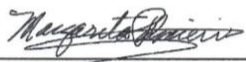


Comparación de producción de plantas de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii* en viveros a cielo abierto con métodos tradicionales versus producción en invernadero con métodos tradicionales e hidropónicos, Jalapa, Guatemala

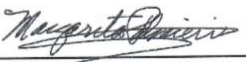
Trabajo de Graduación en modalidad de investigación presentado por Evelyn Bosch de Chacón para optar al grado académico de Licenciada en Biología


Guatemala
2016

Vo.Bo.

(f) 
Lic. Margarita Palmieri

Tribunal examinador:

(f) 
Lic. Margarita Palmieri

(f) 
Ing. Ana Elena Morales

(f) 
M.Sc. Gabriela Alfaro

Fecha de Aprobación: Guatemala, 23 de noviembre, 2016.

ÍNDICE

RESUMEN	i
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVOS	4
A. Objetivo general.....	4
B. Objetivos específicos.....	4
III. JUSTIFICACIÓN	5
IV. MARCO TEÓRICO	7
A. Análisis de varianza	11
1. ANOVA.....	11
2. Distribución F.....	12
3. Grados de libertad	12
4. Pasos para realizar un ANOVA	12
5. Criterios de decisión.....	14
6. Distribución t-student	15
V. ANTECEDENTES	18
VI. MÉTODOS	20
A. Procedimiento de siembra en tierra y cielo abierto.....	21
B. Procedimiento de siembra en tierra dentro de invernadero.....	21
C. Procedimiento de siembra en sustrato inerte en invernadero.....	21
D. Selección de plantas y evaluación de raíces.....	22
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	23
A. Altura promedio	23
B. Longitud media de raíz principal	23
C. Abundancia promedio de raíz secundaria	27
D. Comparación de raíces	28
E. Salud general de la raíz.....	29
F. Evaluación económica de costos	31
VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS	33
A. Análisis de varianza	33
IX. CONCLUSIONES	44
X. RECOMENDACIONES	46
XI. BIBLIOGRAFÍA	49
XII. ANEXOS	52

Tablas

Tabla 1. Formato de la Tabla ANOVA.....	14
Tabla 2. Altura promedio por procedimiento.....	23
Tabla 3. Longitud media de raíz principal.....	26
Tabla 4. Abundancia promedio de raíz secundaria	29
Tabla 5. Salud promedio de raíz	30
Tabla 6. Detalle de costos para establecimiento de viveros en Finca Lagunilla año 2015 ..	32
Tabla 7. Análisis de varianza altura.....	34
Tabla 8. Resumen ANOVA de varianza altura.....	35
Tabla 9. Prueba HSD Tukey sobre varianza altura.....	35
Tabla 10. Análisis de varianza longitud de raíz principal.....	37
Tabla 11. Resumen ANOVA de varianza longitud de raíz principal.....	39
Tabla 12. Prueba HSD Tukey sobre varianza longitud de raíz principal.....	39
Tabla 13. Análisis de varianza abundancia de raíz secundaria.....	40
Tabla 14. Resumen ANOVA de varianza abundancia de raíz secundaria.....	40
Tabla 15. Prueba HSD Tukey sobre varianza abundancia de raíz secundaria.....	40
Tabla 16. Análisis de varianza abundancia de salud general de la raíz	41
Tabla 17. Resumen ANOVA de varianza salud general de la raíz.....	41
Tabla 18. Prueba HSD Tukey sobre varianza salud general de la raíz.....	41
Tabla 19. Tabla comparativa de variables medias evaluadas	42

Figuras

Figura 1. Curva de aceptación y rechazo de H_0	14
Figura 2. Gráfica de la t-Student.....	16
Figura 3. Comparación de raíces de <i>Pinus tecunumani</i>	24
Figura 4. Sustrato tierra: Cielo bierto–Fertilización comercial.....	25
Figura 5. Raíces principales: Sustrato tierra–Invernadero–Fertilización especial.....	25
Figura 6. Sustrato cascarilla de arroz: Invernadero–Fertilización especial.....	26
Figura 7. Raíz de sustrato tierra: Cielo abierto–Fertilización comercial.....	27
Figura 8. Raíz de sustrato cascarilla de arroz–Invernadero–Fertilización especial.....	27
Figura 9. Raíz de sustrato cascarilla de arroz y raíz de sustrato de tierra.....	28
Figura 10. Diagrama comparativo por variable estudiada	42

RESUMEN

Guatemala es un país lleno de posibilidades y retos. La principal riqueza de Guatemala la constituyen su biodiversidad y su multiculturalidad, y sobresale su vocación forestal, que ofrece la posibilidad de contribuir al control del cambio climático y al alcance de los objetivos de desarrollo sostenible. A través de su aporte al equilibrio medioambiental y del combate a la pobreza, la silvicultura ofrece, por medio de la actividad forestal, una fuente de empleo en lugares donde las alternativas de trabajo remunerado son limitadas, aparte de proveer un mecanismo para restaurar suelos degradados, áreas erosionadas y la opción de generar esperanza de desarrollo donde se ha perdido toda opción.

A pesar de que Guatemala tiene una vocación forestal clara, los avances en el ámbito silvicultural y de producción de plantas en vivero ha sido lento. Tenemos una variedad de genoma y climas muy buenos, que no nos han obligado a buscar mejorar en áreas importantes de las prácticas de silvicultura. Por esta razón, este trabajo propone producir plantas de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii* para la siembra en campo en la Finca Lagunilla, Jalapa, Guatemala, aplicando dos métodos generales; el tradicional de cultivo en tierra y el de cultivo hidropónico o cultivo sin tierra (1), en vivero a cielo abierto y utilizando invernaderos tipo macro túneles. Sabemos que los viveros a cielo abierto funcionan, pero deseamos proponer nuevas y mejores técnicas, manteniendo los costos y la calidad de planta.

El objetivo del trabajo es determinar qué método tiene mejor efecto en la producción de estas plantas en diferentes tipos de vivero, tomando en cuenta tiempo y costo de producción y calidad de plántula producida, a fin de mejorar su

efectividad al momento de realizar la siembra en el campo. De acuerdo con otras experiencias, se espera que la producción hidropónica en invernadero sea más eficiente en tiempo y calidad. Esto no es usual en producción de plantas, especialmente coníferas, por sus particularidades en el sistema radicular. El resultado de la calidad de planta no es tan certero, porque tiene requerimientos muy específicos para poder ser llevados a campo. Esto se evaluará cualitativamente y luego se procederá a aplicar algunas pruebas estadísticas para poder cuantificar los resultados obtenidos.

En el ámbito forestal, no existen muchas innovaciones y realmente podríamos pensar que, si las cosas funcionan para qué cambiar las cosas, pero en realidad creo que los procesos y las técnicas de producción de plantas en vivero tiene mucho que mejorar. Este trabajo tiene como intención simplemente proponer una de muchas formas posibles de mejorar un proceso que, aunque ha funcionado en el pasado, puede tener nuevas cosas por hacer.

I.INTRODUCCIÓN

Guatemala tiene una superficie de 108,889 km² caracterizados por una biodiversidad asombrosa, que incluye especies de árboles endémicos de esta zona propicios para la reforestación y la producción maderera, estando el 54.6% del total de este territorio bajo el régimen de Áreas Protegidas y dejando aproximadamente el 45% de bosque para uso energético, industrial, en la construcción y en la producción de papel (www.sifgua.org.gt). El sector forestal en Guatemala se conforma por: instituciones de gobierno, tales como, el Instituto Nacional de Bosques (INAB) y el Consejo Nacional de Áreas Protegidas (CONAP); las municipalidades, que juegan un papel importante con la ejecución de programas de incentivos para siembra y reforestación; y el sector privado, conformado por organizaciones comunitarias, grupos de campesinos propietarios colectivos de bosques, instituciones de la sociedad civil como gremios y asociaciones forestales, centros de investigación y el sector empresarial. Este sector y la actividad económica que genera, se ha considerado como un polo de desarrollo para el país (Zamora y Barrera, 2010). Su importancia radica en que genera empleo en lugares de difícil y acceso y en donde las alternativas de trabajo remunerado, son limitadas. Las pequeñas y medianas empresas agroforestales, se han convertido en fuentes de ingresos en el área rural, basadas en los productos que producen o manejan, generando empleos.

El cultivo de especies forestales para su aprovechamiento de productos maderables o no maderables tiene un lugar importante en la economía de Guatemala y otros países de la región, siendo el pino una de las especies más utilizadas en nuestro país (Zamora y Barrera, 2010). De acuerdo con el estudio ISDE Forestal, Hule, Muebles y Papel: Análisis Sectorial (guatemaltecos Mejoremos Guate, octubre 2011), Guatemala cuenta con 3.784 empresas en el sector forestal, hule y papel, con aproximadamente 101.600 empleados, generando así \$69.148M en exportaciones anuales. Thomas Veblen agrega que,

las especies de pino *P. tenuifolia*, *P. montezumae* y *P. oocarpa*, son los pinos con mayor importancia para construcción y leña, así como para obtener las astillas resinosas denominadas ocote.

Siete géneros de coníferas - *Abies*, *Cupressus*, *Juniperus*, *Pinus*, *Podocarpus*, *Taxodium* y *Taxus* -, que abarcan 17 especies, se encuentran en las tierras altas de Guatemala (véase Apéndice No. 1), ninguna otra región a latitud tan baja (14 a 16° N aproximadamente) se caracteriza por una variedad tan grande de taxa coníferas” (Veblen, Thomas. FAO.), siendo Guatemala una de las pocas regiones que tiene tierras altas tropicales en las cuales están bien representadas las coníferas. Por tal razón se hace necesaria la conservación de los bosques naturales sobrevivientes, como fuentes de semillas para la forestación de otras tierras altas tropicales, sobre todo en las tierras altas de Guatemala.

El *Pinus oocarpa* es una especie muy versátil, de fácil cultivo y de fácil adaptación, y su resistencia le hace apta para cultivar en tierras altas, especialmente poco fértiles. Alcanza su mejor desarrollo de 600 a 1800 msnm, con temperaturas entre los 13 a 23° C y precipitaciones anuales de 650 mm a 2000 mm, con época seca de 5 a 6 meses al año. Esta especie está presente desde México hasta el norte de Nicaragua representando en Guatemala, Honduras, Nicaragua y El Salvador la especie dominante (Manual OFI-CATIE).

Por otra parte, el *Pinus tecunumanii* es endémico de Guatemala y su principal característica es el rápido crecimiento. Es un árbol vigoroso. Su único bemol es la escasa producción de semilla. Se desarrolla en altitudes de 440 msnm hasta 2800 msnm; precipitaciones anuales de 790 mm a 2000 mm y temperaturas de 14 a 25° C (Manual OFI-CATIE). Por esta razón se decidió realizar una producción en campo de 100,000 plantas de dos especies *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii*, en la Finca Lagunilla, Jalapa, Guatemala, de las cuales 22,500 se produjeron en

invernadero y 77,500 se produjeron a cielo abierto. Esto con el fin de no alterar ni afectar la siembra en campo de la finca que se realiza habitualmente.

Los invernaderos por utilizar son macro túneles de 10 metros de largo con capacidad para 4,500 plantas por invernadero y se emplearán dos técnicas para la siembra: la tradicional en bolsa con tierra y la hidropónica con sustrato inerte, en partes iguales de cascarilla de arroz, hidrogel y arena blanca de río para un total de 22,500 plantas. Para la evaluación de los resultados se utilizan estándares internacionales de calidad de las plantas para siembra en campo, incluyendo parámetros tales como: altura, relación diámetro altura, raíz y color, tiempo y costo de producción.

II.OBJETIVOS

A. Objetivo general

Técnicas alternativas que resulten prácticas y efectivas para la producción de plantas coníferas nativas de Guatemala.

B. Objetivos específicos

La utilidad costo efectiva de la producción de plantas de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii*, con técnica hidropónica en comparación con la técnica tradicional utilizada en Finca Lagunilla, en Jalapa.

Un método efectivo de producción hidropónica de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii*, que pueda estandarizarse para su uso en Guatemala y regiones similares.

III. JUSTIFICACIÓN

Esta investigación brinda la información necesaria para el perfeccionamiento y la producción forestal en el cultivo de especies coníferas, ofreciendo técnicas alternativas que favorecen la producción de plantas de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii* en viveros de manera práctica, eficiente y efectiva, favoreciendo el bienestar del medio ambiente y la productividad económica de la comunidad de la Finca Lagunilla, en Jalapa y otras comunidades guatemaltecas que posteriormente pueden replicar la experiencia, contribuyendo así al desarrollo sostenible de su población.

Aunque el costo de producción varía entre Q0.02 y Q0.04 por planta producida en vivero a cielo abierto comparado con planta producida en vivero hidropónico de macro túnel, pareciera poco, pero en grandes volúmenes puede representar un ahorro tangible. Así mismo, un vivero tradicional, a cielo abierto, tarda un promedio de 6 meses desde el momento de la “semillación” hasta la salida de la planta de vivero. Comparado con los 4 meses promedio para producir una plántula de pino lista para campo en un sistema de vivero de túnel. Esto en tiempo es un ahorro grande para los productores, pues no deberá invertir horas en limpieza de plantas y riego. En una finca, ahorra jornales que representan un alto costo. También el uso de agua decrece por ser un sistema cerrado e hidropónico, también uso de insecticidas se reduce en un alto porcentaje. Incluso la cantidad de hierba que crece en la base de las plantas decrece considerablemente, abaratando el costo de limpieza. Esto se debe a que el sustrato diferente a tierra que es desinfectado, no contiene semillas de maleza que pueda crecer.

Este trabajo es importante para Guatemala y para mi persona, porque puede representar un cambio en la producción de calidad de plantas en viveros en las fincas. Usando baja tecnología podemos mejorar considerablemente la calidad de planta que plantaremos en el campo. Aunque tradicionalmente no se usa la hidroponía con coníferas, fue muy emocionante para mi probar que si se puede hacer. También esto nos prepara para la producción de otros productos en viveros de coníferas.

IV.MARCO TEÓRICO

La biomasa es la materia orgánica originada en un proceso biológico, espontáneo o provocado, utilizable como fuente de energía (DURÁN, 2005). Indica que la biomasa corresponde a la cantidad total de materia viva presente en un momento dado para un sistema biológico, expresada en unidades de peso seco por unidad de superficie, pudiendo utilizarse para determinar por medio de inventarios la cantidad de materia biológica que se encuentra disponible en un momento y ambiente definido; así como para determinar la distribución de materia orgánica de dicho sistema (Newbould, 1967).

La constitución de la biomasa como fustes, ramas, hojas y raíces varía según la especie, edad, tratamiento silvicultural y sitio de establecimiento del árbol. La evaluación de la biomasa presente en los distintos componentes de un individuo, permite estimar el potencial productivo de un sistema boscoso y uno de los componentes que presenta mayor variación es la biomasa foliar, debido a que no incrementa necesariamente con el crecimiento del rodal, como lo hace la biomasa total (Pardé, 1980).

Los nutrientes que contiene un sistema con latitud en los bosques húmedos tropicales en su mayoría se encuentran en la vegetación y no en el suelo. Se establece de esta manera un sistema de ciclaje de los nutrientes entre el bosque y el suelo, habiendo dos capas de almacenamiento rotativo denominándose la biomasa y la capa superior del suelo. Los nutrientes del ciclo aumentan con la hojarasca agregada y con el tiempo esta curva alcanza una meseta. Los pocos estudios realizados en este sentido revelan que esta meseta se alcanza aproximadamente en 8, 12 años. Con referencia al ciclaje de nutrientes, es un aspecto vital para la estructura y dinámica interna del ecosistema y dentro de este proceso la descomposición de la materia orgánica

desempeña dos papeles primordiales: a) La mineralización de los elementos contenidos en la fitomasa, b) La ayuda a la formación de la materia orgánica del suelo (Sánchez,1981). La liberación de nutrientes durante la descomposición de la hojarasca, es conocida como uno de los procesos más importantes cuantitativamente que contribuyen con el ciclo de los nutrientes en los ecosistemas forestales (Laskowski and Berg, 1993).

Según González (1989), los ecosistemas forestales constituyen el origen de un elevado porcentaje del total de biomasa que se produce en el mundo, el conocimiento que hasta ahora se posee de sus existencias se reduce casi exclusivamente al proporcionado por los métodos tradicionales de los inventarios. En ellos se considera únicamente el volumen de madera de determinadas especies, definiendo éste como el volumen de fuste hasta un diámetro mínimo aprovechable en punta que oscila entre los 7 y 10 cm con corteza. De esta forma, la cantidad real de biomasa disponible queda sustancialmente subestimada al no considerarse la punta, ramas, hojas, tocón, raíces, biomasa muerta y el matorral que constituye el sotobosque, materias primas susceptibles de ser utilizadas en un mercado donde no importe la forma y tamaño del producto. Esto es relevante, ya que la planta desde el vivero, puede ser modificada y seleccionada para dar un rendimiento máximo en campo.

Greenland y Kowal (1969) indican que la biomasa total de los bosques tropicales oscila entre 200 y 400 tn/ha de materia seca. Además, mencionan que la proporción de los componentes principales de los bosques es bastante constante. Aproximadamente el 75% de la biomasa consiste en ramas y troncos, 15 a 20% de raíces, 4 a 6% de hojas y el 1 al 2% de hojarascas.

Como tratamiento para el uso de los suelos orgánicos de Colombia, se regular la alta saturación con Ca, media a baja saturación con Mg, saturación de

K baja a muy baja, y contenido muy pobre de P disponible para las plantas (López y Cortez, 1978).

Según Beltrano *et al.* (2015), la hidroponía es un conjunto de técnicas que permite el cultivo de plantas en un medio libre de suelo. La hidroponía permite en estructuras simples o complejas producir plantas principalmente de tipo herbáceo aprovechando sitios o áreas como azoteas, suelos infértiles, terrenos escabrosos, invernaderos climatizados o no, etc. A partir de este concepto se desarrollaron técnicas que se apoyan en sustratos (medios que sostienen a la planta), o en sistemas con aportes de soluciones de nutrientes estáticos o circulantes, sin perder de vistas las necesidades de la planta como la temperatura, humedad, agua y nutrientes.

La palabra hidroponía deriva del griego HIDRO (agua) y PONOS (labor o trabajo) lo cual significa literalmente trabajo en agua. Sin embargo, en la actualidad se utiliza para referirse al cultivo sin suelo (Beltrano *et al.*, 2015).

La hidroponía es una herramienta que permite el cultivo de plantas sin suelo, es decir sin tierra. Un cultivo hidropónico es un sistema aislado del suelo, utilizado para cultivar plantas cuyo crecimiento es posible gracias al suministro adecuado de los requerimientos hídricos nutricionales, a través del agua y solución nutritiva. Con la técnica de cultivo sin suelo es posible obtener hortalizas de excelente calidad y sanidad, permitiendo un uso más eficiente del agua y los nutrientes. Basados en la experiencia, los rendimientos por unidad de área cultivada son altos debido a una mayor densidad, mayor productividad por planta y eficiencia en el uso de los recursos agua, luz y nutrientes (Beltrano *et al.*, 2015).

No es una metodología moderna para el cultivo de plantas, sino una técnica ancestral; en la antigüedad hubo culturas y civilizaciones que utilizaron esta metodología como medio de subsistencia. Generalmente asociamos esta forma de cultivo con grandes invernaderos para el cultivo de plantas y el empleo de la más compleja tecnología; sin embargo, los orígenes de la hidroponía fueron muy simples en su implementación. El desarrollo actual de la técnica de los cultivos hidropónicos está basada en la utilización de mínimo espacio, mínimo consumo de agua y máxima producción y calidad (Beltrano *et al.*, 2015).

El cultivo en hidropónico es una modalidad en el manejo de plantas, que permite su cultivo sin suelo. En el sistema hidropónico los elementos minerales esenciales son aportados por la solución nutritiva. Los rendimientos de los cultivos hidropónicos pueden duplicar o más los de los cultivos en suelo en relación metro cuadrado. La disponibilidad de agua y nutrientes, los niveles de radiación y temperatura del ambiente, la densidad de siembra o disposición de las plantas en el sistema hidropónico, la acción de patógenos o plagas, etc., incidirán fuertemente en el rendimiento del cultivo (Beltrano *et al.*, 2015).

El pino ocote es una especie que se adapta muy bien al manejo de la regeneración natural. También se utiliza en plantaciones puras, a lo largo de linderos, cortinas rompevientos, para el control de erosión, y por su capacidad de crecer en sitios de baja fertilidad y degradados, es apta para recuperación de suelos. Se ha utilizado también como ornamental y árbol de sombra (INAB, 1999).

La especie forma rodales puros en muchos sitios a lo largo de su rango natural, a menudo asociada con robles y otras especies de pino. Se ha encontrado a altitudes desde 200 hasta 2500 msnm pero alcanza su mejor desarrollo de 600 a 1800 msnm. En su ambiente natural las temperaturas son de 13 a 23°C y las precipitaciones de 650- 2,000 mm, con una época seca de 5-6 meses.

Ocasionalmente se le encuentra en áreas donde la precipitación alcanza los 3,000 mm. Es una especie pionera que se adapta a diferentes tipos de suelo, erosionados e infértiles, delgados, arenosos, pedregosos y accidentados, de ácidos a neutros (4.5-6.8), pero con buen drenaje. Alcanza su mejor desarrollo en suelos profundos y donde la precipitación anual supera los 1,200 mm. La especie parece estar asociada a la ocurrencia de fuegos, que aparentemente ayudan a su establecimiento exitoso. Sin embargo, si la frecuencia es demasiado alta (tal y como sucede hoy en día), la regeneración y futura productividad de los pinares se ve amenazada (INAB, 1999).

A. Análisis de varianza

1. ANOVA

Del inglés Analysis Of Variance, es una prueba estadística creada por Fisher, gran genio inglés que pensó hace más de 60 años, cómo analizar datos simultáneamente cuando tenemos varios grupos y así poder ahorrar tiempo y dinero. Esta técnica es un procedimiento en el cual la variación total de la variable dependiente se subdivide en componentes, la atribuible a los tratamientos y al error. Este análisis, por lo tanto permite, comprobar si existen diferencias entre promedios de tres o más tratamientos y para ello se calcula el valor de F, y es equivalente al test de Student, salvo que éste último solamente sirve para dos grupos. Desde ya tenemos que dejar establecido que cuando encontramos el valor de F sabremos si existen diferencias entre los grupos, pero no nos dice entre cuales grupos; para esto, las poblaciones deben ser normales, con desviaciones estándar aproximadamente iguales y las muestras se deben seleccionar independientemente (Gutiérrez, 2004).

2. Distribución F

Los métodos de ANOVA requieren el uso de la distribución F. Esta tiene las siguientes propiedades importantes:

La distribución F es continua, significa que puede tomar una cantidad infinita de valores entre 0 y más infinito. La distribución F no puede ser negativa. Dado que el menor valor de F es cero.

La distribución F es positivamente sesgada, dado que la cola larga de la distribución se encuentra a la derecha, conforme el número de grados de libertad aumenta, tanto el numerador como el denominador, la distribución se aproxima a una distribución normal. La distribución F es asintótica, conforme los valores de X aumentan, la curva de la distribución F se aproxima al eje X, pero nunca lo toca.

3. Grados de libertad

El uso de la distribución F es la técnica del análisis de varianza (ANOVA), con lo que se comparan tres o más medias poblacionales para determinar si son iguales. Para tomar esta decisión se debe establecer una región crítica, según el nivel de significancia (α), y a los grados de libertad del numerador, que están dados por el número de tratamientos (k) – una unidad. Los grados de libertad del denominador son igual al número de observaciones n, menos el número de tratamientos, esto es: $n - k$. [10] (Gutiérrez, 2004).

4. Pasos para realizar un ANOVA

Paso 1: Plantear la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots = \mu_k$ hipótesis nula

$H_1: \mu_i \neq \mu_j$ para alguna $i \neq j$ hipótesis alternativa.

Si no se rechaza la hipótesis nula (H_0), se concluye que no hay diferencia en los promedios. Si se rechaza H_0 , se concluye que hay diferencia al menos en un par de promedios.

Paso 2: Seleccionar el nivel de significancia, puede elegirse 0.01, 0.05, etc.

Paso 3: Determinar el estadístico de prueba, el estadístico de prueba sigue la distribución F.

Paso 4: Establecer la regla de decisión. Para establecer esta regla se necesita el valor crítico, el cual se determina con el nivel de significancia, los grados de libertad y el uso de tablas de la distribución F.

El valor de la F calculada está dado por:

$$F_{\alpha, k-1, n-k} = \frac{\frac{SST}{k-1}}{\frac{SSE}{n-k}} = \frac{MST}{MSE}$$

$$\text{Suma de Cuadrados Total : } SS_{total} = \sum X^2 - \frac{(\sum X)^2}{n}$$

$$\text{Suma de Cuadrados Debido al Tratamiento : } SST = \sum \left(\frac{T_c^2}{n_c} \right) - \frac{(\sum X)^2}{n}$$

$$\text{Suma del Cuadrados del Error : } SSE = SS_{total} - SST$$

Paso 5: Seleccionar la muestra, realizar los cálculos y tomar una decisión.

Se recomienda reunir los cálculos del estadístico F en una tabla ANOVA como la que se muestra a continuación:

Tabla 1. Formato de la tabla ANOVA

TABLA ANOVA				
FUENTE DE VARIACIÓN	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrados Medios	F
Tratamientos	SST	$k-1$	$\frac{SST}{k-1} = MST$	$\frac{MST}{MSE}$
Error	SSE	$n-k$	$\frac{SSE}{n-k} = MSE$	
Total	$SS\ TOTAL$	$n-1$		

Fuente: Mora Garcés - julio, 1998 - junio, 1999.

Hay tres valores llamados suma de cuadrados (SS, de sum of squares) usados para hallar la F calculada y compararlo con el F teórico según el grado de libertad hallados en las tablas de valores críticos de distribución F para valores de significancia al 5% o al 1%. [11] (Gutiérrez, 2004).

5. Criterios de decisión

Para tomar una decisión en cuanto a la aceptación o el rechazo de H_0 , el valor de la F calculada se ubica en la curva de la Fig. 1 que indica la región de aceptación y rechazo.

El grafico para la regla de decisión

Si $F_{obsv} < F_{critico}$ no rechazar H_0

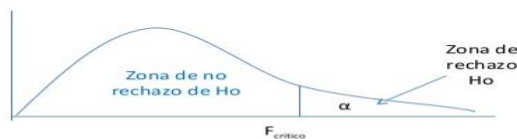


Figura. 1 Curva de aceptación y rechazo de H_0

Si F calculada $>$ F teórico se rechaza la H_0 , en caso contrario se acepta.

6. Distribución t-student

Muchos fenómenos observados en la realidad tienen distribuciones de frecuencias relativas, que se pueden representar en forma adecuada mediante una normal; en tal caso las variables aleatorias que conforman la muestra tendrán como función de densidad a la distribución normal (Gutiérrez, 2004).

La distribución muestral t , conocida también como t de Student, tiene una gran importancia en los procesos de inferencia, que involucran a la media poblacional cuando el tamaño de muestra es menor que 30.

Cuando se tiene una muestra aleatoria y_1, y_2, \dots, y_n proveniente de una población normal con media μ y varianza σ^2 , se sabe que $\frac{\bar{y} - \mu}{\sigma/\sqrt{n}}$ se distribuye exactamente, como una población normal estándar. Este resultado puede servir de base para estimar mediante un intervalo a la media μ , el único inconveniente es que, en la mayoría de los casos, el valor de σ es desconocido.

Una alternativa para subsanar esta limitante consiste en substituir a σ por la desviación estándar muestral s , en cuyo caso la variable aleatoria $\frac{\bar{y} - \mu}{s/\sqrt{n}}$ se distribuye como una t con $(n-1)$ grados de libertad. La gráfica de densidad de t es bastante similar a la normal estándar ya que es simétrica con respecto al eje Y (Gutiérrez, 2004).

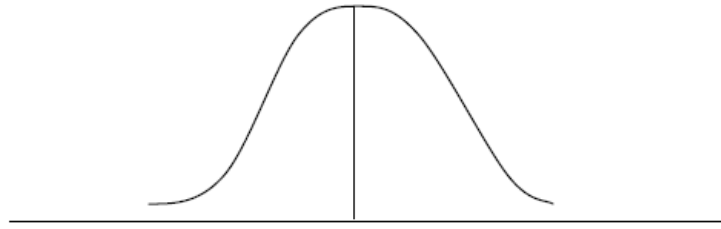


Figura 2. Gráfica de la t-Student

Fuente: Hernández Limón, 2011.

Para valores mayores de 30, la función de densidad t se aproxima tanto a la función de densidad normal, que las tablas que proporcionan valores y áreas para la distribución t sólo calculan para valores de n menores de 30. Para valores mayores de 30 se emplean las tablas de la distribución normal estándar (Gutiérrez, 2004).

Las tablas permiten obtener valores $t_{n,\alpha}$ tales que $P(Y > t_{n,\alpha}) = \alpha$, para una variable aleatoria Y que se distribuya como t con n grados de libertad. S_1 y S_2 son la media muestral y la varianza muestral para una muestra de tamaño n, obtenida de una población normal con media μ y varianza σ^2 entonces la variable aleatoria t-student se define como: x

$$t = \frac{\bar{x} - \mu}{s/\sqrt{n}}$$

Cuando se desea comparar dos poblaciones a través de sus medias, se hace referencia al resultado que se indica a continuación:

Si y_i y S^2_i son la media y la varianza muestral de una muestra de tamaño n_i , obtenida de una población normal estándar, para $i = 1, 2$ y si ambas poblaciones i

y tienen media μ_1 y μ_2 , respectivamente, y la misma varianza σ^2 , entonces la variable aleatoria t-student se determina como sigue:

$$t = \frac{(\bar{y}_1 - \bar{y}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

Donde S_p es una desviación estándar muestral ponderada, que hace uso de los datos de las dos muestras, para estimar su valor, se hace uso de la fórmula a partir de:

$$S_p^2 = \frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}$$

V.ANTECEDENTES

Según se pudo comprobar, a través de visitas y entrevistas a personas que se desempeñan en este campo, existen en Guatemala diferentes iniciativas para preservación y mejoramiento genético de especies forestales, pero pocas en tema de producción de viveros. Las técnicas de vivero utilizadas en Guatemala han avanzado en cuanto a la producción de alimentos, pero en el caso de producción de especies forestales siguen rezagadas, especialmente para especies como el pino, sobre todo utilizando técnicas hidropónicas a pesar de considerarse un país de vocación forestal. Durante la visita de campo, además, pudo observarse la existencia de programas de desarrollo silvicultural, en fincas y viveros forestales, que continúan utilizando técnicas muy básicas para la producción de plantas para siembra en campo, principalmente por razón de costos, según explicación de los encargados de vivero y productores en finca.

La forma tradicional de producción de estas especies forestales en Guatemala es a cielo abierto, lo que significa que los viveros son dejados a la intemperie desde el día uno que son sembrados en las bolsas de almácigo, en algunos casos con improvisados techos de paja para tapar la semilla sembrada en la bolsa, antes de germinar. Por su parte, la Universidad de Arizona, a través del Dr. Merle H Jensen, ha tenido experiencias exitosas utilizando la técnica de hidroponía en otras especies vegetales, así que, en la búsqueda de técnicas alternativas de producción de plantas forestales a nivel de vivero, se consideró la posibilidad de su uso para la producción de plantas de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii*, no encontrando documentación que refiera experiencias previas.

Siendo esta una primera experiencia de producción hidropónica de plantas forestales surgió el dilema del tipo y calidad de sustrato que debe utilizarse. Se hizo la consulta a la empresa Cartones de Colombia (parte de Smurfit Kappa una

de las empresas líderes en producción de papel a nivel mundial. Tiene una operación de siembra y procesamiento de madera y papel en Colombia) nos asesoraron y permitieron usar sus fórmulas de sales para alimentar estas especies de pino en sustrato hidropónico. Cartones de Colombia tienen uno de sus viveros produciendo pino por medio de técnica hidropónica en el área de Restrepo, Valle del Cauca, llamado Rancho Grande.

En cuanto al cultivo en ambientes controlados, esto quiere decir en invernaderos con algún grado de tecnología, puede decirse que se ha incrementado en los últimos 15 años, a nivel mundial casi en un 20% (Cruz-Crespo, 2012), siendo el sustrato históricamente usado en Finca Lagunilla su propia tierra (de plantaciones vigentes de pino), arena y algún abono animal, bastante denso, por lo que, también se ha considerado el uso de un sustrato más liviano (1/3 arena blanca de río y 2/3 de cascarilla de arroz) que resulta efectivo para la producción de otras especies. El uso de los diferentes sustratos ha sido en base a experiencia del lugar. El uso de arena blanca y/o cascarilla de arroz (ambos sustratos muy livianos, de fácil reciclaje y desinfección) se agregaron a base de prueba y error. No tenemos ninguna fuente bibliográfica que nos respalde en el porqué del uso, mas que la experiencia en campo.

VI.MÉTODOS

Este trabajo se realizó en Finca Lagunilla, localizada en el departamento de Jalapa, Guatemala. Esta finca cuenta con un vivero tradicional que produce anualmente entre 75,000 a 85,000 plantas de pino, principalmente de dos especies, *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii*, esta es una finca de manejo forestal con una proyección de siembra anual de más de 75,000 plantas.

Se realizó la producción de plantas de *Pinus oocarpa* y *Pinus tecunumanii* en vivero, utilizando dos técnicas básicas: la tradicional y la hidropónica. Se utilizaron dos ambientes, viveros a cielo abierto e invernaderos tipo macro túnel, a fin de comparar su efectividad. Para determinar cuál es la más eficiente en la producción y buena práctica de su producción en viveros, se utilizó un diseño experimental de tres sistemas de producción que fue evaluado a través de ANOVA (análisis de varianza). Esto se hizo porque son tres técnicas independientes (grupos): Vivero tradicional a cielo abierto, vivero tradicional en invernadero y vivero hidropónico en invernadero, realizando las evaluaciones con la medición de cuatro parámetros (variables independientes): Altura, longitud de raíz, abundancia de raíz secundaria y calidad general de la planta. Así mismo se realizó una comparación simple del precio de producción.

Uno de los parámetros que determinan la calidad de las plantas producidas se relacionan con su raíz ya que ésta garantiza la sobrevivencia de la planta al ser sembrada, por lo que se realizó un muestreo aleatorio para analizar las raíces de las plantas producidas con las diferentes técnicas, para evaluar el largo de su raíz principal, abundancia de raíces secundarias y su estado de salud. Del universo de las 11,225 plantas producidas con cada técnica, se determinó el número a muestrear para tener un grado de confianza de 0.05 y un margen de error menor

al 5%, para un total de 372 plantas por técnica o grupo, empleando calculadora de muestras (www.raosoft.com).

A. Procedimiento de siembra en tierra y cielo abierto

1. Llenado manual de bolsas 4*8*2 de polietileno negro con una mezcla 50% tierra negra y 50% sustrato enriquecido.
2. Siembra con el procedimiento usado regularmente en campo.
3. Humedecimiento de semillas por 24 horas y colocación manual de 2-3 semillas por bolsa.
4. Ubicación de las bolsas en cajas tomateras y acomodo en camastrones para vivero.
5. Riego y cubierta de las bolsas hasta la germinación.

B. Procedimiento de siembra en tierra dentro de invernadero.

1. Se procede exactamente igual que la siembra en tierra y cielo abierto (explicada anteriormente), pero se colocan dentro del invernadero o macrotúnel asignado y no se cubren.

C. Procedimiento de siembra en sustrato inerte en invernadero.

1. Llenado manual de las bolsas con sustrato ya preparado y desinfectado al sol (50% cascarilla de arroz y 50% arena blanca de río).
2. Humedecimiento de semillas por 24 horas y colocación manual de 2-3 semillas por bolsa.
3. Ubicación en cajas tomateras y acomodo en invernadero o macro túnel indicado.
4. Riego con líquido hidropónico preparado a partir de sales estándares. Solución A y Solución B. (Ver contenidos en Anexo 2).

D. Selección de plantas y evaluación de raíces.

1. Después de hacer cálculo de número de muestras a tomar (descrito anteriormente) se hizo una selección aleatoria de las 372 plantas por cada uno de los tratamientos a evaluar.
2. Cada planta seleccionada se midió – se usó una regla de madera para hacer las mediciones. Se hizo una tabla de calidad de planta (añadida en el Anexo) para evaluar la planta. Dando un valor del 1 al 4 a cada planta para poder clasificar y analizar cada muestra. Esta clasificación es cualitativa y no sigue ningún parámetro establecido, más que la experiencia en campo del personal de finca que clasifica las plantas antes de salir a campo.

VII.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Altura promedio

La altura de las plantas evaluadas (Cuadro 1. Anexo 1) resultado del estudio se encontraban en su mayoría dentro del rango de 15- 25 cm, medida considerada de alta calidad en la producción de viveros forestales. La altura promedio total dentro de los tres sistemas evaluados se situó en 22.64 cm, siendo una media de 23.06 cm bajo el sistema de siembra en sustrato hidropónico en invernadero, una media de 23.06 cm bajo el sistema de siembra en tierra dentro de invernadero y de 21.81 para el procedimiento de siembra en tierra y cielo abierto.

Tabla 2. Altura promedio por procedimiento

Procedimientos	Altura media (cm)
1 Macro túnel sustrato hidropónico	23.06
2 Macro túnel sustrato tierra	23.06
3 Cielo abierto sustrato tierra	21.81
Promedio total	22.64

La variación de la temperatura en invernadero tuvo un efecto positivo en el crecimiento de la planta, tal y como se puede observar en el desarrollo vegetativo comparado con el efecto producto del crecimiento a cielo abierto. No obstante, la temperatura interactuó de manera compleja con la absorción de nutrientes, ya que para cada procedimiento se obtuvo un efecto diferente en la salud, abundancia y longitud de la raíz.

B. Longitud media de raíz principal

El crecimiento primario o longitudinal de la raíz se dio de forma normal, desarrollándose la división celular del meristemo apical en dirección al geotropismo natural observándose principalmente en el ápice en ángulo vertical.

La formación de la caliptra es normal y no posee deformidad, teniendo las condiciones para un satisfactorio traslado a campo. Esto sucedió en todos los tratamientos, siendo más evidente en los sustratos de tierra comparados con los sustratos hidropónicos. Esto era esperado, sin embargo en el sustrato hidropónico, si se vio crecimiento lo suficiente como para que pueda establecerse en campo. Este era un punto importante, ya que típicamente el sustrato hidropónico limita el crecimiento de la raíz principal.



Figura 3. Comparación de raíces *Pinus tecunumani*

- 1) Sustrato tierra - Cielo abierto – Fertilización comercial
- 2) Sustrato tierra – Invernadero – Fertilización especial
- 3) Sustrato cascarilla de arroz – Invernadero – Fertilización especial



Figura 4. Sustrato tierra-Cielo abierto–Fertilización comercial

En el sistema de producción bajo cielo abierto se pudo observar un desarrollo normal y saludable de la raíz principal. Viéndose mayor cantidad de tejido radicular pivotante en comparación con las raíces adventicias.



Figura 5. Raíces principales sustrato tierra–Invernadero–Fertilización especial

En el sistema de producción bajo invernadero y fertilización especial, se pudo observar un desarrollo normal y saludable de la raíz principal. Viéndose mayor cantidad de tejido radicular adventicio en comparación de la raíz pivotante.



Figura 6. Sustrato cascarilla de arroz–Invernadero–Fertilización especial

En el sistema de producción bajo invernadero y sustrato inerte se pudo observar un desarrollo radicular superior en raíces secundarias y terciarias. También un saludable desarrollo de la raíz principal con una longitud dentro del rango deseable.

Tabla 3. Longitud media de raíz principal

	Procedimientos	Longitud media de raíz principal (cm)
1	Macro túnel sustrato hidropónico	12.13
2	Macro túnel sustrato tierra	22.65
3	Cielo abierto sustrato tierra	21.02
	Promedio total	18.60

Estas medidas son las medidas promediadas del total de todas las plantas de la muestra.

C. Abundancia promedio de raíz secundaria

Las raíces desarrollan tejido radicular secundario y terciario para la absorción de nutrientes. De este tejido surgen proyecciones tubulares llamadas pelos radiculares que sujetan directamente las partículas del suelo.

Tras el análisis de la calidad y aspecto radicular se pudo observar en los 3 sistemas de producción un crecimiento radicular normal y bien desarrollado. Analizando ciertas características específicas derivadas del entorno y del sustrato empleado en cada caso.



Figura 7. Raíz de sustrato tierra - Cielo abierto–Fertilización comercial



Figura 8. Raíz de sustrato cascarilla de arroz–Invernadero–Fertilización especial

Gran cantidad de raíces secundarias y terciarias, raíz principal presenta un desarrollo más limitado. Esto es el resultado directo de los diferentes sustratos y tratamientos. Al comparar la fotografía 7 y 8, son dos sustratos y dos tratamientos completamente diferentes, dando como resultado de raíz, completamente diferente. Con una simple observación a la vista, puede notarse qué diferencia hay al hacer cambios en la forma de producir viveros, y nos permite elegir qué sustrato y técnica para obtener qué tipo de sistema radicular, dependiendo del lugar a donde se irá a plantar.

D. Comparación de raíces

Parte fundamental del trabajo es poder comparar el resultado en términos de raíz. En general las plantas, todas, fueron viables para sacar de vivero y llevar a campo. Sin embargo, la diferencia de raíz esperada es muy importante. Esta diferencia de raíz se refleja en el prendimiento de la planta en campo y su subsiguiente desarrollo. Abajo mostramos algunas fotografías donde podemos ver la diferencia de desarrollo radicular.



Figura 9. Raíz de sustrato cascarilla de arroz y raíz de sustrato de tierra

En el sustrato de arroz-invernadero (izquierda), hay muchas raíces secundarias y terciarias, pero la raíz principal es menos desarrollada en comparación con la planta en tierra-cielo abierto (derecha), donde las raíces secundarias y terciarias son menos numerosas.

Como resultado de la evaluación de la abundancia de la raíz secundaria se logró determinar que el promedio de crecimiento se encontró en el rango de 2.93 según el clasificador, siendo éste un indicador de crecimiento medio en todos los sistemas de producción.

La media de crecimiento para el sistema de producción con sustrato en invernadero fue de 4, una media de 3 para el procedimiento de siembra en tierra dentro de invernadero y de 2 para el procedimiento de siembra en tierra y cielo abierto.

Tabal 4. Abundancia promedio de raíz secundaria

Procedimientos	Rango de 1 a 4
	Abundancia promedio de raíz secundaria
1 Macro túnel sustrato hidropónico	4
2 Macro túnel sustrato tierra	3
3 Cielo abierto sustrato tierra	2
Promedio total	2.93

E. Salud general de la raíz

La altura de la planta es un buen predictor de sus dimensiones futuras en campo; aunque no lo es para la supervivencia. Se considera un indicador insuficiente, y es conveniente relacionarlo con otros criterios para que refleje su utilidad real; sin embargo, es importante cuando las condiciones del sitio de plantación son adversas, respecto a la vegetación herbácea y arbustiva, ya que

es conveniente considerar que tenga una altura suficiente que le permita competir adecuadamente (Mexal y Landis, 1990).

Los datos relacionados a la calidad de las plantas fueron el resultado de la evaluación de cuatro componentes, la calidad genética, la morfológica, la fisiológica y la sanitaria.

El diámetro es la característica de calidad más importante, que permite predecir la supervivencia de la planta en campo y definir la robustez del tallo, por lo que se asocia con el vigor y la supervivencia de la plantación. Se cita en la literatura que plantas con diámetro mayor a 5 mm, son más resistentes al doblamiento y toleran mejor los daños por plagas y fauna nociva, pero esto varía de acuerdo con las especies (Mexal y Landis, 1990).

Dentro de la evaluación se usó una escala de 1 a 4 siendo 1 “Menos saludable” y 4 “Extremadamente saludable”. Los factores bióticos y abióticos que interactúan en cada uno de los procesos generaron un impacto en la morfología y fisiología de la planta. Cambios principalmente evidenciados en las acículas, raíz principal y raíz secundaria evidenciaron lo siguiente:

Tabla 5. Salud promedio de raíz

	Procedimientos	Rango de 1 al 4 Salud promedio de raíz
1	Macro túnel sustrato hidropónico	4
2	Macro túnel sustrato tierra	4
3	Cielo abierto sustrato tierra	3
	Promedio total	3.41

Resumiendo lo antes expuesto podemos notar que para determinar el éxito de producción de plantas de vivero nos debemos enfocar en la calidad de la raíz, tipo y abundancia, altura alcanzada por la planta y diámetro. No podemos olvidar que la clasificación de calidad visual es fundamental en la selección para salir a campo. Pero en general, los datos recolectados nos dan una buena idea del tipo de planta producido.

F. Evaluación económica de costos

Un tema importante para incluir en este trabajo es el costo real para producir plantas en algún sistema alternativo. Debemos tener claro que aunque la calidad de planta es clave, ninguna producción real a escala se dará si no es comparablemente rentable que el sistema tradicional. Con esto en mente veamos los costos detallados de los sistemas de producción en vivero incluidos en este trabajo.

A continuación se detallan los costos del establecimiento de viveros en Finca Lagunilla para el año 2015. Este cuadro es importante, ya que sirve de parámetro para comparar y determinar si es factible hacer un cambio en el tipo de sustrato y forma de producir las plantas de vivero.

Tabla 6. Detalle de costos para establecimiento de viveros en Finca Lagunilla año 2015.

Vivero Finca Lagunilla Costos 2015	<i>unidades</i>	<i>precio unit.</i>	<i>total</i>
Insumos			Q 30,116.40
Madera tratada			Q 1,041.67
Cajas tomateras			Q 14,000.00
Construcción de bancales	70	Q 60.00	Q 4,200.00
Construcción de macrotuneles	60	Q 60.00	Q 3,600.00
Cernido de sustrato (2 jornales diarios)	40	Q 60.00	Q 2,400.00
Llenado de bolsa (500 bolsas / tarea)	200	Q 60.00	Q 12,000.00
Siembra de semilla (900 bolsas / tarea 2 semillas / postura)	111	Q 60.00	Q 6,666.67
Trasplante	50	Q 60.00	Q 3,000.00
Escardado y desmalezado (1000 bolsas / tarea)	100	Q 60.00	Q 6,000.00
Limpieza y ordenamiento en área de vivero	20	Q 60.00	Q 1,200.00
Poda y/o chapeo en área de vivero	20	Q 60.00	Q 1,200.00
Viverista (3 horas diarias / 5 meses)	45	Q 135.00	Q 6,075.00
Auxiliar de vivero 5 meses	120	Q 70.00	Q 8,400.00
SUB-TOTAL			99899.73
IMPREVISTOS 5%			Q 4,994.99
			TOTAL
			Q 104,894.72
			TOTAL PLANTAS A PRODUCIR
			100,000
			COSTO ESTIMADO POR PLANTA
			Q 1.05

VIII. ANÁLISIS DE RESULTADOS

A. Análisis de varianza

Se presenta el resumen del análisis de varianza (ANOVA) de los resultados obtenidos en el proceso experimental. El análisis estadístico evaluó los datos con un nivel de significancia, del 5%. Así mismo, se muestra el valor de la distribución calculada, "F" y la distribución teórica "Ft". De tal forma que de haber una diferencia igual a $F > Ft$, habrá una variación en los niveles de los parámetros experimentales.

De manera alterna se emplea el enfoque de probabilidad "P" que indica si los datos son significativos. Por lo que al analizar estos valores para los distintos procesos realizados, se observa que la variación de la altura del tallo es un valor importante a anotar y dar seguimiento.

De manera alterna se puede emplear el enfoque de probabilidad "P" que indica si los datos son significativos. Por consiguiente, al analizar estos valores para los diferentes parámetros del proceso se observa que la variación de los datos provee una significancia $P = < 0.001$ Cabe resaltar que la comparativa de sistemas difiere de la igualdad de resultados en algunas variables, este hecho se visualizó al realizar el análisis de la variabilidad de altura promedio en el que no hubo significancia por la homogeneidad de los datos por efecto de los parámetros del proceso estudiados, y se confirma por medio del análisis de varianza.

Los tres sistemas de producción se comparan en variables independientes, altura, longitud de la raíz, abundancia de raíz secundaria, salud general de la raíz.

Tabla 7. Análisis de varianza altura

Varianza de la altura	Procedimientos			
	1	2	3	Total
N	372	372	372	1116
Σx	8577	8577	8112	25266
Media	23.0565	23.0565	21.8065	22.6398
Σx^2	201359	201359	180388	583106
Varianza	9.7138	9.7138	9.418	9.9455
Desviación estándar	3.1167	3.1167	3.0689	3.1536
Error Estándar	0.1616	0.1616	0.1591	0.0944

Análisis mediante ponderado de promedios estándar

Fuente: uso de datos de campo en sistema *VassarStats*.

La Tabla 7 presenta un análisis de varianza de la altura, comparando tres procedimientos distintos. Se observa que el número de observaciones (N) es de 372 para cada procedimiento, sumando un total de 1,116. La suma de las alturas (Σx) varía ligeramente entre los procedimientos, siendo 8,577 para los procedimientos 1 y 2, y 8,112 para el procedimiento 3. La media de la altura es muy similar entre los procedimientos 1 y 2 (23.0565), mientras que es ligeramente menor para el procedimiento 3 (21.8065). La varianza y la desviación estándar también muestran pequeñas diferencias entre los procedimientos, indicando una dispersión similar de los datos alrededor de la media. El error estándar, que mide la precisión de la media muestral, es también muy parecido entre los tres procedimientos. En general, el análisis sugiere que, aunque hay pequeñas variaciones en la altura entre los procedimientos, las diferencias no son sustanciales.

Tabla 8. Resumen ANOVA de variable altura

Fuente	SS	Grados de libertad	MS	F	P
Tratamiento (entre grupos)	387.5	2	193.75	20.1504	<.0001
Error	10701.6935	1113	9.6152		
Ss/BI	Solo aplicable a ANOVA para muestras relacionadas o correlación.				
Total	11089.1935	1115			

La Tabla 8 presenta un resumen del Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable altura, evaluando las diferencias entre tres tratamientos o grupos. La suma de cuadrados (SS) total, que representa la variabilidad total en los datos, es de 11,089.1935, con 1,115 grados de libertad. Esta variabilidad se descompone en dos fuentes principales: la variabilidad entre los tratamientos (SS Tratamiento = 387.5) y la variabilidad dentro de los tratamientos o error (SS Error = 10701.6935). La variabilidad entre tratamientos tiene 2 grados de libertad, mientras que la variabilidad dentro de los tratamientos tiene 1,113 grados de libertad. La media de los cuadrados (MS), que se calcula dividiendo la SS por los grados de libertad, es de 193.75 para el tratamiento y 9.6152 para el error. El estadístico F, que se obtiene dividiendo el MS del tratamiento por el MS del error, es de 20.1504. Este valor de F es significativo, lo que indica que existen diferencias estadísticamente significativas en la altura entre los tres tratamientos. El valor "Ss/BI" no es aplicable en este contexto, ya que se refiere a un tipo de ANOVA específico para muestras relacionadas o correlacionadas, lo cual no aplica en este caso. En resumen, el ANOVA muestra que los tres tratamientos tienen un efecto diferente sobre la altura.

Tabla 9. Prueba HSD Tukey sobre varianza altura

HSD [0.5] = 0.53; HSD [.01] = 0.66					
M1 vs M2	no- significativo	M1	Promedio de procedimiento 1		
M1 vs M3	P <.01	M2	Promedio de procedimiento 2		
M2 vs M3	P <.01	M3	Promedio de procedimiento 3		

HSD = diferencia absoluta entre los promedios de cualquiera de las muestras requerida para obtener una diferencia significativa en algún nivel. HSD [.05] para un nivel de .05. HSD [.01] para un nivel de .01.

La Tabla 9 presenta los resultados de la prueba HSD de Tukey, utilizada para realizar comparaciones múltiples entre los promedios de los tres procedimientos (M1, M2 y M3) en la variable altura. Los valores HSD (Diferencia Honesta Significativa) establecidos son 0.53 para un nivel de significancia de 0.05 y 0.66 para un nivel de 0.01.

Al comparar los promedios de los procedimientos, se encuentra que la diferencia entre M1 y M2 no es significativa. Sin embargo, las comparaciones entre M1 y M3, y entre M2 y M3, muestran diferencias estadísticamente significativas con un nivel de significancia de 0.01 ($P < 0.01$). Esto indica que el procedimiento 3 (M3) tiene un efecto significativamente diferente en la altura en comparación con los procedimientos 1 y 2, mientras que no hay una diferencia significativa entre los procedimientos 1 y 2.

En resumen, las diferencias en la altura no son significativas entre los procedimientos 1 y 2, pero sí son significativas entre el procedimiento 3 y los procedimientos 1 y 2.

Tabla 10. Análisis de varianza longitud de raíz principal

	Procedimientos			Total
	1	2	3	
N	372	372	372	1116
Σx	4512	8427	7820	20759
Media	12.129	22.6532	21.0215	18.6012
Σx^2	55264	196817	169904	421985
Varianza	1.4496	15.9522	148675	32.1449
Desviación estándar	1.204	3.994	3.8558	5.6696
Error Estándar	0.0624	2071	0.1999	0.1697
Análisis mediante ponderado de promedios estándar				

Fuente: uso de datos de campo en sistema *VassarStats*.

La Tabla 10 presenta un análisis de varianza de la longitud de la raíz principal, comparando tres procedimientos distintos. Se observa que el número de observaciones (N) es de 372 para cada procedimiento, sumando un total de 1116. La suma de las longitudes de las raíces (Σx) varía considerablemente entre los procedimientos, siendo 4512 para el procedimiento 1, 8427 para el procedimiento 2 y 7820 para el procedimiento 3. La media de la longitud de la raíz también muestra diferencias significativas, con 12.129 para el procedimiento 1, 22.6532 para el procedimiento 2 y 21.0215 para el procedimiento 3. La varianza y la desviación estándar también varían considerablemente entre los procedimientos, lo que indica una dispersión diferente de los datos alrededor de la media. El error estándar, que mide la precisión de la media muestral, también muestra diferencias entre los tres procedimientos. En general, el análisis sugiere que existen diferencias sustanciales en la longitud de la raíz principal entre los tres procedimientos.

Algunos comentarios sobre los 3 comentarios comparados<.

- **Procedimiento 1:**
 - Tiene la menor longitud promedio de raíz (12.129).
 - Presenta la menor variabilidad (1.4496) y desviación estándar (1.204), lo que indica que las longitudes de raíz son más consistentes, pero en general más cortas.
- **Procedimiento 2:**
 - Muestra la mayor longitud promedio de raíz (22.6532).
 - Tiene una variabilidad considerablemente alta (15.9522) y desviación estándar (3.994), lo que sugiere que las longitudes de raíz varían más, pero en promedio son las más largas.
- **Procedimiento 3:**
 - Tiene una longitud promedio de raíz de 21.0215, cercana al procedimiento 2.
 - También presenta alta variabilidad (148675) y desviación estándar (3.8558).

El procedimiento 2 parece ser el más prometedor en términos de longitud de raíz promedio. Sin embargo, su alta variabilidad significa que algunas raíces serán mucho más largas que otras.

El procedimiento 3 también es prometedor, ya que tiene una media muy parecida al procedimiento 2.

- El procedimiento 1, aunque consistente, produce raíces significativamente más cortas.

Por lo tanto, si el objetivo es maximizar la longitud de la raíz principal, los procedimientos 2 y 3 serían los más recomendables. Se debe considerar que la

variabilidad en los procedimientos 2 y 3 podría requerir un manejo más cuidadoso para asegurar un crecimiento uniforme.

Tabla 11. Resumen ANOVA de varianza longitud de raíz principal

Fuente	SS	Grados de Libertad	MS	F	P
Tratamiento (entre grupos)	23869.6577	2	11934.82	11095561	<.0001
Error	11971.9005	1113	10.7564		
Ss/BI	Solo aplicable a ANOVA para muestras relacionadas o correlación.				
Total	35841.5582	1115			

Tabla 12. Prueba HSD Tukey sobre varianza longitud de raíz principal

HSD [0.5] = 0.56; HSD [.01] = 0.7

M1 vs M2	P <.01	M1	Promedio de procedimiento 1
M1 vs M3	P <.01	M2	Promedio de procedimiento 2
M2 vs M3	P <.01	M3	Promedio de procedimiento 3

HSD = diferencia absoluta entre los promedios de cualquiera de las muestras requerida para obtener una diferencia significativa en algún nivel. HSD [.05] para un nivel de .05. HSD [.01] para un nivel de .01.

Tabla 13. Análisis de varianza abundancia de raíz secundaria
Varianza abundancia de raíz secundaria

	Procedimientos			Total
	1	2	3	
N	372	372	372	1116
Σx	1373	1162	733	3268
Media	3.6909	3.1237	1.9704	2.9283
Σx²	5169	3860	1501	10530
Varianza	0.2734	0.6208	0.1528	0.8612
Desviación estándar	0.5229	0.7879	0.3908	0.9280
Error Estándar	0.0271	0.0409	0.0203	0.0278

Análisis mediante ponderado de promedios estándar

Fuente: uso de datos de campo en sistema *VassarStats*.

Tabla 14. Resumen ANOVA de varianza abundancia de raíz secundaria

Fuente	SS	Grados de Libertad	MS	F	P
Tratamiento (entre grupos)	571.8297	2	285.9149	819.2404	<.0001
Error	388.4355	1113	0.349		
Ss/BI	Solo aplicable a ANOVA para muestras relacionadas o correlación.				
Total	960.2652	1115			

Tabla 15. Prueba HSD Tukey sobre varianza abundancia de raíz secundaria

HSD [0.5] = 0.1; HSD [.01] = 0.13

M1 vs M2	P <.01	M1	Promedio de procedimiento 1
M1 vs M3	P <.01	M2	Promedio de procedimiento 2
M2 vs M3	P <.01	M3	Promedio de procedimiento 3

HSD = diferencia absoluta entre los promedios de cualquiera de las muestras requerida para obtener una diferencia significativa en algún nivel. HSD [.05] para un nivel de .05. HSD [.01] para un nivel de .01.

Tabla 16. Análisis de varianza abundancia de salud general de la raíz

Varianza salud genera de la raíz				
	Procedimientos			Total
	1	2	3	
N	372	372	372	1116
Σx	1395	1344	1042	3781
Media	3.75	3.6129	2.8011	3.3880
Σx²	5313	4968	3020	13301
Varianza	0.2204	0.3026	0.273	0.4404
Desviación estándar	0.4694	0.5501	0.5225	0.6636
Error Estándar	0.0243	0.0285	0.0271	0.0199
Análisis mediante ponderado de promedios estándar				

Fuente: uso de datos de campo en sistema *VassarStats*.

Tabla 17. Resumen ANOVA de varianza salud general de la raíz

Fuente	SS	Grados de Libertad	MS	F	P
Tratamiento (entre grupos)	195.7115	2	97.8558	368.8496	<.0001
Error	295.2876	1113	0.2653		
Ss/BI	Solo aplicable a ANOVA para muestras relacionadas o correlación.				
Total	490.9991	1115			

Tabla 18. Prueba HSD Tukey sobre varianza salud general de la raíz

HSD [0.5] = 0.53; HSD [.01] = 0.66

M1 vs M2	P <.01	M1	Promedio de procedimiento 1
M1 vs M3	P <.01	M2	Promedio de procedimiento 2
M2 vs M3	P <.01	M3	Promedio de procedimiento 3

HSD = diferencia absoluta entre los promedios de cualquiera de las muestras requerida para obtener una diferencia significativa en algún nivel. HSD [.05] para un nivel de .05. HSD [.01] para un nivel de .01.

Tabla 19. Tabla comparativa de variables medias evaluadas

	cm	cm	Rango de 1 a 4	Rango de 1 a 4
Procedimientos	Altura media	Longitud media de raíz principal	Abundancia promedio de raíz secundaria	Salud promedio de raíz
1 Macro túnel sustrato hidropónico	23.06	12.13	3.69	3.75
2 Macro túnel sustrato tierra	23.06	22.65	3.12	3.61
3 Cielo abierto sustrato tierra	21.81	21.02	1.97	2.85
Promedio total	22.64	18.60	2.93	3.41

En la siguiente figura, podemos observar la comparación de las variables estudiadas. La idea de esto es poder visualmente determinar si para una producción real comercial, existe un beneficio producir con los sistemas probados versus el sistema tradicional.

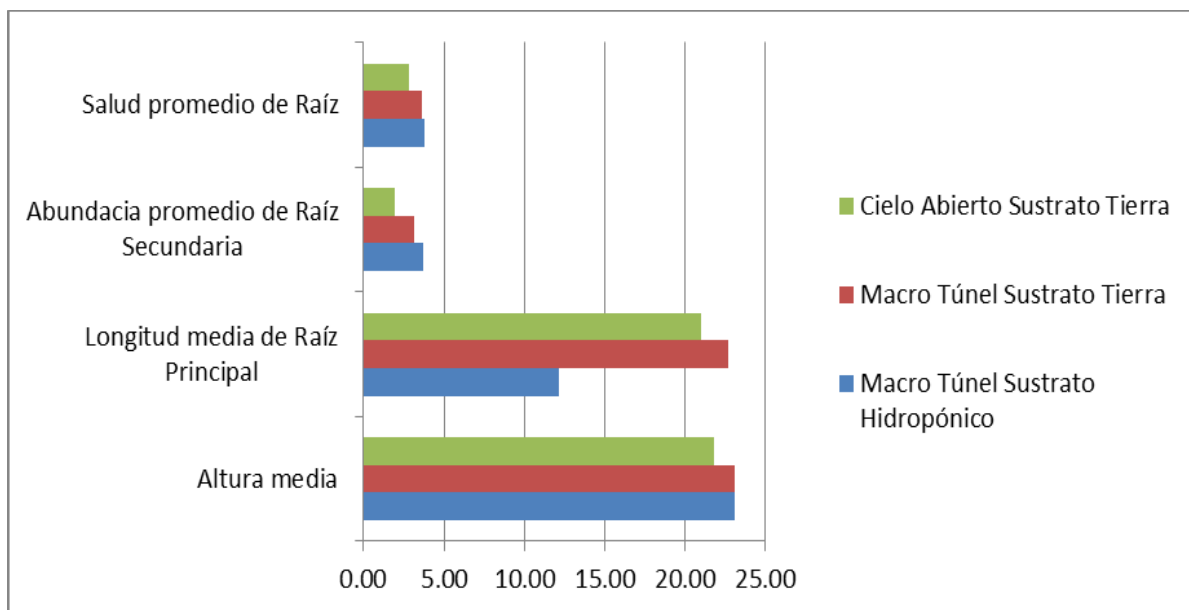


Figura 10. Diagrama comparativo por variable estudiada

Los resultados de la Figura 10 revelan diferencias significativas en el desarrollo de las plantas, particularmente en la arquitectura del sistema radicular, influenciadas por el método de cultivo. Mientras que la **altura media** de las plantas se mantuvo relativamente consistente entre los tres tratamientos, las variaciones más notables se observaron a nivel subterráneo. Los sistemas basados en tierra ("Cielo abierto" y "Macro túnel sustrato tierra") promovieron una **longitud de raíz principal** considerablemente mayor, lo que sugiere que las plantas necesitan explorar un volumen más amplio de sustrato para la captación de agua y nutrientes.

En contraste, el tratamiento "Macro Túnel Sustrato Hidropónico" mostró la menor longitud de raíz principal, pero compensa este rasgo con mayor **abundancia de raíces secundarias**. Este comportamiento es característico de los sistemas hidropónicos, donde la alta disponibilidad de nutrientes en la solución circundante reduce la necesidad de una raíz primaria exploratoria, favoreciendo en su lugar el desarrollo de una red de raíces finas y absorbentes más densas. Curiosamente, la **salud promedio de la raíz** fue superior en el tratamiento a "Cielo abierto", lo que podría indicar que factores como una mejor aireación del suelo o un microbioma más equilibrado en condiciones de campo abierto superaron los beneficios del ambiente controlado del macro túnel.

IX. CONCLUSIONES

Se sustenta la superioridad del proceso en macro túnel y sustrato hidropónico ya que posee superioridad de resultados contra los demás procesos en cuanto a salud promedio de raíz y abundancia promedio de raíz secundaria. Así misma superioridad de los valores medidos de los diferentes sustratos comparada con la altura media contra el sistema de cielo abierto e igualdad de crecimiento con el sistema de macro túnel de sustrato de tierra.

Dado que el crecimiento de raíz principal es inferior a los demás sistemas, esta variable fue sujeta a una comparativa con la media de producción de coníferas bajo invernadero y se mantiene en la media total, por lo que se encuentra dentro del parámetro y es aceptable si se compara con los valores promedios esperados para considerar útil la planta. Esto quiere decir que los resultados, aunque variaron de un tratamiento al otro, son aceptables en la producción comercial de plantas para siembra en campo.

- Fórmula: $\text{Altura del árbol} / \text{Diámetro a la Altura del Cuello (DAC)}$.
- Interpretación: Un IE de 5-10 es un buen indicador de planta robusta, mientras que valores superiores a 10 sugieren una planta muy esbelta y por debajo de 5 una planta demasiado robusta.

Con base en la altura alcanzada, *Pinus tecunumanii* y *Pinus oocarpa* se clasifican de calidad alta.

La variable diámetro del tallo de la planta registra valores altos en las dos especies evaluadas, por lo que se clasifican de calidad alta. Asimismo, repercutieron en el índice de robustez, con el cual se clasificaron como planta de calidad media. La “robustez” se mide por la relación entre la altura y el diámetro.

El "índice de robustez" en plantas de pino de vivero se evaluó mediante índices como el Índice de Esbeltez (IE), que relaciona la altura con el diámetro del tallo ($IE = \text{Altura} / \text{Diámetro a la Altura del Cuello o DAC}$), y valores entre 5 y 10 indican buena calidad. Otros indicadores de robustez incluyen la relación de biomasa de la parte aérea y el sistema radical (ideal entre 1.5 y 2.5), el índice de lignificación (indicador de pre-acondicionamiento, con 25-30% de peso seco ideal en coníferas), y el Índice de Calidad de Dickson (ICD), que evalúa la morfología de la plántula y predice su comportamiento en campo.

Índices y métodos comunes

- Índice de Esbeltez (IE):
 - Fórmula: $\text{Altura del árbol} / \text{Diámetro a la Altura del Cuello (DAC)}$.
 - Interpretación: Un IE de 5-10 es un buen indicador de planta robusta, mientras que valores superiores a 10 sugieren una planta muy esbelta y por debajo de 5 una planta demasiado robusta.

X.RECOMENDACIONES

En base a los resultados de esta investigación se recomienda utilizar un sustrato con 50% de cáscara de arroz y 50% arena de río para la producción en vivero, esto con el fin de proveer un mejor sustrato que permita el desarrollo de plántulas vigorosas y con un sistema radicular óptimo. Abajo se describe un poco qué esperamos de una planta óptima, incluyendo el sistema radicular.

Se recomienda realizar análisis foliar para determinar el contenido de nutrientes ayuda a entender de manera clara la calidad morfológica de la planta, ya que está directamente relacionada a su fisiología.

Cuando hablamos de una planta óptima de qué estamos hablando. En la producción de plantas de pino (*Pinus spp.*) en vivero, la calidad óptima se evalúa en función de varios factores fisiológicos y morfológicos que garantizan un buen establecimiento en campo. Estos incluyen:

1. Características morfológicas

- Altura: depende de la especie, pero generalmente entre 15-30 cm es adecuado para sacar a campo.
- Diámetro del cuello de la raíz (DCR): mayor a 3 mm se considera óptimo, ya que indica buen desarrollo.
- Relación altura/diámetro: idealmente entre 5 y 8, evitando plantas muy delgadas o robustas.
- Sistema radicular: raíces bien distribuidas y sin deformaciones. En tubetes, deben alcanzar el fondo sin enrollarse.
- Coloración: verde intenso sin signos de clorosis o necrosis.

2. Estado fisiológico

- Tasa de crecimiento: homogénea y vigorosa.
- Endurecimiento: antes de la plantación, las plántulas deben haber pasado por un proceso de rustificación para soportar condiciones de campo.
- Relación parte aérea/raíz: aproximadamente 2:1 o 3:1, asegurando un buen balance para la supervivencia en campo.
- Contenido de carbohidratos: alto, para favorecer el crecimiento tras la plantación.

3. Condiciones ambientales en vivero

- Sustrato: ligero, bien drenado y con buen contenido de materia orgánica.
- Riego: frecuente, pero evitando el exceso de humedad.
- Fertilización: niveles adecuados de N, P y K, con énfasis en fósforo para el desarrollo radicular.
- Iluminación: alrededor de 50-70% de sombra en las primeras etapas y exposición progresiva a la luz para endurecimiento.
- Densidad de plántulas: evitar competencia excesiva para un crecimiento uniforme.

4. Sanidad vegetal

- Ausencia de plagas y enfermedades. Se deben prevenir ataques de hongos (*Fusarium*, *Rhizoctonia*) y plagas (pulgones, trips).
- Tratamientos preventivos: Biofungicidas o fungicidas sistémicos en caso necesario.

Si las plantas cumplen con estos parámetros, tienen mayores probabilidades de éxito tras la plantación en campo.

Efectuar estudios similares e integrar mayor cantidad de variables tales como horas de luz, abundancia de acículas en la planta, frecuencia de riego, diámetro del tallo, rigidez o grado de lignificación, coloración de acículas, coloración de raíces, etc. Para evaluar no sólo el factor suelo sino el entorno y ambiente en que se desarrolla la planta.

Utilizar sistemas de sustrato hidropónico que provean alternativas para la producción de especies forestales y ahorrar costos para viveristas, evitar el uso excesivo de suelo, eliminar la contaminación de los mantos acuíferos y otros beneficios socio ambientales. Esta es la recomendación del estudio en producción forestal, ya que el sistema hidropónico es ampliamente usado en producción de vegetales pero poco explorado y usado para producción de planta forestal, tanto coníferas y latifoliadas.

XI.BIBLIOGRAFÍA

Beltrano, J. *et al.* 2015. *Cultivo en hidroponía*, 1a ed. adaptada. Buenos Aires, Argentina. Universidad Nacional de La Plata.

Castañeda, F. 1999. *Manual técnico de hidroponía popular (cultivos sin tierra)* INCAP. Guatemala., 67 pp.

Cruz-Crespo, E., *et al.* (2013). *Sustratos en la horticultura*. Revista Bio-Ciencias, 2(1), 17-26.

Durán G, L. 2005. *Evaluación de la producción y productividad en biomasa aérea de boldo (Peumus boldus mol.) en un bosque esclerófilo de la comuna de María pinto, provincia de Melipilla, región metropolitana*. Universidad de Chile, facultad de ciencias forestales. 47 p.

González, I. 1989. *Tablas ponderadas para la estimación de la biomasa de Rebollo (Quercus pireaica Willd), en la provincia de León*. Ministerio de Agricultura Pesca y Alimentación. Instituto de Investigaciones Agrarias. Madrid, España. 56 p.

Greenland, D.J & Kowal, J.M. 1969. *Nutrient content of a moist tropical forest of Ghana*. Plant and Soil.174 p. Esta también es una revista, debe tener número de revista o volumen. Se escribiría así: Plant and Soil #revista (volumen):#páginas por ej. 23-45.

GUTIÉRREZ, P. Humberto. 2004. *Análisis y diseño de experimentos*. México: Mc Graw Hill Interamericana, México2004.

INAB. 1999. *Pino de ocote. Ficha técnica de especies No.1*. Instituto Nacional de Bosques, Guatemala. No. 60 páginas

Laskowski, R. and B. Berg. 1993. *Dynamics of some mineral nutrients and heavy metals in decomposing litter*. Scandianavian Journal Research 8: 446-456.

López, A. y, A. Cortez, A. 1978. *Suelos orgánicos de Colombia*. Instituto Geográfico "Agustín Codazzi". Bogotá, Colombia. 190 pp.

Manual OFI-CATIE. http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/pinus_oocarpa.pdf (Consultado: 15 enero 2015).

Manual OFI-CATIE. http://herbaria.plants.ox.ac.uk/adc/downloads/capitulos_especies_y_anexos/pinus_tecunumanii.pdf (Consultado: 15 enero 2015)

Memoria IX Congreso Forestal Nacional Sociedad, Bosques. 2011. Cambio Climático. 2011. Guatemala. 247 pp.

Mexal, J. G. and T. D. Landis. 1990. *Target seedling concepts: height and diameter.* In: Rose, R. S., J. Campbell y T. D. Landis (eds.). Target seedling Symposium Proceedings, Combined Meeting of the Western Forest Nursery Associations. General Technical Report R. M-200. USDA Forest Service. Rosenberg, OR, USA. pp. 17-36.

Montesinos JL. 1995. *Pino (Pinus oocarpa Schiede).* Afiche, Revista Forestal Centroamericana No. 12, 120 páginas CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Newbould, P. 1967. *Methods for estimating the primary production of forests.* IBP. Handbook N° 2. Blackwell Scientific Publications. Oxford. 59 pp.

Pardé, J. 1980. *Forest b Biomass.* Forestry Products Abstract. Review Article. Agosto 1980. 3(8): 165-184 p.

Sánchez, P. A. 1981. *Suelos del Trópico; características y manejo.* Trad. por Editorial Camacho. San José. II CA. 660 pp.

Zamora, R. y I. Barrera Hoffman. 2010. *Diagnóstico y marco de referencia de la estrategia del Plan de Acción para el desarrollo foresto-industrial de Guatemala.* FAO-UICN. Guatemala. 62 pp.

http://mejoremosguate.org/cms/content/files/diagnosticos/economicos/11.ISDE_Forestal.pdf (Consulta: 24 de enero 2016)

<http://www.sifgua.org.gt/SectorForestal.aspx> (Consulta: 16 enero 2016)

<http://www.fao.org/docrep/l2015s/l2015s05.htm> (Consulta 6 enero 2016)

Centro Nacional de Investigación y Desarrollo Tecnológico Forestal (CNF). (s.f.). *Manual de producción de planta de Pinus en vivero.* Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). Recuperado de <https://sivicoff.cnf.gob.mx/>

Centro de Investigación y Extensión Forestal Andino Patagónico (CIEFAP). (s.f.). *Producción de plantas en vivero.* Recuperado de <https://ciefap.org.ar/>

Landis, T. D., Tinus, R. W., Barnett, J. P., & McDonald, S. E. (2003). *The Container Tree Nursery Manual. Volume Two: Containers and Growing Media*. USDA Forest Service. Recuperado de <https://rngr.net/>

López-López, M. A., Rodríguez-Trejo, D. A., Álvarez-Hernández, E., & Niño-Maldonado, S. (2016). *Efecto del tamaño del contenedor en la calidad de planta de Pinus pseudostrobus y su desempeño en campo*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 7(31), 74-91. Recuperado de <https://www.scielo.org.mx/>

XII.ANEXOS

Anexo 1. CONÍFERAS DE LAS TIERRAS ALTAS DE GUATEMALA

Familia género especie	Distribución altitudinal en Guatemala
Cupressaceae	
<i>Cupressus lusitanica</i> Mill	2 200-3 300 m
<i>Juniperus comitana</i> Mart	1 200-2 150 m
<i>J. standleyi</i> Steyerm	3 000-4 100 m
Pinaceae	
<i>Abies guatemalensis</i> Rehder	2 600-3 500 m
<i>Pinus ayacahuite</i> Ehren.	2 000-3 400 m
<i>P. montezumae</i> Lamb	1 100-2 600 m
<i>P. oocarpa</i> Schiede	500-2 750 m
<i>P. pseudostrobus</i> Lindl	1 600-3 200 m
<i>P. quichensis</i> Aguilar	sin datos
<i>P. rudis</i> Endl	2 300-4 000 m
<i>P. strobus</i> ver. <i>chiapensis</i> Mart	800-2 000 m
<i>P. tenuifolia</i> Benth	1 100-2 400 m
<i>P. teocote</i> var. <i>guatemalensis</i> Aguilar	1 300-2 000 m
Podocarpaceae	
<i>Podocarpus matudai</i> var. <i>macrocarpus</i> Buch. & Gray	1 200 2 600 m
<i>P. oleifolius</i> D. Don	2 000-3 200 m
Taxaceae	
<i>Taxus globosa</i> Schlecht	2 200-3 000 m
Taxodiaceae	
<i>Taxodium mucronatum</i> Tenore	800-2 000 m

Fuente: Aguilar (1961) Standley & Steyermark (1958) y Veblen (1975).

Anexo 2. Constitución de las soluciones nutritivas y fuentes

Nutriente	Ppm	Fuentes	mg/L
N	200	Urea	32,4
Ca	20	Nitrato de Calcio	842,1
P	7	Ácido Fosfórico	21,9
K	180	Fosfato de Potasio	90,9
Ca	160	Nitrato de Potasio	406,7
Mg	50	Sulfato de magnesio	500,0
Fe	6	Hierro quelatado	100,0
B	0,6	Ácido Bórico	3,5
Cu	0,12	Sulfato de cobre	0,5
Mn	0,8	Sulfato de manganeso	2,4
Zn	0,1	Sulfato de zinc	0,5
Mo	0,02	Molibdato de sodio	0,1

Fuente: SMURFITKAPPA COLOMBIA.

Anexo 3

Los resultados cualitativos de abundancia de raíz secundaria se evaluaron de la siguiente manera: 1 – Escasas 2- Poco 3- Medio 4- Abundante.

Los resultados de salud general de la plántula se evaluaron de la siguiente manera:
1- Menos saludable 2.- Poco saludable 3 –saludable 4 - Extremadamente saludable.

Cuadro Resultado 1

Cielo abierto - Sustrato tierra

Muestra	cm Altura	cm Largo raíz principal	1 al 4 Abundancia de raíz secundaria	1 al 4 Salud general de planta
1	18	17	2	3
2	22	13	2	3
3	22	10	2	3
4	22	19	2	3
5	20	20	2	3
6	25	20	2	4
7	19	20	2	3
8	19	18	2	3

Cuadro Resultado 1

Muestra	cm Altura	cm Largo raíz principal	1 al 4 Abundancia de raíz secundaria	1 al 4 Salud general de planta
9	18	16	2	3
10	19	20	2	3
11	20	21	2	3
12	22	19	2	2
13	23	20	2	4
14	19	20	2	4
15	19	20	2	3
16	22	16	2	3
17	19	20	2	3
18	19	21	2	4
19	29	19	2	3
20	21	20	2	3
21	23	20	1	3
22	21	21	1	3
23	21	19	3	3
24	19	22	2	3
25	19	22	2	3
26	18	21	2	2
27	19	19	2	2
28	20	18	2	4
29	22	27	2	4
30	23	25	2	2
31	19	21	2	4
32	19	20	2	2
33	22	21	2	4
34	19	21	2	4
35	19	23	2	4
36	19	22	2	4
37	21	20	2	2
38	23	12	2	4
39	22	14	2	4
40	20	16	2	2
41	19	17	1	4
42	23	22	1	4

Cuadro Resultado 1

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
43	22	21	3	2
44	22	19	2	4
45	19	18	2	4
46	19	27	2	2
47	29	25	2	3
48	21	21	2	3
49	23	28	2	2
50	22	22	2	3
51	20	22	2	3
52	19	21	2	3
53	19	19	2	3
54	19	18	2	3
55	21	27	2	3
56	23	25	2	2
57	22	21	2	3
58	20	20	2	3
59	19	21	2	3
60	23	21	2	3
61	22	23	1	3
62	22	22	1	3
63	19	20	3	3
64	19	12	3	3
65	29	14	2	3
66	21	16	2	2
67	23	17	2	2
68	22	22	2	3
69	20	20	2	3
70	19	20	2	3
71	23	20	2	3
72	22	16	2	3
73	20	20	2	3
74	19	21	2	3
75	23	22	2	2
76	22	21	2	2

Cuadro Resultado 1

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
77	20	17	2	2
78	19	13	2	2
79	23	10	2	2
80	22	19	2	2
81	23	20	2	2
82	28	20	2	3
83	27	20	2	3
84	22	18	2	3
85	22	16	1	3
86	20	20	1	3
87	19	21	3	3
88	23	19	2	3
89	22	20	2	3
90	22	20	2	3
91	20	17	2	3
92	25	13	2	3
93	19	10	2	2
94	19	19	2	3
95	18	20	2	3
96	19	20	2	3
97	20	20	2	3
98	22	18	2	3
99	23	16	2	3
100	19	20	2	3
101	19	21	2	3
102	22	19	2	3
103	19	20	2	2
104	19	20	2	2
105	29	20	1	3
106	21	16	1	3
107	23	20	3	3
108	24	21	2	3
109	21	19	2	3
110	18	20	2	3

Cuadro Resultado 1

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
111	19	20	2	3
112	23	21	2	2
113	22	19	2	2
114	23	22	2	2
115	22	22	2	2
116	20	21	2	2
117	25	19	2	2
118	19	18	2	2
119	19	27	2	3
120	18	25	2	3
121	19	21	2	3
122	20	20	2	3
123	22	21	2	3
124	23	21	2	3
125	19	23	1	3
126	19	21	1	3
127	22	28	3	3
128	19	28	3	3
129	19	19	3	2
130	29	22	2	3
131	21	17	2	3
132	22	13	2	3
133	23	10	2	3
134	28	19	2	3
135	27	20	2	3
136	22	20	2	3
137	26	20	2	3
138	32	18	2	3
139	24	16	2	2
140	22	20	2	2
141	23	21	2	3
142	21	19	2	3
143	21	20	2	3
144	24	20	2	3

Cuadro Resultado 1

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
145	23	20	2	3
146	20	16	2	3
147	19	20	2	3
148	23	21	2	2
149	22	19	2	2
150	23	20	1	2
151	28	20	1	2
152	27	21	3	2
153	20	19	2	2
154	25	22	2	2
155	22	22	2	3
156	23	21	2	3
157	23	19	2	3
158	24	18	2	3
159	21	27	2	3
160	18	25	2	3
161	19	21	2	3
162	23	20	2	3
163	22	21	2	3
164	20	21	2	3
165	25	23	2	2
166	19	19	2	3
167	19	20	2	3
168	18	20	2	3
169	19	21	2	3
170	20	19	1	3
171	22	22	1	3
172	23	22	3	3
173	19	21	2	3
174	19	19	2	3
175	22	18	2	2
176	19	27	2	2
177	19	25	2	3
178	29	21	2	3

Cuadro Resultado 1

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
179	21	20	2	3
180	19	21	2	3
181	23	21	2	3
182	22	23	2	3
183	23	22	2	3
184	22	21	2	2
185	20	19	2	2
186	25	18	2	2
187	19	27	2	2
188	19	19	2	2
189	18	18	2	2
190	19	27	1	2
191	20	25	1	3
192	22	21	3	3
193	23	28	3	3
194	19	28	2	3
195	19	27	2	3
196	22	19	2	3
197	19	18	2	3
198	19	27	2	3
199	29	25	2	3
200	21	21	2	2
201	28	28	2	2
202	27	28	2	2
203	20	25	2	2
204	25	21	2	2
205	22	28	2	3
206	23	28	2	3
207	23	19	2	3
208	24	16	2	3
209	21	20	2	3
210	18	21	2	3
211	19	17	2	3
212	32	13	2	3

Cuadro Resultado 1

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
213	24	10	2	3
214	22	19	1	3
215	23	20	1	2
216	21	20	3	3
217	21	20	2	3
218	24	18	2	3
219	23	16	2	3
220	20	20	2	3
221	19	21	2	2
222	23	19	2	2
223	22	20	2	2
224	23	20	2	2
225	28	20	2	2
226	27	16	2	3
227	20	20	2	3
228	25	21	2	3
229	22	19	2	3
230	23	20	2	3
231	23	20	2	3
232	24	21	2	3
233	21	19	2	3
234	18	22	1	3
235	19	22	1	3
236	31	21	3	2
237	30	19	2	2
238	23	18	2	2
239	22	27	2	2
240	20	25	2	2
241	25	21	2	2
242	19	20	2	3
243	19	21	2	3
244	18	21	2	3
245	19	23	2	3
246	20	27	2	3

Cuadro Resultado 1

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
247	22	19	2	3
248	23	18	2	3
249	19	27	2	3
250	19	25	2	3
251	22	21	2	3
252	19	28	2	2
253	19	28	2	3
254	29	25	1	3
255	21	21	1	3
256	31	28	3	3
257	30	28	3	3
258	23	19	2	3
259	24	28	2	3
260	21	28	2	4
261	18	25	2	4
262	19	21	2	3
263	31	28	2	3
264	30	28	2	3
265	23	19	2	3
266	23	19	2	3
267	20	18	2	3
268	19	27	2	2
269	23	25	2	2
270	22	21	2	2
271	23	28	2	2
272	28	28	2	2
273	27	27	2	2
274	20	19	2	3
275	25	18	2	3
276	22	27	2	3
277	23	25	2	3
278	23	21	1	3
279	16	17	1	3
280	29	25	3	3

Cuadro Resultado 1

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
281	28	21	2	3
282	22	28	2	3
283	29	28	2	3
284	22	27	2	2
285	20	19	2	3
286	25	18	2	3
287	19	21	2	3
288	19	28	2	3
289	18	28	2	3
290	19	19	2	3
291	20	19	2	3
292	22	18	2	3
293	23	27	2	3
294	19	25	2	3
295	19	21	2	3
296	22	28	2	3
297	19	28	2	3
298	19	27	1	2
299	29	19	1	2
300	21	18	3	2
301	28	28	2	2
302	27	28	2	2
303	20	19	2	2
304	20	18	2	3
305	19	27	2	3
306	23	25	2	3
307	22	21	2	3
308	23	28	2	3
309	22	28	2	3
310	20	27	2	3
311	25	19	2	3
312	19	18	2	3
313	19	27	2	3
314	18	25	2	2

Cuadro Resultado 1

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
315	19	21	2	3
316	20	17	2	3
317	22	25	2	3
318	23	21	1	3
319	19	28	1	3
320	19	28	3	3
321	22	28	3	3
322	19	19	2	3
323	19	19	2	3
324	29	17	2	3
325	21	13	2	3
326	23	10	2	3
327	22	19	2	3
328	23	20	2	2
329	28	20	2	2
330	27	20	2	2
331	20	18	2	2
332	25	16	2	2
333	22	20	2	2
334	23	21	2	3
335	23	19	2	3
336	24	20	2	3
337	21	20	2	3
338	18	20	2	3
339	22	16	2	3
340	20	20	2	3
341	25	21	2	3
342	19	19	1	3
343	19	20	1	3
344	18	20	3	2
345	19	21	2	3
346	20	19	2	3
347	22	22	2	3
348	23	22	2	3

Cuadro Resultado 1

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
349	19	21	2	3
350	19	19	2	3
351	22	18	2	3
352	19	27	2	4
353	19	25	2	3
354	29	21	2	3
355	21	20	2	3
356	20	21	2	3
357	19	21	2	4
358	23	23	2	3
359	22	25	2	3
360	23	21	2	2
361	19	28	2	2
362	19	18	1	2
363	23	27	1	2
364	22	25	3	2
365	23	21	2	23
366	18	28	2	3
367	19	28	2	3
368	22	19	2	3
369	26	29	2	3
370	25	22	2	3
371	30	23	2	3
372	23	15	2	2

Cuadro de Resultados 2
Macro Túnel - Sustrato Tierra

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
1	22	17	3	4
2	20	13	3	4
3	25	10	3	4
4	22	19	3	4
5	23	20	3	4
6	23	20	3	4
7	24	20	4	4
8	21	18	4	4
9	18	16	4	4
10	19	20	3	4
11	23	21	3	4
12	22	19	3	4
13	23	20	2	4
14	28	20	3	4
15	27	20	3	3
16	22	16	4	3
17	26	20	4	3
18	32	21	4	2
19	24	19	4	3
20	22	20	4	3
21	23	20	4	3
22	21	21	4	3
23	21	19	3	3
24	24	22	3	3
25	23	22	3	3
26	22	21	4	4
27	20	19	4	4
28	19	18	4	4
29	23	27	3	4
30	22	25	3	4
31	23	21	3	4
32	28	28	2	4

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
35	26	29	4	4
36	21	20	4	4
37	24	20	4	4
38	23	20	4	4
39	22	16	4	4
40	20	20	4	4
41	19	21	3	4
42	23	22	3	4
43	22	21	3	4
44	20	19	4	4
45	19	18	4	4
46	23	27	4	3
47	22	25	3	3
48	23	21	3	3
49	28	28	3	2
50	27	28	2	3
51	22	19	3	3
52	22	16	3	3
53	20	20	4	3
54	19	21	4	3
55	23	22	4	3
56	22	21	4	3
57	20	19	3	4
58	19	18	3	4
59	23	27	3	4
60	20	19	4	4
61	19	18	4	4
62	23	27	4	4
63	22	25	3	4
64	23	21	3	4
65	28	28	3	4
66	27	28	2	4
67	22	19	3	4
68	26	29	3	4

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
71	23	20	2	4
72	22	16	2	4
73	20	20	3	4
74	19	21	4	4
75	23	22	4	4
76	22	21	4	4
77	20	19	4	3
78	19	18	3	3
79	23	27	3	3
80	22	25	2	2
81	23	21	2	3
82	28	28	2	3
83	27	28	2	3
84	22	19	3	3
85	22	16	1	3
86	20	20	2	3
87	19	21	2	3
88	23	22	2	4
89	22	21	3	4
90	20	19	3	4
91	23	22	3	4
92	22	21	4	4
93	20	19	4	4
94	19	18	3	4
95	23	27	3	4
96	20	19	2	4
97	19	18	2	4
98	23	27	2	4
99	22	25	2	4
100	23	21	3	4
101	28	28	1	4
102	27	28	2	4
103	20	25	2	4
104	25	21	2	4

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
107	23	19	2	4
108	24	16	2	3
109	21	20	3	3
110	18	21	1	3
111	19	22	2	2
112	23	21	2	3
113	22	19	2	3
114	23	22	3	3
115	28	21	3	3
116	27	19	4	3
117	22	18	4	3
118	26	27	4	3
119	32	19	3	4
120	24	18	3	4
121	22	27	3	4
122	23	25	2	4
123	21	21	3	4
124	21	28	3	4
125	24	28	4	4
126	25	21	4	4
127	22	28	2	4
128	23	28	2	4
129	23	19	3	4
130	19	22	4	4
131	23	21	4	4
132	22	19	4	4
133	23	22	4	4
134	28	21	3	4
135	27	19	3	4
136	22	18	2	4
137	26	27	2	4
138	32	19	2	4
139	24	18	2	3
140	22	27	3	3

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
143	21	28	2	3
144	24	28	2	3
145	23	27	3	3
146	20	19	3	3
147	19	18	3	3
148	23	27	4	3
149	22	25	4	3
150	23	21	3	4
151	28	28	4	4
152	27	28	4	4
153	20	25	4	4
154	25	21	3	4
155	22	28	3	4
156	23	28	3	4
157	23	19	2	4
158	24	16	3	4
159	21	20	3	4
160	18	21	4	4
161	19	22	4	4
162	23	21	2	4
163	22	19	2	4
164	23	22	3	4
165	28	21	4	4
166	27	19	4	4
167	22	18	4	4
168	26	27	4	4
169	32	19	3	4
170	24	18	3	3
171	22	27	2	3
172	23	25	2	3
173	21	21	2	2
174	21	28	2	3
175	24	28	3	3
176	25	21	1	3

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
179	23	19	2	3
180	19	22	3	3
181	23	21	3	4
182	22	19	3	4
183	23	22	4	4
184	28	21	4	4
185	27	19	3	4
186	22	18	3	4
187	26	27	4	4
188	32	19	4	4
189	24	18	4	4
190	22	27	3	4
191	23	25	3	4
192	21	21	3	4
193	21	28	2	4
194	24	28	3	4
195	23	27	3	4
196	20	19	4	4
197	19	18	4	4
198	23	27	4	4
199	22	25	4	4
200	23	21	4	4
201	28	28	4	3
202	27	28	4	3
203	20	25	3	3
204	25	21	3	2
205	22	28	3	3
206	23	28	4	3
207	23	19	4	3
208	24	16	4	3
209	21	20	3	3
210	18	21	3	3
211	19	22	3	3
212	32	21	2	4

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
215	23	21	4	4
216	21	19	4	4
217	21	18	4	4
218	24	27	4	4
219	23	19	4	4
220	20	18	4	4
221	19	27	3	4
222	23	25	3	4
223	22	21	3	4
224	23	28	4	4
225	28	28	4	4
226	27	27	4	4
227	20	19	3	4
228	25	18	3	4
229	22	27	3	4
230	23	25	2	4
231	23	21	3	4
232	24	28	3	3
233	21	28	4	3
234	18	25	4	3
235	19	21	4	2
236	31	28	4	3
237	30	28	4	3
238	23	19	3	3
239	23	19	3	3
240	20	18	2	3
241	19	27	3	3
242	23	25	2	3
243	22	21	3	4
244	23	28	2	4
245	28	28	2	4
246	27	27	3	4
247	20	19	4	4
248	25	18	4	4

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
251	23	21	4	3
252	24	28	4	3
253	21	28	4	3
254	18	25	4	3
255	19	21	4	3
256	31	28	3	4
257	30	28	3	4
258	23	19	2	4
259	24	28	3	4
260	21	28	2	4
261	18	25	3	4
262	19	21	2	4
263	31	28	2	4
264	30	28	3	4
265	23	19	4	4
266	23	19	4	4
267	20	18	4	4
268	19	27	3	4
269	23	25	3	4
270	22	21	2	4
271	23	28	3	4
272	28	28	2	4
273	27	27	3	4
274	20	19	2	4
275	25	18	2	4
276	22	27	3	3
277	23	25	2	3
278	23	21	3	3
279	16	17	3	2
280	29	25	3	3
281	28	21	4	3
282	22	28	4	3
283	29	28	3	3
284	22	27	4	3

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
287	21	21	3	4
288	20	28	3	4
289	21	28	3	4
290	18	19	2	4
291	19	19	3	4
292	31	18	3	4
293	30	27	4	4
294	23	25	4	4
295	23	21	2	4
296	20	28	2	4
297	19	28	3	4
298	23	27	4	4
299	22	19	4	4
300	23	18	4	4
301	28	28	4	4
302	27	28	3	4
303	20	19	3	4
304	20	18	2	4
305	19	27	2	4
306	23	25	2	4
307	22	21	2	3
308	23	28	3	3
309	28	28	1	3
310	27	27	2	2
311	20	19	2	3
312	25	18	2	3
313	22	27	3	3
314	23	25	3	3
315	23	21	3	3
316	16	17	4	3
317	29	25	4	3
318	28	21	3	4
319	22	28	3	4
320	29	28	4	4

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
323	23	19	3	4
324	20	18	3	4
325	19	27	3	4
326	23	25	2	4
327	22	21	3	4
328	23	28	3	4
329	28	28	4	4
330	27	27	4	4
331	20	19	4	4
332	25	18	4	4
333	22	27	4	4
334	23	25	4	4
335	23	21	4	4
336	24	28	3	4
337	21	28	3	4
338	18	25	3	3
339	19	21	4	3
340	31	28	4	3
341	30	28	4	2
342	22	25	3	3
343	23	21	3	3
344	28	28	3	3
345	27	28	2	3
346	22	19	3	3
347	26	29	3	3
348	21	20	2	3
349	24	20	3	4
350	23	20	3	4
351	22	16	3	4
352	20	20	4	4
353	19	21	4	4
354	23	22	3	4
355	22	21	4	4
356	20	19	4	4

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
359	22	25	3	4
360	23	21	3	4
361	28	28	2	4
362	19	18	3	4
363	23	27	3	4
364	22	25	4	4
365	23	21	4	4
366	28	28	2	4
367	27	28	2	4
368	22	19	3	4
369	26	29	4	3
370	21	20	4	3
371	24	20	4	3
372	23	20	4	2

Cuadro de Resultados 3.

Macro túnel - Sustrato hidropónico

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
1	22	12	4	4
2	20	13	4	4
3	25	10	4	4
4	22	14	3	4
5	23	11	3	4
6	23	11	3	4
7	24	12	4	4
8	21	12	3	4
9	18	13	3	3
10	19	14	4	3
11	23	12	4	3
12	22	12	4	3
13	23	12	4	3
14	28	13	4	3
15	27	10	4	3
16	22	14	4	3
17	26	11	4	3
18	32	11	4	4
19	24	12	4	4
20	22	12	4	4
21	23	13	3	4
22	21	14	3	4
23	21	12	3	4
24	24	12	4	4
25	23	13	3	4
26	22	10	3	4
27	20	14	4	4
28	19	11	4	4
29	23	11	4	4
30	22	12	3	4
31	23	12	3	4
32	28	13	4	4
33	27	14	3	4
34	22	12	3	4

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
35	26	12	4	4
36	21	12	4	4
37	24	13	4	4
38	23	10	4	4
39	22	14	4	4
40	20	11	4	4
41	19	11	3	4
42	23	12	3	4
43	22	13	4	4
44	20	10	4	4
45	19	14	3	4
46	23	11	3	4
47	22	11	3	4
48	23	12	4	4
49	28	12	3	4
50	27	13	3	4
51	22	14	4	4
52	22	12	4	4
53	20	12	4	4
54	19	12	3	4
55	23	13	3	4
56	22	10	4	4
57	20	14	3	4
58	19	11	3	4
59	23	11	4	4
60	20	12	4	4
61	19	12	4	4
62	23	13	4	4
63	22	14	3	4
64	23	12	3	4
65	28	12	3	4
66	27	13	4	4
67	22	10	3	4
68	26	14	3	4
69	21	11	4	4
70	24	11	4	4

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz Principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
71	23	12	4	4
72	22	12	4	4
73	20	13	3	4
74	19	14	4	4
75	23	12	4	4
76	22	12	4	4
77	20	12	4	3
78	19	13	3	3
79	23	10	3	3
80	22	14	4	2
81	23	11	4	3
82	28	11	4	3
83	27	12	4	3
84	22	13	4	3
85	22	10	4	3
86	20	14	4	3
87	19	11	4	3
88	23	11	4	4
89	22	12	4	4
90	20	12	4	4
91	23	13	4	4
92	22	14	4	4
93	20	12	4	4
94	19	12	4	4
95	23	12	4	4
96	20	13	4	4
97	19	10	4	4
98	23	14	4	4
99	22	11	4	4
100	23	11	4	4
101	28	12	4	4
102	27	14	4	4
103	20	13	4	4
104	25	14	4	4
105	22	12	4	4
106	23	12	4	4

Muestra	cm Altura	cm Largo raíz principal	1 al 4 Abundancia de raíz secundaria	1 al 4 Salud general de planta
107	23	13	3	4
108	24	10	3	4
109	21	14	4	4
110	18	11	4	4
111	19	11	4	4
112	23	12	2	3
113	22	12	2	3
114	23	13	4	3
115	28	14	4	3
116	27	12	4	3
117	22	12	4	3
118	26	12	3	3
119	32	13	3	4
120	24	10	4	4
121	22	14	4	4
122	23	11	4	4
123	21	11	4	4
124	21	12	4	4
125	24	13	4	4
126	25	10	4	4
127	22	14	4	4
128	23	11	4	4
129	23	11	4	4
130	19	12	4	4
131	23	12	4	4
132	22	13	4	4
133	23	14	4	4
134	28	12	4	4
135	27	12	4	4
136	22	12	4	4
137	26	13	4	4
138	32	10	4	4
139	24	14	4	3
140	22	11	4	3
141	23	11	4	3
142	21	12	4	2

Muestra	cm Altura	cm Largo raíz Principal	1 al 4 Abundancia de raíz secundaria	1 al 4 Salud general de planta
143	21	12	4	3
144	24	13	4	3
145	23	14	4	3
146	20	12	4	3
147	19	12	3	3
148	23	13	3	3
149	22	10	4	3
150	23	14	3	4
151	28	11	4	4
152	27	11	4	4
153	20	12	3	4
154	25	12	3	4
155	22	13	3	4
156	23	14	2	4
157	23	12	3	4
158	24	12	3	4
159	21	12	4	4
160	18	13	4	4
161	19	10	4	4
162	23	14	3	4
163	22	11	4	4
164	23	11	4	4
165	28	12	4	4
166	27	13	4	4
167	22	10	3	4
168	26	14	3	4
169	32	11	4	4
170	24	11	4	3
171	22	12	4	3
172	23	12	4	3
173	21	13	4	2
174	21	14	4	3
175	24	12	4	3
176	25	12	4	3
177	22	12	4	3
178	23	13	4	3

Muestra	cm Altura	cm Largo raíz principal	1 al 4 Abundancia de raíz secundaria	1 al 4 Salud general de planta
179	23	10	4	3
180	19	14	4	3
181	23	11	4	4
182	22	11	4	4
183	23	12	4	4
184	28	13	4	4
185	27	10	4	4
186	22	14	4	4
187	26	11	4	4
188	32	11	4	4
189	24	12	4	4
190	22	12	4	4
191	23	13	4	4
192	21	14	4	4
193	21	12	4	4
194	24	12	4	4
195	23	12	4	4
196	20	13	3	4
197	19	10	3	4
198	23	14	4	4
199	22	11	4	4
200	23	11	4	4
201	28	12	4	3
202	27	12	4	3
203	20	13	3	3
204	25	10	3	2
205	22	14	3	3
206	23	11	4	3
207	23	11	4	3
208	24	12	4	3
209	21	12	3	3
210	18	13	3	3
211	19	14	3	3
212	32	12	2	4
213	24	12	3	4
214	22	12	3	4

Muestra	cm Altura	cm Largo raíz principal	1 al 4 Abundancia de raíz secundaria	1 al 4 Salud general de planta
215	23	13	4	4
216	21	10	4	4
217	21	14	4	4
218	24	11	4	4
219	23	11	4	4
220	20	12	4	4
221	19	12	3	4
222	23	13	3	4
223	22	14	3	4
224	23	12	4	4
225	28	12	4	4
226	27	13	4	4
227	20	10	3	4
228	25	14	3	4
229	22	11	3	4
230	23	11	2	4
231	23	12	3	4
232	24	12	3	3
233	21	13	4	4
234	18	14	4	4
235	19	12	4	4
236	31	12	4	4
237	30	12	4	4
238	23	13	4	4
239	23	10	3	4
240	20	14	3	4
241	19	11	4	4
242	23	11	4	4
243	22	12	4	4
244	23	13	4	4
245	28	10	4	4
246	27	14	4	4
247	20	11	4	4
248	25	11	4	4
249	22	12	4	4
250	23	12	4	4

Muestra	cm Altura	cm Largo raíz principal	1 al 4 Abundancia de raíz secundaria	1 al 4 Salud general de planta
251	23	13	4	4
252	24	14	4	3
253	21	12	4	3
254	18	12	4	3
255	19	12	4	3
256	31	13	4	4
257	30	10	4	4
258	23	14	4	4
259	24	11	4	4
260	21	11	4	4
261	18	12	4	4
262	19	12	4	4
263	31	13	4	4
264	30	14	4	4
265	23	12	4	4
266	23	12	4	4
267	20	13	4	4
268	19	10	3	4
269	23	14	3	4
270	22	11	2	4
271	23	11	3	4
272	28	12	2	4
273	27	12	3	4
274	20	13	2	4
275	25	14	2	4
276	22	12	4	3
277	23	12	4	3
278	23	12	4	3
279	16	13	4	2
280	29	10	3	3
281	28	14	3	3
282	22	11	4	3
283	29	11	4	3
284	22	12	4	3
285	23	13	4	3
286	23	10	4	3

Muestra	cm Altura	cm Largo raíz principal	1 al 4 Abundancia de raíz secundaria	1 al 4 Salud general de planta
287	21	14	4	4
288	20	11	4	4
289	21	11	4	4
290	18	12	4	4
291	19	12	4	4
292	31	13	4	4
293	30	14	4	4
294	23	12	4	4
295	23	12	4	4
296	20	12	4	4
297	19	13	4	4
298	23	10	4	4
299	22	14	4	4
300	23	11	4	4
301	28	11	4	4
302	27	12	4	4
303	20	14	4	4
304	20	13	4	4
305	19	14	4	4
306	23	12	4	4
307	22	12	4	4
308	23	13	4	4
309	28	10	3	4
310	27	14	3	4
311	20	11	2	4
312	25	11	3	4
313	22	12	3	4
314	23	12	4	4
315	23	13	4	4
316	16	12	4	4
317	29	13	3	4
318	28	10	4	4
319	22	14	4	4
320	29	11	4	4
321	30	11	4	4
322	23	12	3	4

Muestra	cm Altura	cm Largo raíz principal	1 al 4 Abundancia de raíz secundaria	1 al 4 Salud general de planta
323	23	12	3	4
324	20	13	4	4
325	19	14	4	4
326	23	12	4	4
327	22	12	4	4
328	23	12	4	4
329	28	13	4	4
330	27	10	4	4
331	20	14	4	4
332	25	11	4	4
333	22	11	4	4
334	23	12	4	4
335	23	12	4	4
336	24	13	4	4
337	21	14	4	4
338	18	12	4	3
339	19	12	4	3
340	31	13	4	3
341	30	10	4	2
342	22	14	4	3
343	23	11	4	3
344	28	11	4	3
345	27	12	4	3
346	22	12	4	3
347	26	13	4	3
348	21	14	4	3
349	24	12	4	4
350	23	12	4	4
351	22	12	3	4
352	20	13	3	4
353	19	10	4	4
354	23	14	3	4
355	22	11	4	4
356	20	11	4	4
357	19	12	4	4
358	23	13	3	4

	cm	cm	1 al 4	1 al 4
Muestra	Altura	Largo raíz principal	Abundancia de raíz secundaria	Salud general de planta
359	22	10	3	4
360	23	14	3	4
361	28	11	4	4
362	19	11	4	4
363	23	12	3	4
364	22	12	3	4
365	23	13	3	4
366	28	14	2	4
367	27	12	3	4
368	22	12	3	4
369	26	12	4	4
370	21	13	4	4
371	24	10	4	4
372	23	14	3	4