



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE
FERTIRRIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE
PLANTA DE CALIDAD DE FRESNO EN
VIVERO**

SALVADOR ARELLANO VELÁZQUEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2018

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

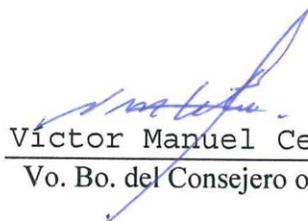
En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Salvador Arellano Velázquez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Víctor Manuel Cetina Alcalá, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Comparación de dos sistemas de fertirriego en la producción de planta de fresno en vivero

y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 20 de julio de 2018



Firma del
Alumno (a)



Víctor Manuel Cetina Alcalá
Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

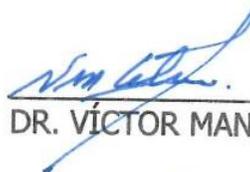
La presente tesis titulada: **COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE FERTIRRIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE CALIDAD DE FRESNO EN VIVERO**

realizada por el (la) alumno (a): SALVADOR ARELLANO VELÁZQUEZ
bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo
y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
CIENCIAS FORESTALES

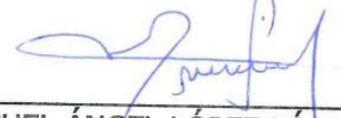
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



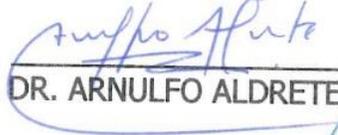
DR. VÍCTOR MANUEL CETINA ALCALÁ

ASESOR (A)



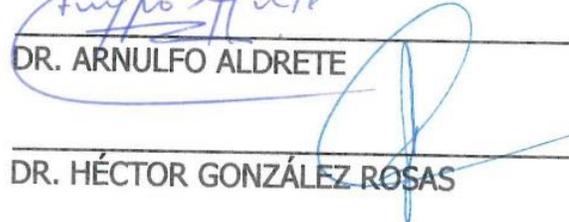
DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR (A)



DR. ARNULFO ALDRETE

ASESOR (A)



DR. HÉCTOR GONZÁLEZ ROSAS

COMPARACIÓN DE DOS SISTEMAS DE RIEGO EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE CALIDAD DE FRESNO EN VIVERO

Salvador Arellano Velázquez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

RESUMEN

La producción de especies forestales en nuestro país se ha centrado en la manera convencional o tecnificada empleando insumos que, en su mayoría, encarecen esta práctica. El buscar alternativas económicas y ecológicas para la producción forestal es una tarea que requiere una pronta atención; problemas como el desabasto de agua para riego o fertilización, así como los altos precios de los sustratos utilizados, son factores que afectan el desarrollo de una planta de calidad. En este experimento se evaluó el rendimiento de la producción de riego por subirrigación de plantas de fresno, donde se utilizó una mezcla de sustratos de 20% agrolita y 20% vermiculita, donde el sustrato 1 presentó en su composición 60% de aserrín, mientras que el sustrato 2, tuvo 60% de turba en su composición final junto a los dos primeros sustratos. De igual manera se evaluó el rendimiento de tres soluciones nutritivas empleadas comúnmente. Los resultados demostraron que al utilizar el riego por subirrigación para fertilizar las plantas de fresno, brinda mejores condiciones para el desarrollo de estas. El diámetro a la base del cuello del tallo y la altura fue mayor en los tratamientos que usaron el riego por subirrigación, mostrando diferencias significativas ($\alpha=0.05$). Las diferencias variaron en cuanto a la mezcla de sustratos utilizada, presentaron una diferencia del 42% al usar la turba y 57% al emplear aserrín en el diámetro, en la altura, hubo diferencias del 40% usando turba y 62% con aserrín. La concentración de los diferentes nutrimentos también presentó cambios al emplear el riego por subirrigación, donde N, reportó un aumento promedio del 30.46% al usar aserrín y 7.04% con turba; en P, 67.89% con aserrín y 50.52% con turba; K, con aserrín disminuyó 0.72% y con turba aumento 25.74% al igual que Mg que registró un aumento del 11.68% usando aserrín y 4.28% con turba. Los índices de calidad empleados, registraron valores altos en los tratamientos que usaron el riego por subirrigación, independiente del uso de la mezcla de aserrín o turba. Los resultados de las diferentes soluciones nutritivas no presentaron diferencias significativas con su similar en la mezcla de sustratos y tipo de fertilización. Los resultados en general sugieren el uso del aserrín en conjunto con el riego por subirrigación para generar plantas de calidad, se evitaría el desperdicio de agua e insumos que encarecen la producción forestal.

Palabras clave: *Fertilización, Fraxinus undei, subirrigación, vivero, forestal, aserrín.*

COMPARISON OF TWO IRRIGATION SYSTEMS IN THE PRODUCTION OF FRESNO QUALITY PLANT IN NURSERY

Salvador Arellano Velázquez, M. Scn.

Colegio de Postgraduados, 2018

ABSTRACT

The production of forest species in our country has focused on the conventional or technified way, using inputs that, for the most part, make this practice more expensive. The search for economic and ecological alternatives for forest production is a task that requires prompt attention; Problems such as the shortage of water for irrigation or fertilization, as well as the high prices of the substrates used, are factors that affect the development of a quality plant. In this experiment, the performance of irrigation production by uptake of ash plants was evaluated, where a mixture of substrates of 20% agrolite and 20% vermiculite was used, where substrate 1 presented 60% sawdust in its composition, while Substrate 2 had 60% peat in its final composition together with the first two substrates. In the same way, the performance of three nutritive solutions commonly used was evaluated. The results showed that when using the irrigation by subirrigation to fertilize the ash plants, I offer better conditions for the development of these. The diameter at the base of the neck of the stem and the height was greater in the treatments that used the irrigation by subirrigation, showing significant differences ($\alpha = 0.05$). The differences varied in terms of the mixture of substrates used, they showed a difference of 42% when using the peat and 57% when using sawdust in the diameter, in the height, there were differences of 40% using peat and 62% with sawdust. The concentration of the different nutrients also showed changes when using irrigation by sub-irrigation, where N, reported an average increase of 30.46% when using sawdust and 7.04% with peat; in P, 67.89% with sawdust and 50.52% with peat; K, with sawdust decreased 0.72% and with peat increased 25.74% as well as Mg which registered an increase of 11.68% using sawdust and 4.28% with peat. The quality indices used, registered high values in the treatments that used the irrigation by subirrigation, independent of the use of the mixture of sawdust or peat. The results of the different nutritional solutions did not show significant differences with their similar in the mixture of substrates and type of fertilization. The results in general suggest the use of sawdust in conjunction with irrigation for subirrigation to generate quality plants, avoiding the waste of water and inputs that make forest production more expensive.

Keywords: *Fertilization, Fraxinus undei, subirrigation, nursery, forestry, sawdust*

AGRADECIMIENTOS Y DEDICATORIA

Agradezco el apoyo de la Comisión Nacional de la Ciencia y Tecnología (CONACyT) por permitirme realizar una maestría derivado del apoyo que siempre se me proporcionó.

Agradezco al Colegio de Postgraduados Campus Montecillos, por brindarme las oportunidades de estudiar y desarrollarme profesionalmente durante mi estancia en sus instalaciones.

Agradezco al postgrado de Ciencias Forestales, donde realice mi proyecto y donde siempre me brindaron las herramientas necesarias para desarrollarme.

Le agradezco a los Doctores que conformaron mi consejo académico; le agradezco su siempre apoyo y asesoramiento al Dr. Víctor M. Cetina Alcalá, por su inspiración a superarme día con día, asesoramiento y apoyo. Al Dr. Miguel Ángel López López, por brindarme su ayuda en todo momento, por sus palabras de aliento y constante supervisión. Al Dr. Arnulfo Aldrete, por tener comentarios siempre acertados para mejorar mi proyecto de investigación, su participación y seguimiento enriquecieron en gran medida mi estancia en el Colegio. Al Dr. Héctor González por su interés y ayuda para continuar mejorando.

A los compañeros que en mi estancia tuve el placer de conocer, Leonardo, Secundino, Miguel, que siempre hicieron amena la estancia en los cursos, su retroalimentación mejoro mis conocimientos e intereses académicos.

A toda mi familia y seres queridos, que me ayudaron en esta etapa. Con especial mención de mi abuelita Consuelo Galicia Hernández QEPD, que gracias a ella soy la persona que soy hoy en día, su cariño infinito y gran amor siempre quedarán en mi corazón.

A todos ustedes, gracias.

CONTENIDO

RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS	x
INTRODUCCIÓN	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
OBJETIVOS	2
Objetivo General	2
Objetivos Específicos	2
HIPÓTESIS	2
REVISIÓN DE LITERATURA	4
Planta ideal	4
Selección de la especie	4
Fresno	4
Hidroponía	5
Fertilizantes	6
Fertilizantes minerales	6
Nutrición	6
Solución nutritiva	7
Características del agua	7
Riego	8
Sustratos	8
Aserrín	8
Turba	9
MATERIALES Y MÉTODOS	10
Ubicación	10
Obtención de germoplasma	10
Preparación de mezclas de sustratos	10
Preparación y llenado de los tubetes	10
Preparación de semillas	11
Siembra	11

Germinación y riego	11
Preparación de soluciones nutritivas	11
Sistema de riego convencional	12
Sistema de fertilización por subirrigación	12
Diseño experimental	13
Variables de respuesta	13
Análisis foliar	14
Análisis estadístico	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	15
Supervivencia de la planta	15
Diámetro	15
Altura	18
Concentración y contenido nutrimental en follaje	22
Índices de calidad de planta	31
CONCLUSIONES	34
RECOMENDACIONES A FUTURO	34
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS	36
ANEXOS	43
Anexo I.	43
Anexo 2.	44

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Composición química de las soluciones químicas	12
Cuadro 2. Medias de las variables estudiadas de fresno ($\alpha=0.05$).....	16
Cuadro 3. Pruebas de Tukey para las concentraciones nutrimentales en follaje de fresno ($\alpha=0.05$)	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento del diámetro basal de fresno en los tratamientos aplicados.....	17
Figura 2..Comportamiento de la altura de fresno en los tratamientos aplicados.....	19
Figura 3. Efecto de la solución nutritiva y sistema de fertirriego en la altura de plantas de fresno con el sustrato 1 (agrolita, aserrín y vermiculita).....	20
Figura 4. Efecto de la solución nutritiva y sistema de fertirriego en la altura de plantas de fresno con Sustrato 2 (agrolita, turba y vermiculita).	20
Figura 5.Comportamiento de la concentración de N presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutritivas.	24
Figura 6. Comportamiento de la concentración de P presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutritivas.	26
Figura 7. Comportamiento de la concentración de K presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutritivas.	27
Figura 8. Comportamiento de la concentración de Mg presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutrimentales.	28
Figura 9. Comportamiento de la concentración de Fe presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutrimentales.	29
Figura 10. Comportamiento de la concentración de Cu presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutrimentales.	30

INTRODUCCIÓN

El éxito de una repoblación forestal está condicionado por el empleo de planta de buena calidad obtenida mediante un sistema de producción adecuado por parte del viverista (Duryea, 1985; Navarro *et al.*, 1998).

La calidad de planta forestal está determinada por la interacción de múltiples factores morfológicos y fisiológicos, los cuales se definen mediante atributos que se clasifican en: materiales medibles directamente y que pueden ser morfológicos y fisiológicos, y de respuesta de la planta a una prueba bajo condiciones determinadas (Ritchie, 1984; Puttonen, 1997). Uno de los atributos fisiológicos más importantes es el contenido de nutrimentos minerales de la planta, ya que un buen balance nutritivo contribuye a producir una planta de buena calidad. La composición mineral de la planta que va a ser trasplantada es de gran importancia para la supervivencia postrasplante pues en las primeras etapas no es capaz de aprovechar los nutrimentos del suelo y requiere utilizar los acumulados en sus tejidos en la fase de vivero (Timmer *et al.*, 1991; Marschner *et al.*, 1996; Timmer, 1997).

La fertilización es una práctica indispensable para mejorar la calidad y productividad forestal en cualquier parte del mundo (Fritz-Helmut, 1991) y es, después del riego, la práctica que más influye en el crecimiento y calidad de las plantas, al incidir en los procesos fisiológicos que las plantas manifiestan.

Dentro de la fertilización en vivero, existen tres niveles que, según la etapa fenológica de los árboles, se pueden identificar como: a) establecimiento (emergencia y crecimiento de las plantas hasta la fase cotiledonal), b) rápido crecimiento (fase logarítmica del crecimiento, donde predomina el crecimiento en altura) y c) endurecimiento (inicia con el desarrollo de yema apical, donde el crecimiento de altura se reduce) (Landis *et al.*, 1989).

Los requerimientos nutrimentales varían según la especie forestal y es esencial su conocimiento para el diseño y aplicación de soluciones nutritivas. Sin embargo, el mal uso y desperdicio de agua, que se emplea en la fertilización y riego es un problema actual. En los sistemas de aspersión mecanizada, un porcentaje considerable de agua es desaprovechado por las plantas, donde por lixiviación se deposita en el suelo y existe el riesgo de acumulación de minerales provenientes de las soluciones nutritivas utilizadas en la fertilización. Por este tipo de situaciones, es necesario buscar alternativas que busquen mitigar problemas ambientales de operación y económicos.

Los nutrimentos requeridos en altas cantidades por las especies forestales son el nitrógeno, fósforo y potasio; los cuales suministrados de manera eficiente en conjunto con macronutrimentos secundarios (Ca, Mg y S) y microelementos, como Mn, Fe, Zn, B, Cu entre otros, promoverán un adecuado aporte de nutrimentos hacia

la planta y por consiguiente, individuos de buena calidad, lo que ayudará a tener una mejor adaptación y supervivencia al ser trasplantados en sitios con buenas o con deficientes condiciones para su desarrollo.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Una técnica poco utilizada para la producción de especies forestales, es la subirrigación, que ha sido probada en otros países con resultados de mayor eficiencia del uso de fertilizantes químicos, una reducción en uso y desperdicio de agua, siendo este último punto, considerado por sus aportaciones intrínsecas al medio ambiente puesto que brinda una notable disminución de los problemas edáficos por la lixiviación de los fertilizantes químicos que son utilizados en las prácticas convencionales de producción (Landis y Wilkinson, 2004).

El probar un método de producción que se fundamente en la subirrigación, brindará una alternativa a los productores de especies forestales para obtener plantas de calidad en menor tiempo dentro de su fase de vivero, esto dotará de nueva información para poder contemplar esta técnica por sus beneficios ambientales y de producción.

OBJETIVOS

Objetivo General

- Evaluar diferentes esquemas de riego y nutrición en la producción de plantas de fresno en vivero.

Objetivos Específicos

- Comparar los métodos de riego por subirrigación y el método convencional, en la producción de planta en vivero
- Evaluar tres soluciones nutritivas para fertilizar plantas forestales en un sistema de subirrigación,
- Analizar la calidad de dos mezclas de sustratos para su uso en un sistema de fertilización por subirrigación.

HIPÓTESIS

- La producción de planta en vivero por el método por subirrigación, brindará mejores condiciones nutricionales, lo que generará un crecimiento en altura, diámetro y longitud de sus raíces en menor tiempo, comparado con el método convencional de producción.

- Las soluciones nutritivas probadas producen efectos diferenciados en el desarrollo de las plantas.
- Los sustratos utilizados permitirán producir plantas derivan en plantas con diferentes características morfológicas y fisiológicas.

REVISIÓN DE LITERATURA

Planta ideal

El éxito de los programas de reforestación depende en gran medida de la calidad de la planta que logra alcanzar en su fase de vivero, esta cualidad puede asegurar una mayor probabilidad de supervivencia y desarrollo de las plantas en los sitios reforestados (Mas, 2003).

La calidad de planta se puede definir, como la capacidad de las plantas que tienen para adaptarse y desarrollarse bajo las condiciones del sitio de plantación. Mucho depende de las características genéticas de la especie así como las técnicas de reproducción que se emplearon en su fase de vivero (Prieto *et al.*, 2009).

Otra definición, es aquella planta que reúne las características morfológicas y fisiológicas necesarias para crecer y desarrollarse en las condiciones ambientales en las que será plantada (Ramírez y Rodríguez, 2004).

Para lograr plantas con mejores características morfológicas y fisiológicas es necesario el desarrollo de técnicas culturales desde el vivero. El tipo de sustrato, el contenedor a utilizar, la calidad de las semillas, el régimen nutrimental y el manejo adecuado del agua de riego, son algunos de los elementos principales para obtener planta de alta calidad sin elevar los costos de producción (Leyva *et al.*, 2008).

El generar planta resistente a las condiciones adversas del sitio de plantación, con una buena capacidad fotosintética y que ésta tenga una buena cantidad de nutrientes de reserva, propiciara la generación y sanación de los bosques (Leyva *et al.*, 2008).

Selección de la especie

Fresno

El fresno *Fraxinus uhdei* (Wenz) Lingelsh es un árbol perennifolio y en algunos casos, caducifolio. Puede alcanzar los 30 metros de altura y un diámetro del fuste a la altura del pecho de hasta un metro. Se distribuye desde Sinaloa y Durango hasta Veracruz y Chiapas con altitudes que van de los 1100 hasta los 2600 m. Es la especie perteneciente al género *Fraxinus* que se encuentra en estado silvestre formando parte del bosque de galería, bosque mixto de Pino-Encino y mesófilo de montaña (Rzedowski, 1996).

Es una especie que presenta un rápido crecimiento, puede llegar a vivir hasta 100 años y se adapta con facilidad a las condiciones del ambiente.

El fresno presenta semillas del tipo ortodoxa, lo cual permite su almacenamiento a bajas temperaturas con un pobre contenido de humedad, su germinación se presenta entre las temperaturas de 18 a 22 grados y puede darse entre los 10 y los 14 días. Esta especie presenta un porcentaje de germinación por encima del 40%, siendo además propagada de manera asexual (estacas) por su alto potencial de propagación por este método.

Se utiliza para reforestaciones cercanas a las ciudades, recuperar terrenos degradados como en sitios con explotación minera. Es un árbol resistente a heladas y sequías, requiere de suelos de buen drenaje. Ha sido utilizada en trabajos sobre contaminación, este árbol es muy sensible al ozono lo que lo sitúa como una especie indicadora de este elemento (Martínez y Chacalo, 1994).

Hidroponía

Es la técnica de producción intensiva de plantas, que se caracteriza por fertilizar a las plantas de manera controlada, brindando los nutrimentos necesarios para su óptimo desarrollo, por medio de una solución de elementos requeridos (Espinosa y Espinosa, 2006).

Para su aplicación se utilizan sustratos inertes diferentes al suelo a los que se les adiciona en forma constante una solución nutritiva, preparada a partir de fertilizantes comerciales; con esto se logra un medio que proporciona las condiciones físicas, químicas y sanitarias más favorables para el desarrollo de los cultivos (Espinosa y Espinosa, 2006).

Han pasado ya varios siglos desde el comienzo de los experimentos que eventualmente llevaron al desarrollo de la técnica de hidroponía moderna. El intento científico documentado más antiguo para descubrir los nutrimentos de la planta, fue el de Helmont en 1600; quién mostró que las plantas obtienen sustancias del agua y para 1699 señala Woodward, miembro destacado de la Real Sociedad de Inglaterra, consiguió cultivar una planta de menta (*Mentha piperita* L.) en agua (Sempario, (2007).

Los estudios alrededor de esta técnica se perfeccionaron entre los años 1925 y 1935. El estudio de los macronutrimentos (elementos químicos como nitrógeno, fósforo, potasio, azufre, calcio, magnesio), se denominó nutricultura. Barbado (2005), destaca que a finales de los años treinta Gericke, de la Universidad de

California, denominó finalmente a la nutricultura como hidroponía y extendió sus experimentos de laboratorio y trabajos de nutrición de plantas a cosechas comerciales a gran escala.

Fertilizantes

Son sustancias minerales u orgánicas, naturales o elaboradas que se aplican al suelo o sustrato, al agua de irrigación o a un medio hidropónico para proporcionarles a las plantas los nutrimentos. Los fertilizantes contienen como mínimo el 5% de cada uno de los nutrimentos primarios (N, P₂O₅, K₂O) (FAO, 1999).

Fertilizantes minerales

Los fertilizantes minerales son fabricados manualmente y se presentan en forma líquida o sólida. Estos fertilizantes minerales pueden aportar los nutrimentos primarios, los secundarios, los micronutrimentos o bien, una mezcla de ellos (FAO, 1999).

Nutrición

La nutrición puede ser definida como el suministro y la absorción de componentes necesarios (nutrimentos) para el metabolismo y el crecimiento de un organismo; en tanto que, un nutrimento puede ser citado como aquel elemento esencial que es requerido para el ciclo de vida de un organismo y cuyas funciones no pueden ser sustituidas por ningún otro componente químico (Mengel y Kirkby, 1978).

Los nutrimentos primarios son el nitrógeno, el fósforo y el potasio los cuales son consumidos en cantidades relativamente grandes. Tres nutrimentos secundarios son tomados en menores cantidades, pero son esenciales para su crecimiento: el calcio, el magnesio y el azufre. (FAO, 1999).

Solución nutritiva

Una solución nutritiva está definida como el sistema homogéneo donde los nutrientes necesarios para una planta están solubles, generalmente, en forma iónica y en proporciones adecuadas. Además de los nutrientes, la solución nutritiva contiene O_2 y está a la temperatura adecuada para la absorción de los nutrientes (Nélio, 2006).

En cualquier sistema de cultivo sin suelo, dos factores son preponderantes sobre la productividad: el ambiente, determinado por el tipo de protección de las plantas, con malla sombra o algún tipo de plástico transparente, y la segunda, una solución nutritiva que puede estar libre o dispersa en un sustrato. No existe una solución nutritiva aplicable para todos los cultivos, de tal suerte que su composición varía respecto a una serie de factores: especie, estadio fenológico, época del año (fotoperiodo), factores ambientales (temperatura, humedad relativa); además de estos factores, existen algunos aspectos intrínsecos a la solución afectan su composición, como pH, temperatura y presencia de quelatos (Nélio, 2006).

Es recomendable sustituir las cantidades de agua absorbida por el sustrato y/o por las plantas por la cantidad equivalente de agua perdida. Con este método se evita con facilidad y de manera efectiva un repentino aumento en las concentraciones de las sales a causa del consumo de agua por evaporación y transpiración; lo cual ocurre con mayor rapidez que la absorción de las sales. El contenido original de la solución de N y K disminuye en un cultivo de rápido crecimiento en un 25 -50% la primera semana; mientras que la concentración de P lo hace en un 15-25% en el mismo periodo. Es necesario complementar el contenido de las soluciones por medio del aporte de las sales correspondientes solamente cuando un 50% aproximado del contenido original haya sido consumido (Montero, 2002).

Características del agua

Resh (1987) menciona que la calidad del agua es una de las características elementales en los cultivos hidropónicos ya que de esto dependerá el desarrollo correcto del cultivo. A toda medida hay que evitar aguas que contengan alta cantidad de cloruro de sodio y sales de calcio y magnesio, por lo que debe ser cambiada de forma periódica.

Riego

El riego es una de las prácticas más importantes que debe contemplar un viverista para la adecuada producción de plantas, de esta manera el agua usada para el riego es uno de los factores que controla o limita el crecimiento de las plantas. Su importancia parte de la necesidad de evitar la desecación de la zona inferior de las plántulas (Resh, 1987).

Sustratos

Un sustrato es todo material sólido distinto del suelo, puede ser natural de síntesis o residual, mineral u orgánico, que, colocado en un contenedor, en forma pura o en mezclada, permite el desarrollo del sistema radicular de la planta, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta (Maroto, 1990; Burés, 1997).

La calidad de una planta forestal, mucho depende del tipo de sustrato o sustratos utilizados para su desarrollo, estos sustratos debe tener propiedades físicas y químicas idóneas para que las plantas puedan absorber el agua y los nutrientes necesarios para su desarrollo (Burés, 1997).

El mejor medio de cultivo depende de numerosos factores como son el tipo de material vegetal con el que se trabaja (semillas, plantas, estacas, etc.), especie vegetal, condiciones climáticas, sistemas y programas de riego y fertilización, aspectos económicos, etc. (Terres *et al.*, 1997).

Un sustrato de buena calidad debe presentar ciertas cualidades que ayuden al desarrollo de las raíces para así alcanzar un correcto crecimiento por parte de la planta. Landis *et al.*, (1990) comentan que un sustrato debe tener alta capacidad de retención de agua e intercambio catiónico (CIC), tener un pH entre 5 y 6, una baja concentración de sales, una adecuada porosidad que permita la difusión de gases y el movimiento del agua.

Aserrín

Este sustrato es un residuo del proceso de aserraderos y madererías, lo que en algunos casos ha llegado a ser un exceso y se considera un contaminante más que un producto secundario. Es un material muy barato y entre sus propiedades ayuda a mejorar la porosidad del sustrato (Landis, *et al.*, 1990). Este sustrato presenta problemas de fitotoxicidad al usarse crudo, lo que con un proceso de compostaje o descomposición se corrige en su gran mayoría (Boodley, 1998).

Turba

Las turbas son materiales de origen vegetal, sus propiedades físicas y químicas varían en función de su origen. Se pueden clasificar en dos grupos: turbas rubias y negras. Las turbas rubias tienen un mayor contenido de materia orgánica y están menos descompuestas. Las turbas negras están más mineralizadas teniendo un menor contenido de materia orgánica (Clavijo, 2008).

Es más frecuente el uso de turbas rubias en el cultivo sin suelo, debido a que las negras tienen una aireación deficiente y unos contenidos elevados de sales solubles. Las turbas rubias tienen un buen nivel de retención de agua y aireación, pero muy variable en cuanto a su composición ya que depende de su origen. La inestabilidad de su estructura y su alta capacidad de intercambio catiónico interfiere en la nutrición vegetal, presentan un pH que oscila entre 5 y 7. Se emplea en la producción ornamental y de plántulas hortícolas en semillero (Clavijo, 2008).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación

El experimento se desarrolló bajo condiciones de invernadero en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Edo. de México, con coordenadas geográficas de 98°53' latitud norte y 19°29' longitud oeste, a una altitud de 2250 m.

Obtención de germoplasma

Las semillas de fresno (*Fraxinus uhdei* L.) fueron donadas por el departamento de germoplasma de la Comisión de Recursos Naturales de la Ciudad de México (CORENA), estas fueron recolectadas en años semilleros de individuos superiores de zonas cercanas a la Ciudad de México.

Preparación de mezclas de sustratos

Para la mezcla de sustratos se utilizó aserrín de pino, agrolita y vermiculita, con proporción de, 60%, 20% y 20%, respectivamente, a esta mezcla del sustrato se la nombró "Sustrato 1". La mezcla con nombre "Sustrato 2" tuvo una proporción idéntica en cuanto a los sustratos de agrolita y vermiculita, utilizando turba como tercer componente (60%).

Preparación y llenado de los tubetes

En este experimento se utilizaron 900 tubetes de plástico rígido de color negro con una capacidad de 320 cm³, se lavaron con agua de la llave y desinfectaron con hipoclorito de sodio (Cloralex RM). El llenado de los tubetes con los sustratos 1 y 2 se realizó de forma manual, compactando ligeramente el sustrato hasta dejar aproximadamente un centímetro entre la superficie del sustrato con la parte superior del tubete.

Preparación de semillas

Las semillas se desinfectaron con una solución de 1% de cloro comercial (Cloralex RM) y 99 % de agua de llave, con periodos de 24 horas de remojo por 4 horas de secado. Este procedimiento se repitió 3 veces hasta que las semillas de fresno presentaron una decoloración de su testa y en algunos casos, quiebre parcial de la misma.

Siembra

La siembra se realizó de forma directa en el sustrato dentro de los tubetes, se tomaron 10 semillas de fresno. Se utilizaron grandes cantidades de semillas debido al bajo porcentaje de germinación que presentan estas especies (CONAFOR, 2009).

Germinación y riego

Una vez alcanzada la germinación de las semillas y cuando cada tubete presentó al menos una planta desarrollada, las plantas restantes fueron retiradas manualmente. Durante el desarrollo las plantas el sustrato se mantuvo húmedo a capacidad de campo, haciendo riegos con agua de la llave por la mañana y por la tarde antes del atardecer.

Preparación de soluciones nutritivas

Las soluciones nutritivas utilizadas fueron la de Calderón (1995) conocida como solución Cooper y la de Flores (2010) conocida como solución FRS, La solución nutritiva siempre se ajustó a un pH entre 5.5 y 6.5 con H_2SO_4 0.1 o KOH 0.1 N, dependiendo de los requerimientos de la especie, donde valores por encima o debajo de estos niveles pueden generar problemas en el crecimiento de la planta por la ineficaz absorción de nutrientes (Peñuelas y Ocaña, 1996).

Cuadro 1. Composición química de las soluciones químicas

	N (*)	P	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Cu	Zn	B	Mo
Solución Cooper	200	60	300	170	50	12	2	0.1	0.1	0.3	0.3
Solución FRS	168	130.2	128.7	190	45	12	2	0.1	0.15	0.45	0.175

*: Valor reportado en porcentaje (%), los demás valores se reportaron en partes por millón (ppm).

Las soluciones nutritivas del Cuadro 1 se elaboraron en laboratorio, mezclando reactivos disponibles hasta llegar al valor de cada macro y micronutriente recomendado por los autores (ver anexo 1 para conocer los reactivos utilizados en cada solución nutritiva). La tercera solución nutritiva que se aplicó fue el fertilizante comercial Peters. Durante las primeras seis semanas se aplicó una formulación de iniciación (10-30-20,) y posteriormente se aplicó la de rápido crecimiento (20-20-20).

Sistema de riego convencional

Una vez que las plantas alcanzaron aproximadamente 5 cm de altura cada una con su respectivo tubete se colocó en rejillas con elevación de 30 cm sobre el suelo., Cada rejilla presentó 25 cavidades en un arreglo de 5 hileras por 5 columnas. Éstas fueron colocadas de manera aleatoria sobre el piso del invernadero (Figura 1). Se les colocó una etiqueta con datos del tipo de solución nutritiva que se aplicó a cada una de las plantas. La fertilización se hizo de manera manual usando regaderas de plástico con una capacidad de 5 L. Se fertilizó a capacidad de campo cada tercer día de la semana, donde los días intermedios se regaron con agua destilada para evitar estrés hídrico en las plantas. El riego se hizo con la misma regadera de cada solución nutritiva, procurando limpiarla con agua destilada ante cualquier residuo de la solución antes usada.

Sistema de fertilización por subirrigación

En rejillas de 25 cavidades, se colocaron los tubetes con plantas en cada cavidad. Teniendo un total de 450 plantas. Las rejillas se marcaron y separaron del sistema de fertilización convencional, situándolas de manera aleatoria sobre el piso del invernadero. Se colocaron charolas de plástico junto a cada 2 rejillas con plantas,

con un orden de: 2 rejillas de 25 plantas en cada charola para fertilización. La fertilización se realizó de manera manual, colocando 20 L de solución nutritiva en cada charola para fertilización, se colocaron las rejillas con plantas de igual manera y se mantuvieron sumergidos los tubetes en la solución por un periodo de 3 horas cada tercer día de la semana. Los días que no se fertilizó se colocó 20L de agua destilada por charola y se dejaron el mismo tiempo haciendo contacto los tubetes con el agua.

Diseño experimental

El experimento se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar (DCA), con un arreglo factorial de 2 (mezcla de sustratos) x 2 (sistemas de fertirriego) x 3 (soluciones nutritivas), y una unidad experimental de 25 individuos, con tres repeticiones por experimento.

Variables de respuesta

De cada tratamiento, se seleccionaron 10 plantas al azar de cada rejilla de 25 cavidades. Después de cuatro meses se evaluaron:

- Diámetro de la base del tallo
- Altura
- Concentración de N, P y K, Mg, Cu y Fe en follaje
- Peso seco de la raíz
- Peso seco de la parte aérea de la planta

Para evaluar la calidad de planta se utilizaron los siguientes índices:

- Índice de robustez
- Índice de Dickson
- Relación parte aérea / parte radical

Índice de robustez (IR) (Morales, 2013): es la relación entre altura de la planta y el diámetro. Este índice tiene la siguiente fórmula:

$$\text{Índice de Robuste (IR)} = \frac{\text{Altura(cm)}}{\text{Diámetro (mm)}}$$

Índice de Dickson (ICD) (Dickson, *et al.*, 1960) que reúne varios atributos morfológicos en un solo valor que es usado como índice de calidad; a mayor valor del índice, mejor calidad de planta y se calculó con la fórmula:

$$\text{Índice de Dickson (ICD)} = \frac{\text{Peso Seco Total (g)}}{\frac{\text{Altura (cm)}}{\text{Diámetro (mm)}} + \frac{\text{Peso Seco Parte Aerea (g)}}{\text{Peso Seco Raíz (g)}}$$

Relación biomasa aérea/ biomasa raíz (Morales, 2013): este valor refleja la proporción entre los órganos encargados de la transpiración y los de absorción de agua en una planta

$$\text{Relación } \frac{BSA}{BSR} = \frac{\text{Biomasa Seca Aerea (g)}}{\text{Biomasa Seca Raíz (g)}}$$

Análisis foliar

Posterior a la evaluación física de las plantas, éstas fueron llevadas al laboratorio de análisis vegetal del Postgrado en Edafología del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo para su análisis. Las partes seleccionadas para este análisis fueron las hojas; se tomó una muestra de cada planta para así generar una muestra compuesta por tratamiento.

Análisis estadístico

Los resultados de altura, diámetro a la base del tallo, la concentración de nutrimentos presentes en el follaje y los diversos índices de calidad, se les realizó un análisis de varianza (ANOVA) y una prueba de comparación de medias (TUKEY). Se utilizó el paquete estadístico SAS en su versión 9.4 para analizar los datos resultantes de este experimento.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Supervivencia de la planta

La planta de fresno presentó un 100% de supervivencia en todos los tratamientos durante el desarrollo del experimento. La cantidad de agua que se aplicó en el riego a esta especie fue mayor en el sistema convencional, donde por el tipo de hoja que desarrolla la planta, provocó que algunas de estas, no recibieran un riego adecuado usando las regaderas.

Esta situación provocó que algunas plantas de los tratamientos fertilizadas convencionalmente presentaran hojas secas y principios de marchitez. Estas características no se presentaron en el sistema por subirrigación. Dumroese, *et al.*, (2007), reportan una mortalidad del 0.4 % en un sistema por subirrigación de *Echinacea pallida* Nutt. (Asteraceae) contra 9% que registró el riego convencional. Estos autores también comentan que esta especie presenta un gran dosel lo que hace que el riego convencional se desvíe y no abastezca adecuadamente a las plantas o bien que las plantas son susceptibles a las pudriciones de la corona exacerbada humedeciendo las coronas de la raíz con el riego convencional. Este experimento no generó diferencias significativas en la supervivencia entre tratamientos, sin embargo, los daños físicos que presentaron los tratamientos bajo el riego convencional hacen tomar al riego por subirrigación como una opción efectiva para la producción de especies de dosel abundante.

Diámetro

Los valores mayores del diámetro a la base del cuello se presentaron en los tratamientos que usaron la fertilización por subirrigación, estos valores no representaron diferencias significativas al emplear aserrín o turba bajo este sistema. Sin embargo, al comparar los valores de los tratamientos fertilizados con el sistema convencional, el análisis de varianza reportó una diferencia estadística significativa ($\alpha= 0.05$).

Comparando los tratamientos por mezcla y por solución nutritiva, el sustrato de turba generó diferencias entre el tipo de fertilización; Peters un 48%, FRS un 39% y Cooper 38% mayor empleando el sistema por subirrigación contra el sistema convencional. Por el lado del aserrín; Cooper un 68%, Peters un 62% y FRS un 40% mayor en todos los casos al usar la fertilización por subirrigación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Medias de las variables estudiadas de fresno ($\alpha=0.05$).

TRATAMIENTO	DIÁMETRO		ALTURA		IR		ICD		RE BSA/BSR						
	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS	Media	DS					
Sus1CCon	1.893	± 0.425	E	8.433	± 1.747	F	4.619	± 1.259	D	0.019	± 0.012	F	0.984	± 0.717	F
Sus1CSub	5.990	± 0.726	BA	33.490	± 3.972	B	5.653	± 0.836	CBD	0.355	± 0.112	A	1.886	± 0.294	BDEC
Sus1FCon	3.300	± 0.531	D	19.353	± 2.796	E	5.930	± 0.750	CB	0.082	± 0.028	ED	1.275	± 0.153	FE
Sus1FSub	5.508	± 0.823	BC	33.657	± 4.385	B	6.260	± 1.411	B	0.293	± 0.085	BA	2.472	± 0.628	BA
Sus1PCon	1.928	± 0.292	E	9.880	± 2.028	F	5.140	± 0.785	CD	0.030	± 0.016	EF	2.824	± 2.433	A
Sus1PSub	5.042	± 0.713	C	30.863	± 4.133	CB	6.176	± 0.777	B	0.227	± 0.061	C	1.615	± 0.469	FDEC
Sus2CCon	3.595	± 0.780	D	28.787	± 6.472	C	8.113	± 1.339	A	0.110	± 0.057	D	2.022	± 0.595	BDEC
Sus2CSub	5.834	± 0.686	BA	43.080	± 5.178	A	7.460	± 1.117	A	0.328	± 0.098	BA	2.815	± 0.555	A
Sus2FCon	3.455	± 1.083	D	26.827	± 7.993	CD	8.059	± 2.292	A	0.118	± 0.071	D	2.180	± 0.765	BDAC
Sus2FSub	5.668	± 0.646	BA	42.703	± 5.617	A	7.575	± 0.935	A	0.333	± 0.077	BA	2.320	± 0.666	BAC
Sus2PCon	3.225	± 0.635	D	23.687	± 3.932	D	7.458	± 1.161	A	0.085	± 0.038	ED	1.503	± 0.219	FDE
Sus2PSub	6.219	± 0.606	A	45.877	± 5.200	A	7.445	± 1.095	A	0.379	± 0.088	A	1.927	± 0.772	BDEC

Sus1: Mezcla de, aserrín, agrolita y vermiculita; Sus2: Mezcla de turba, agrolita y vermiculita; C: Solución Cooper; F: Solución FRS; P: Solución Peters; Con: Sistema convencional; Sub: Sistema por subirrigación; IR: Índice de robustez; ICD: Índice de Dickson; RE BSA/BSR: Relación biomasa seca aérea contra biomasa seca de raíz; DS: Desviación estándar.

Letras diferentes reflejan diferencias estadísticas.

Los datos registrados de las distintas soluciones nutritivas, muestran que el uso de éstas no generó diferencias significativas. Las diferencias significativas fueron generadas al emplear el sistema de subirrigación en la fertilización. Lo que cabe resaltar, que independiente del sustrato utilizado, las tallas del diámetro de las plantas de fresno, lograron superar los 5 mm al usar la técnica de subirrigación (Figura 1).

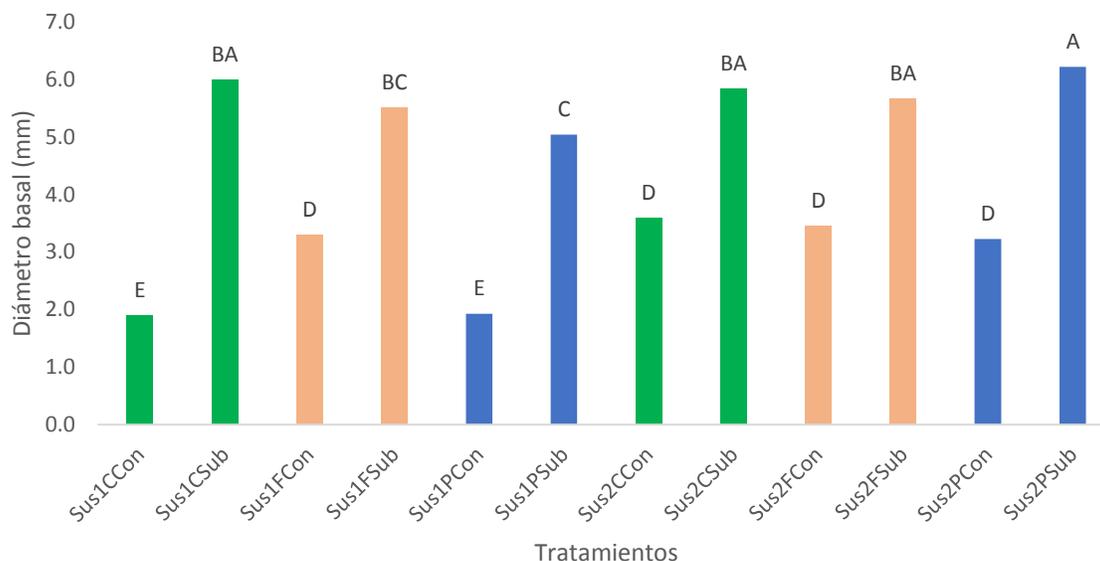


Figura 1. Comportamiento del diámetro basal de fresno en los tratamientos aplicados.

Sus1: Mezcla de, aserrín, agrolita y vermiculita; Sus2: Mezcla de turba, agrolita y vermiculita; C: Solución Cooper; F: Solución FRS; P: Solución Peters; Con: Sistema convencional; Sub: Sistema por subirrigación. Letras diferentes reflejan diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

De acuerdo a CONAFOR (2009) los 5 mm registrados por los tratamientos del sistema por subirrigación, se encuentra en lo recomendable para ser considerados como una planta de calidad. Los tratamientos del sistema convencional de fertilización se encontraron por debajo de lo recomendado donde los valores más bajos fueron reportados por los que usaron la mezcla de aserrín.

Santiago *et al.*, (2007) y Rueda *et al.*, (2012) consideran valores medios en términos de planta de calidad entre 2.5 y 3.9. Retomando estos valores, los tratamientos Sus2CCon, Sus2FCon, Sus1FCon y Sus2PCon se colocarían en un término medio en cuanto a una planta de calidad. El diámetro es una de las características más importantes pues se asocia con vigor y el éxito de una plantación. Prieto *et al.*, (2003 y 2009), comentan que plantas con un diámetro mayor a 5 mm son más resistentes a daños físicos y son más tolerantes a ataques de plagas. Mexal y Landis, (1990), reportan que en plantas de diámetros entre 5 y 6 mm existe una mayor supervivencia en campo, con alrededor de 20% de mortandad en las plantas trasplantadas.

Algunos autores, como Landis y Wilkinson (2004) que, en experimentos realizados a especies de hoja ancha, comentan que el sistema de fertilización que presentó mejores resultados fue el que se hizo por medio de contenedores, pues por ese método, la absorción de agua es más uniforme comparada con la fertilización por aspersión, en donde existe un desperdicio mayor de la solución nutritiva como consecuencia del efecto “paraguas” que provocan las hojas de las plantas contiguas (Morvant *et al.*, 2001).

Es estudios con *Quercus rubra* L. (Dumroese, *et al.*, 2007), *Picea pungens* Engelm. (Landis, *et al.*, 2006) los autores reportaron valores similares cuando se comparó el riego por subirrigación contra el convencional. Por otro lado, Pinto, *et al.*, (2008) en estudios de *Echinacea pallida* Nutt registraron un aumento en la biomasa de las plantas cuando se aplicó un riego por subirrigación. De igual manera, Bumgarner, *et al.*, (2008), en un estudio con *Q. rubra*, registraron diferencias en el aumento de biomasa cuando se usó el riego por subirrigación.

Altura

La altura de fresno fue mayor en los tratamientos que fueron fertilizados sobre el sistema por subirrigación, donde los que emplearon la turba en su sustrato, fueron diferentes estadísticamente a los que usaron aserrín. Los tratamientos del sistema por subirrigación con aserrín no fueron diferentes a los tratamientos del sistema convencional con turba; cuando los primeros se compararon con los de aserrín del sistema convencional, si se reportó una diferencia estadística ($\alpha=0.05$).

Al comparar las diferentes soluciones nutritivas empleando las mezclas de sustratos, los tratamientos que emplearon la fertilización por subirrigación y turba, fueron mayores en 48% con la solución Peters, 37% con FRS y 33% en Cooper. Estos valores representaron una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) con su similar del sistema convencional (Cuadro 2). Usando aserrín estas diferencias aumentaron considerablemente, usando Cooper un 75%, Peters 68% y FRS un 42%. Estos valores, también fueron diferentes con su similar de los tratamientos que usaron el sistema convencional. Los resultados del uso del aserrín con el sistema por subirrigación resaltan la importancia del sistema de fertirriego cuando se utiliza aserrín. Estos valores parecen altos, pero es bueno considerar que los tratamientos con aserrín y el sistema convencional, produjeron plantas muy pequeñas en promedio, esta situación no se presentó en los tratamientos que usaron turba, pues en ambos sistemas de fertilización, la altura, alcanzó niveles altos (Figura 2).

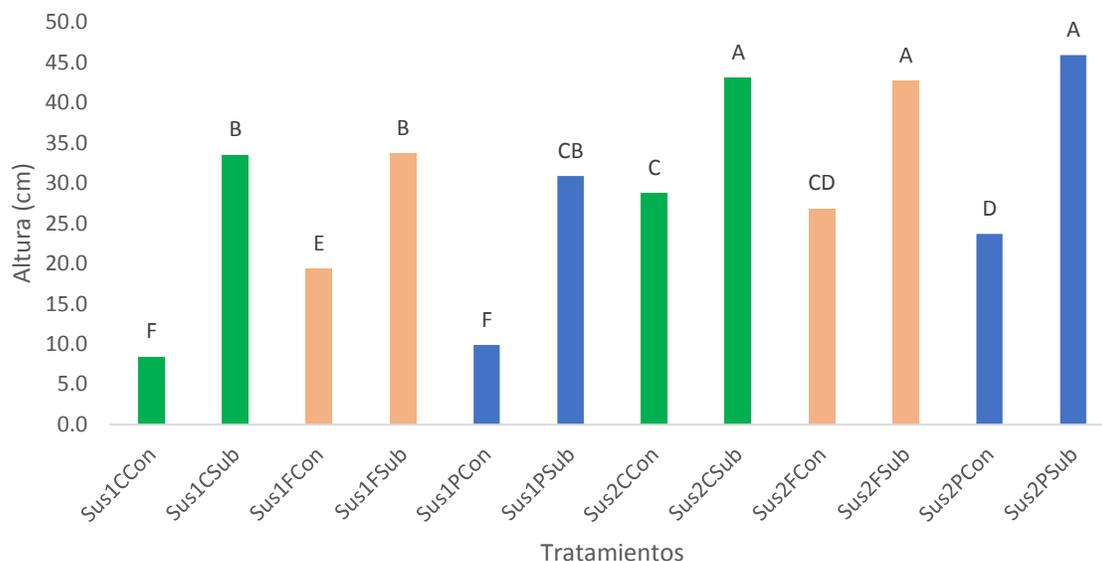


Figura 2..Comportamiento de la altura de fresno en los tratamientos aplicados.

Sus1: Mezcla de, aserrín, agrolita y vermiculita; Sus2: Mezcla de turba, agrolita y vermiculita; C: Solución Cooper; F: Solución FRS; P: Solución Peters; Con: Sistema convencional; Sub: Sistema por subirrigación. Letras diferentes reflejan diferencias significativas ($\alpha=0.05$).

A excepción de Sus1FCon, Sus1PCon y Sus1CCon, los tratamientos restantes superaron la barrera de los 20 cm de altura que CONAFOR (2010) recomienda para que una planta sea considerada de calidad. Sáenz, *et al.*, (2010 y 2014), recomiendan alturas entre 15 y 20 cm para considerar que esta variable presenta valores adecuados. Esta situación colocó a los dos últimos tratamientos fertilizados por el método convencional combinado con el uso de aserrín en desventaja debido a la escasez de nitrógeno en esta mezcla de sustratos, estos tratamientos cuyas plantas reportaron menos de 10 cm de altura (Figura 3 y 4).



Figura 3. Efecto de la solución nutritiva y sistema de fertirriego en la altura de plantas de fresno con el sustrato 1 (agrolita, aserrín y vermiculita).

Para cada solución nutritiva, la planta del lado izquierdo fue fertilizada convencionalmente y la del lado derecho, se fertilizó por subirrigación.



Figura 4. Efecto de la solución nutritiva y sistema de fertirriego en la altura de plantas de fresno con Sustrato 2 (agrolita, turba y vermiculita).

Para cada solución nutritiva, la planta del lado izquierdo fue fertilizada convencionalmente y la del lado derecho, se fertilizó por subirrigación.

En estudios con lechuga (*Lactuca sativa*) y tomate (*Lycopersicon esculentum*) las plantas con riego por subirrigación presentaron una altura mayor en comparación con la del riego convencional mientras que las plantas de tomate desarrollaron una mayor área foliar (Ahmed *et al.*, 2000). Si bien estas especies no presentan las mismas características que el feno, presentan un amplio dosel en su desarrollo. Estos reportes apoyan a lo registrado en el presente experimento, en cuanto a que la subirrigación brindó mejores condiciones de crecimiento que el método de fertirriego convencional. Caron *et al.*, 2001, reportan que el mayor crecimiento en altura de ligustro (*Ligustrum* sp. L.) y viburnum (*Viburnum* L.), fue presentado por las plantas que se desarrollaron sobre un sustrato compuesto en un 60% de turba, pues las propiedades absorbentes y de retención de agua propias del sustrato son las mejores para usarse junto a la fertilización por subirrigación.

Estudios como los de Davis *et al.*, (2008 y 2011), quienes fertilizaron y compararon el sistema de subirrigación contra el de aspersion en *Quercus rubra* y *Acacia koa*, respectivamente, no encontraron diferencias significativas en altura, destacando el hecho de que, al usar un contenedor mayor, la talla de las plantas tiende a ser mayor. Pinto *et al.*, (2008) realizaron las mismas comparaciones de crecimiento en dos sistemas de riego empleando una planta herbácea *Echinacea pallida* (Asteraceae), donde se registró un aumento de biomasa en plantas con riego por subirrigación, generando así mayores tallas en altura y diámetro. Un estudio de Bumgarner *et al.*, (2008), con *Q. rubra*, indica el mismo comportamiento de aumento de biomasa en las plantas con riego por subirrigación.

Los valores de pH en las soluciones nutritivas de este experimento se mantuvieron entre 5.8 y 6, valores que proporcionan una mejor absorción de los nutrientes disponibles por parte de las raíces. Sánchez -Córdoba *et al.*, 2008 comentan que el pH debe de encontrarse entre 4.2 y 4.7 en especies forestales norteamericanas, mientras que Ansorena (1994) suben un poco estos valores a 5.2 y 6.3. Comparando estos resultados con los registrados en el experimento, el pH se mantuvo en un nivel óptimo para la nutrición de las plantas de todo el experimento.

De acuerdo con lo anterior, se deduce que el proceso de capilaridad y las propiedades propias del sustrato compuesto de turba, son convenientes para el desarrollo de plantas por el sistema de riego por subirrigación. Este sistema de riego no generó pudrición ni aparición de hongos en la parte subterránea de las plantas, aún con el alto contenido de humedad que llegó a presentar el sustrato; únicamente algunas raíces sobresalieron del fondo del tubete de plástico, pero sin presentar

daños físicos. Un problema potencial en los sistemas de subirrigación es la acumulación de sales de fertilizantes en medios resultantes del uso repetido de agua reciclada (Klock-Moore y Broschat, 2001). La acumulación de sales puede afectar a las plantas de muchas maneras, incluyendo la permeabilidad del suelo (para este caso, sustrato), la disponibilidad de agua, nutrimentos y la toxicidad directa de los iones (Landis *et al.*, 1989^a; Jacobs y Timmer, 2005). Este problema se evitó en este experimento, debido a que el agua de la solución nutritiva por efecto de absorción de la planta y evaporación por las altas temperaturas que registró el invernadero (una máxima de 45°C), se obligó a realizar el cambio de la solución nutritiva cada décimo día de uso, lo que ayudó a que las plantas no presentaran daños visibles y los resultados reflejaran lo ocurrido dentro del experimento.

Los resultados también comprueban las bondades del aserrín en la producción de planta de buena calidad. Las plantas que se desarrollaron bajo la mezcla con aserrín, no tuvieron indicios visuales de enfermedades y pudrición, aunque las plantas fertilizadas de manera convencional, presentaron enanismo, a consecuencia de que los microorganismos que descomponen la materia orgánica, en este caso el aserrín, ocuparon este elemento y generaron una disminución por inmovilización de nutrimentos (Landis *et al.*, 1990), con la consecuente reducción del crecimiento de las plantas. Caso contrario ocurrió en las plantas que se desarrollaron en la mezcla con aserrín y el riego por subirrigación las cuales presentaron una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) en altura respecto a las tratadas de manera convencional.

Concentración y contenido nutrimental en follaje

Posterior al análisis de varianza y pruebas de Tukey, donde la concentración de los macronutrimentos (N, P, K y Mg) y micronutrimentos (Fe y Cu) mostraron algunas diferencias significativas ($\alpha=0.05$) (Cuadro 3) se realizó un análisis de vectores (Timmer y Stone, 1978). Este análisis es una técnica específica para especies forestales que ha sido utilizada en la interpretación de análisis vegetal especialmente en el medio científico. Las gráficas correspondientes a estos análisis se muestran en las siguientes figuras. Se emplearon los valores de cada nutrimento y el peso seco de 10 hojas de una muestra por cada tratamiento.

Cuadro 3. Pruebas de Tukey para las concentraciones nutrimentales en follaje de fresno ($\alpha=0.05$)

TRATAMIENTO	NITRÓGENO*			FÓSFORO			POTASIO		
	Media	DS		Media	DS		Media	DS	
Sus1CCon	1.683	± 0.078	CB	889.060	± 72.467	F	13898.300	± 1981.670	DC
Sus1CSub	1.995	± 0.303	A	3342.197	± 1659.229	C	14143.833	± 968.625	BC
Sus1FCon	1.097	± 0.369	D	2224.270	± 632.252	ED	13543.367	± 2422.429	DC
Sus1FSub	2.112	± 0.017	A	5485.287	± 578.446	A	12972.967	± 361.361	DE
Sus1PCon	1.190	± 0.403	D	1578.827	± 370.609	EF	11757.933	± 1885.593	F
Sus1PSub	1.645	± 0.484	CB	5413.173	± 443.970	A	11817.233	± 293.884	FE
Sus2CCon	1.447	± 0.089	C	1802.960	± 31.768	E	10879.433	± 698.488	FG
Sus2CSub	1.552	± 0.275	CB	5578.230	± 1298.213	A	16088.200	± 699.883	A
Sus2FCon	1.493	± 0.117	CB	3391.680	± 328.554	C	9323.053	± 518.417	H
Sus2FSub	1.715	± 0.219	B	5961.027	± 1441.061	A	15209.467	± 1543.845	BA
Sus2PCon	1.622	± 0.121	CB	2634.310	± 448.761	D	9911.707	± 1925.696	HG
Sus2PSub	1.645	± 0.526	CB	4448.103	± 192.684	B	10908.557	± 770.566	FG

TRATAMIENTO	MAGNESIO			HIERRO			COBRE		
	Media	DS		Media	DS		Media	DS	
Sus1CCon	2520.693	± 478.678	FE	87.979	± 34.554	A	2.646	± 0.595	CD
Sus1CSub	3113.810	± 318.291	CB	45.838	± 4.506	EF	0.639	± 0.079	D
Sus1FCon	2640.670	± 180.859	FE	69.695	± 21.453	BDC	16.057	± 9.519	A
Sus1FSub	3884.863	± 192.122	A	49.994	± 5.674	EF	4.495	± 3.776	CB
Sus1PCon	3160.323	± 304.177	B	53.602	± 15.580	EDF	6.312	± 5.398	B
Sus1PSub	2723.773	± 123.372	FE	75.759	± 19.645	BAC	6.620	± 6.306	B
Sus2CCon	2563.650	± 202.084	FE	59.845	± 27.189	EDC	0.451	± 0.142	D
Sus2CSub	2995.553	± 702.342	CBD	67.379	± 20.275	DC	0.667	± 0.487	D
Sus2FCon	2637.893	± 46.465	FE	39.142	± 10.004	F	0.698	± 0.422	D
Sus2FSub	3292.413	± 633.727	B	56.220	± 10.045	ED	0.311	± 0.219	D
Sus2PCon	2815.227	± 629.045	ED	57.625	± 17.831	ED	1.789	± 0.773	CD
Sus2PSub	2317.803	± 85.946	F	85.313	± 21.537	BA	1.179	± 0.317	D

TRATAMIENTO	PESO SECO (10 HOJAS)		
	Media	DS	
Sus1CCon	0.105	± 0.029	G
Sus1CSub	1.751	± 0.171	CB
Sus1FCon	0.699	± 0.041	F
Sus1FSub	2.009	± 0.141	A
Sus1PCon	0.184	± 0.012	G
Sus1PSub	1.702	± 0.070	C
Sus2CCon	1.142	± 0.191	E
Sus2CSub	1.717	± 0.213	CB
Sus2FCon	1.488	± 0.124	D
Sus2FSub	1.658	± 0.030	C
Sus2PCon	0.752	± 0.126	F
Sus2PSub	1.813	± 0.130	B

Sus1: Mezcla de, aserrín, agrolita y vermiculita; Sus2: Mezcla de turba, agrolita y vermiculita; C: Solución Cooper; F: Solución FRS; P: Solución Peters; Con: Sistema convencional; Sub: Sistema por subirrigación; Desviación estándar.

Letras diferentes reflejan diferencias estadísticas entre tratamientos. * Se reportó en %, los demás nutrimentos fueron reportados en ppm

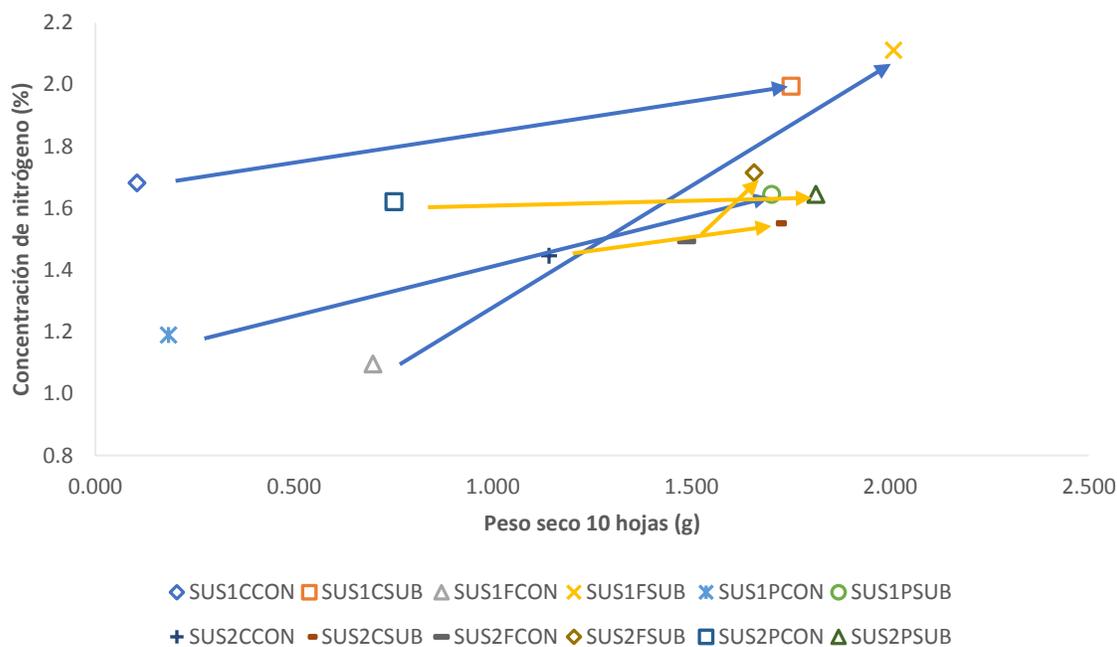


Figura 5. Comportamiento de la concentración de N presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutritivas.

Sus1: Mezcla de, aserrín, agrolita y vermiculita; Sus2: Mezcla de turba, agrolita y vermiculita; C: Solución Cooper; F: Solución FRS; P: Solución Peters; Con: Sistema convencional; Sub: Sistema por subirrigación

La Figura 5 muestra que el uso del sistema de subirrigación, invariablemente produjo las mayores biomásas (peso seco de 10 hojas) y, con excepción del caso en que se utilizó el sustrato 2 con la solución Peters (Sus2P), el sistema de subirrigación siempre mejoró las concentraciones de n en el follaje. Esto significa que el sistema de subirrigación promovió la disponibilidad de este nutriente para la planta.

Independientemente del tipo de mezcla de sustratos, el usar la subirrigación generó un aumento considerable en la concentración de nitrógeno (N). Usando la mezcla de aserrín, hubo aumentos del 15.66% al utilizar la solución nutritiva Cooper, 27.66% con Peters y 45.08% con FRS. Cuando se usó la mezcla de turba, las diferencias fueron menores comparadas con las del primer sustrato, hubo un aumento del 1.42% con Peters, 6.77% con Cooper y 12.93% en FRS (Cuadro 3). Esto significa que el sistema de subirrigación tiene mayores efectos positivos cuando se utiliza aserrín en la mezcla de sustrato que cuando se usa turba.

La mayor concentración de nitrógeno, la registró la registraron los tratamientos Sus1FSub y Sus1CSub, estos tratamientos emplearon el sustrato con aserrín y fueron fertilizadas por el método por subirrigación. Los peores valores registrados fueron los de los tratamientos Sus1PCon y Sus1FCon. Los valores si reflejaron una diferencia significativa ($\alpha=0.05$).

Estos datos concuerdan con los de Dumroese, *et al.*, (2011) quienes detectaron una mayor concentración de nitrógeno foliar en las plántulas regadas por subirrigación. De la misma forma Pinto, *et al.*, (2008) reportaron mejores valores en las plantas bajo este sistema de riego. Además de incrementar la disponibilidad de nutrimentos, el sistema de subirrigación reduce el uso de agua para el cultivo y evita lixiviación de nutrimentos por ser un sistema cerrado (Bumgarner, *et al.*, 2008 y Davis *et al.*, 2008).

Landis (1989), recomienda que, para especies forestales de zonas templadas, valores entre 1.4% y 2 % de nitrógeno pueden considerarse óptimos. De acuerdo con este rango, los tratamientos Sus1PCon y Sus1FCon, probablemente presentan deficiencia de este elemento. Sáenz, *et al.*, 2010, comenta un rango alto de nitrógeno entre 1.3% y 3 % y un rango medio entre 1% y 1.3%, es posible situar a los tratamientos antes mencionados, en una categoría media de este nutrimento, considerando el hecho de la actividad microbiana en la mezcla con aserrín consume una gran cantidad de nitrógeno, esta situación provocó que los menores valores fueran los reportados por los tratamientos que usaron esa mezcla, si bien el uso del riego por subirrigación, situó a los tratamientos de aserrín, dentro de los rangos óptimos en altura, al considerar la aplicación de una mayor concentración de nitrógeno, posiblemente, las tallas de los tratamientos pudieran registrar un valor más alto.

Cekstere, *et al.*, (2016) en un estudio de *Fraxinus excelsior* obtuvo las concentraciones de nitrógeno con valores medios de 2.46%. Selahvarzi y Hosseini (2012) en otro estudio con la misma especie, registraron un valor de 1.82% de este nutrimento. Comparando los valores del primer autor, ningún tratamiento se encuentra en las concentraciones adecuadas; retomando el segundo autor, solo los tratamientos que usaron la mezcla de aserrín y subirrigación, alcanzaron la concentración adecuada de nitrógeno.

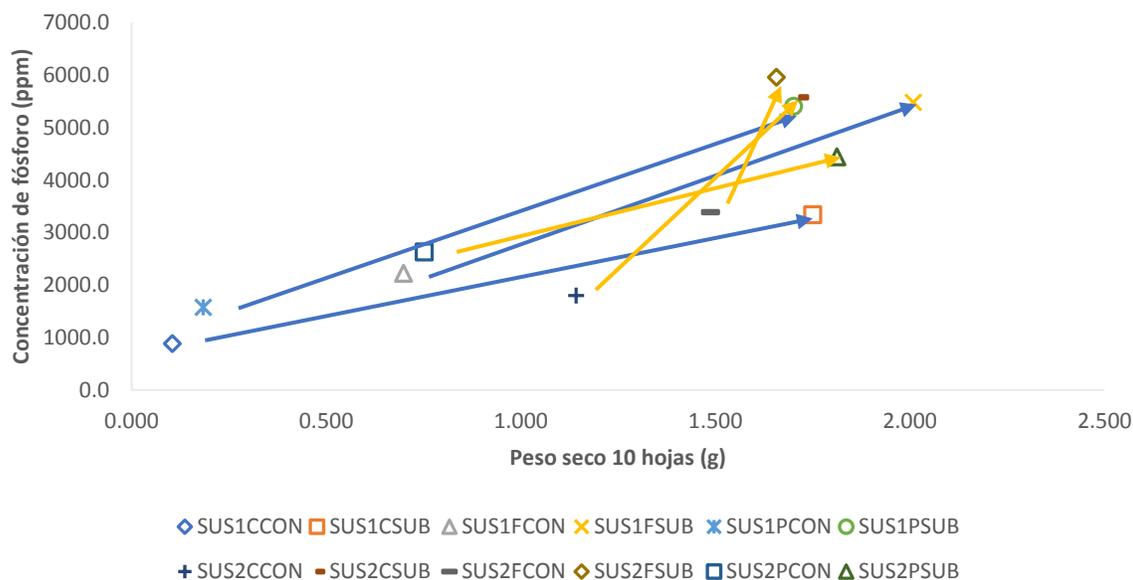


Figura 6. Comportamiento de la concentración de P presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutritivas.

Sus1: Mezcla de, aserrín, agrolita y vermiculita; Sus2: Mezcla de turba, agrolita y vermiculita; C: Solución Cooper; F: Solución FRS; P: Solución Peters; Con: Sistema convencional; Sub: Sistema por subirrigación

Las concentraciones de fósforo (P) en las hojas de fresno de este experimento fueron muy elevadas comparadas a las registradas por Cekstere, *et al.*, (2016) y Selahvarzi y Hosseini (2012). Estos autores registraron valores de 0.16% y 0.145%, respectivamente. Los tratamientos que usaron la subirrigación registraron niveles muy altos, tanto los que usaron la mezcla de aserrín o de turba. Únicamente el tratamiento Sus1PCon reportó un nivel óptimo de este nutrimento (Cuadro 3).

Hubo aumentos notables cuando se fertilizó por subirrigación; en la solución nutritiva FRS el aumento fue de 59.45%, en Peters 70.83% y en Cooper 73.4% al usar aserrín. Usando turba los aumentos fueron del 40.48% en Peters, 43.10% en FRS y 67.68% en Cooper (Figura 6).

El hecho de que las concentraciones foliares de P se hayan elevado al utilizar aserrín o turba con subirrigación, significa que el sistema de subirrigación mejoro la disponibilidad de P y que, además algún factor, diferente al P limitó el crecimiento de las plantas (López y Alvarado, 2010). Tal factor tampoco fue N puesto que la concentración de este nutrimento en el follaje también se elevó al utilizar la subirrigación. Muy probablemente el potasio fue un nutrimento limitante del

crecimiento, puesto que la mayoría de tratamientos presentan concentraciones de K cercanas o incluso inferiores a la crítica.

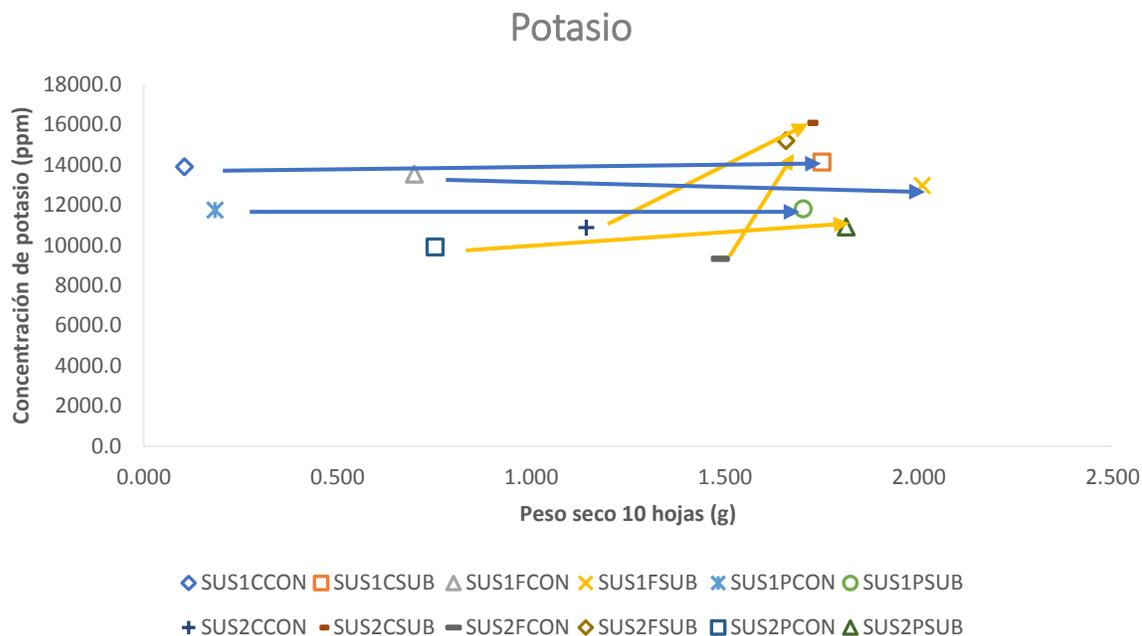


Figura 7. Comportamiento de la concentración de K presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutritivas.

Sus1: Mezcla de, aserrín, agrolita y vermiculita; Sus2: Mezcla de turba, agrolita y vermiculita; C: Solución Cooper; F: Solución FRS; P: Solución Peters; Con: Sistema convencional; Sub: Sistema por subirrigación

La concentración de potasio (K) en fresno, fue mayor y sin diferencias significativas en los tratamientos que emplearon el riego por subirrigación. Tanto al usar aserrín como turba, la manifestación de este nutriente se decantó a los tratamientos sin riego convencional.

Hubo una disminución de la concentración de este elemento del 4.4% al usar la fertilización por subirrigación en la solución nutritiva FRS, un aumento de 0.5% con Cooper y 1.74% en Peters, esto al usar la mezcla de aserrín. Estos aumentos fueron mayores al emplear la mezcla de turba, un 9.14% con Peters, 32.38% con Cooper y 38.7% con la solución FRS (Figura 7). Este comportamiento indica que el riego por subirrigación mejora la disponibilidad de K en sustratos de turba pero es menos eficiente cuando se utiliza aserrín como sustrato principal.

De acuerdo con Buendía, *et al.*, (2017), K es un nutrimento fácilmente lixiviable de los sustratos orgánicos, especialmente del aserrín. Este hecho puede haber determinado la limitada disponibilidad de este nutrimento para las plantas en el presente estudio.

Čekstere, *et al.*, (2016) y Selahvarzi y Hosseini (2012), reportan valores óptimos de K de 1.07% y 1.45%, respectivamente. Con estos valores es posible comentar que algunos tratamientos se encuentran en los rangos óptimos, algunos por encima de estos (Sus2CSub y Sus2FSub) y otros por debajo (Sus2PCon y Sus2FCon).

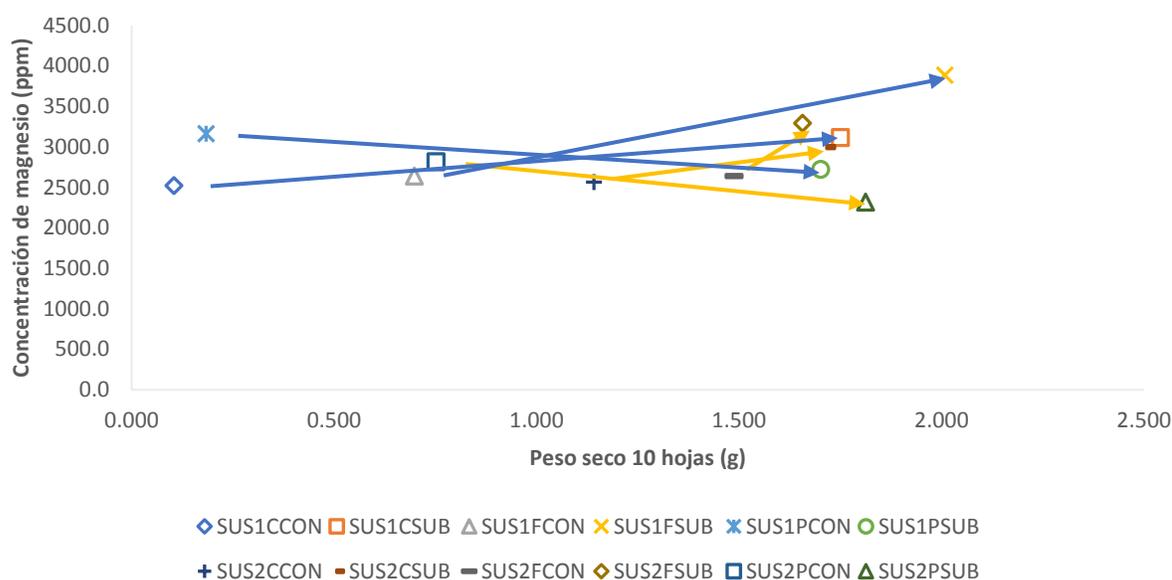


Figura 8. Comportamiento de la concentración de Mg presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutrimentales.

Sus1: Mezcla de, aserrín, agrolita y vermiculita; Sus2: Mezcla de turba, agrolita y vermiculita; C: Solución Cooper; F: Solución FRS; P: Solución Peters; Con: Sistema convencional; Sub: Sistema por subirrigación

La concentración de magnesio (Mg) fue mayor en los tratamientos que usaron el riego por subirrigación y turba, sin embargo, hubo dos tratamientos (Sus1PCon y Sus2PCon) que registraron concentraciones altas de este nutrimento al emplear aserrín.

Los cambios de concentración al usar el riego por subirrigación van del -16.03 de Peters, 19.05% de Cooper y 32.03% en FRS, todos ellos al usar aserrín. Usando turba, estos se manifestaron con un aumento del 14.42% en Cooper, 19.88% en FRS y una disminución del -21.46% (Figura 8). Es de tomar en cuenta, la disminución de la concentración de este nutrimento al emplear la solución nutritiva Peters, que independientemente de la mezcla de sustrato utilizada, reporto valores negativos (Figura 9). La disminución de la concentración de Mg tuvo su origen en un efecto de dilución de este nutrimento al utilizar subirrigación, lo cual indica que probablemente este sistema mejoró la condición de algún factor del crecimiento, diferente al Mg (López y Alvarado, 2010).

Selahvarzi y Hosseini (2012) reportan un requerimiento de Mg por parte de Fraxinus de 0.18%, mientras que Cekstere, et al., (2016) lo reportan como 0.8%. Estos valores son muy diferentes, pero es probable que el correcto sea el de 0.18%. Si así fuese, entonces cualquiera de los sustratos y sistemas de abasto nutrimental propició concentraciones de Mg superiores a las requeridas.

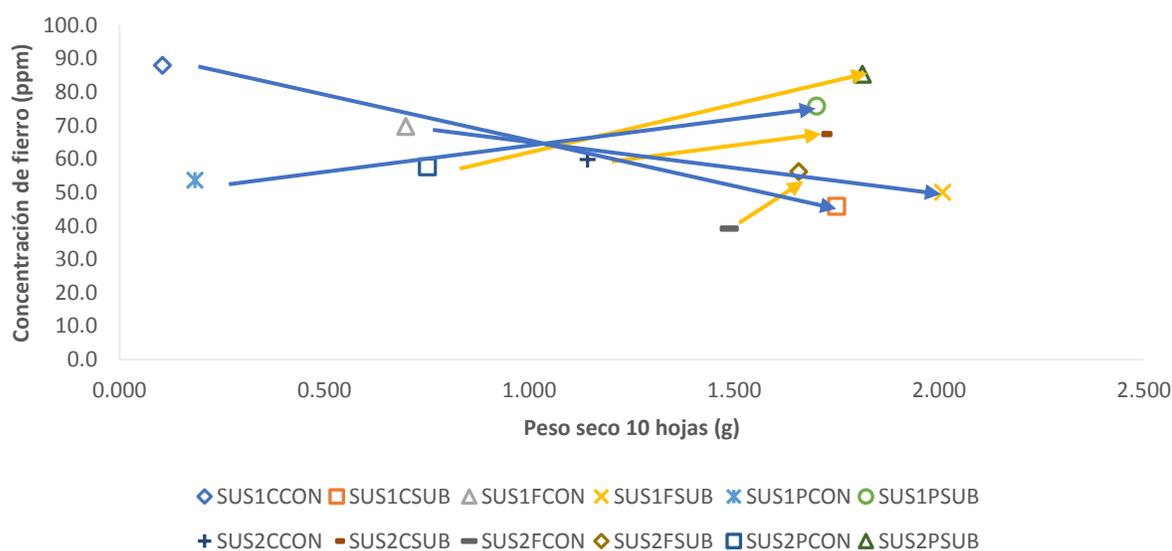


Figura 9. Comportamiento de la concentración de Fe presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutritivas.

Sus1: Mezcla de, aserrín, agrolita y vermiculita; Sus2: Mezcla de turba, agrolita y vermiculita; C: Solución Cooper; F: Solución FRS; P: Solución Peters; Con: Sistema convencional; Sub: Sistema por subirrigación

La concentración de Hierro (Fe) en fresno, fue mayor en tratamientos con riego convencional como en riego por subirrigación. Se observó una gran disminución al

emplear el riego por subirrigación en la solución FRS con -39.41% y en Cooper del 91.93%, caso contrario en la solución Peters, que registró un aumento del 29.25% de la concentración de Fe (Figura 9).

Empleando la turba y el riego por subirrigación, en la solución Cooper, aumento 11.18%, en FRS 30.38% y 32.45% con Peters.

De acuerdo a Cekstere, et al., (2016) el valor óptimo de Fe en fresno es de 0.0117 %, este valor no se alcanzó en ningún tratamiento, donde el tratamiento Sus1CCon fue el que reportó la mayor concentración de este nutrimento. El uso de la subirrigación propició la disminución de este elemento en la mezcla de aserrín, sin presentarse diferencias significativas entre los tratamientos.

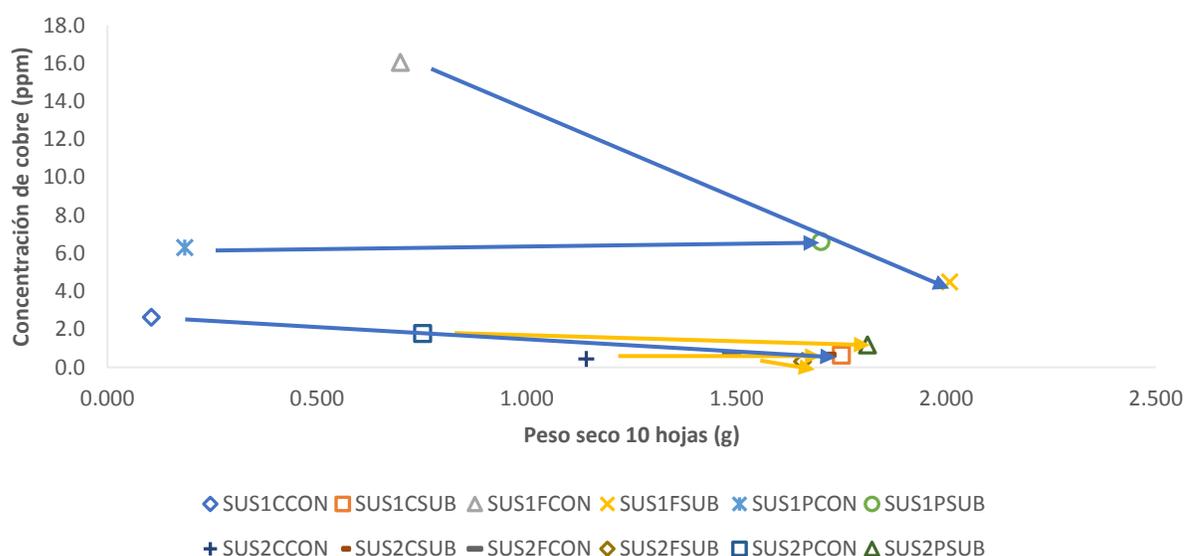


Figura 10. Comportamiento de la concentración de Cu presente en follaje de fresno, bajo dos mezclas de sustratos, dos sistemas de abasto nutrimental y tres soluciones nutrimentales.

Sus1: Mezcla de, aserrín, agrolita y vermiculita; Sus2: Mezcla de turba, agrolita y vermiculita; C: Solución Cooper; F: Solución FRS; P: Solución Peters; Con: Sistema convencional; Sub: Sistema por subirrigación

La concentración de cobre (Cu) fue alta en tratamientos de fertilización convencional y por subirrigación, donde la mayor concentración la registró el tratamiento Sus1FCon.

Comparando el sistema convencional y el de riego por subirrigación, al emplear el aserrín, en la solución nutritiva Cooper hubo una disminución del 314.35%, una

diferencia negativa de 257.25% al usar FRS y un pequeño aumento de 4.66% con Peters. Este comportamiento se generó también al usar turba, con una disminución en la concentración del 124.20% con la solución FRS, una disminución del 51.81% con Peters y un aumento del 32.33 al usar Cooper. No hubo una tendencia clara, sobre qué tipo de sustrato, solución nutritiva y sistema de riego propició la mayor concentración de Cu (Figura 10).

La concentración fue muy baja o muy alta si se compara con lo reportado por Cekstere, et al., (2016) que comentan que el valor óptimo medio de este nutriente debe situarse en 2.26. El uso de la subirrigación propició la disminución de este nutriente en menor cantidad que la que se generó al usar el riego convencional. Esta situación requiere a futuro atención pues el lixiviado de este elemento se dio al usar esta técnica.

Las concentraciones en general, fueron mayores a las recomendadas, lo que demuestra que el abasto nutricional de las soluciones nutritivas fue mayor al requerido por la especie de fresno. La técnica de la subirrigación es una técnica que dotó de mayores condiciones y retención de nutrientes. Faltaría hacer comparación de valores críticos reportados usando la misma técnica de fertilización.

De cualquier manera, en todos los nutrientes estudiados (excepto nitrógeno), el sistema de subirrigación propició un mejor aprovechamiento de los nutrientes por parte de la planta, cuando se utilizó como sustrato el aserrín. La turba, en todos los casos, ayudó a una mayor absorción de los nutrientes. De acuerdo con estos resultados, el abatimiento de los costos de producción de planta de fresno puede lograrse utilizando aserrín como sustrato básico y, especialmente si se adopta un sistema de riego por subirrigación, se puede esperar que se logre una adecuada disponibilidad de nutrientes para la planta.

Índices de calidad de planta

Con la intención de evaluar la calidad de la planta producida en este experimento, se emplearon algunos índices de calidad.

El índice de robustez (IR), que refleja la relación entre la altura (cm) y el diámetro del cuello de la raíz (mm) donde el valor recomendado para plantas que se pueden desarrollar en climas secos es seis, lo que indica resistencia a la desecación por

viento y de buena supervivencia, un valor pequeño se asocia a arboles de porte bajo y tallo grueso, aptos para sitios con limitaciones de humedad (Rodríguez, 2008) en general valores bajos son asociados a una mejor calidad de la planta, lo que se traduce a una planta más robusta y con tallo vigoroso, por el lado de valores altos, estos reflejan desproporción entre el crecimiento en altura y diámetro (Prieto *et al.*, 2003 y Prieto *et al.*, 2009).

El presente experimento reporto valores de IR en su mayoría más altos de los recomendados, sin embargo, algunos tratamientos que usaron el aserrín junto al riego por subirrigación, se sitúan muy cercanos al valor “seis” que recomiendan los pasados autores. Los valores más altos registrados fueron los pertenecientes a tratamientos que usaron la turba y se repartió el uso del riego convencional con el de subirrigación. Este comportamiento representó una diferencia significativa ($\alpha=0.05$) donde los valores más bajos fueron de los tratamientos Sus1PCon y Sus1Con (Cuadro 2).

El índice de Dickson (ICD), este índice permite evaluar mejor las diferencias morfológicas entre plantas de una muestra y predecir su comportamiento en campo (Dickson *et al.* 1960), Fonseca *et al.*, (2002) argumentó que este es el mejor parámetro para indicar la calidad de una planta, puesto que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez. Un ejemplo de un ICD en una especie de latifoliada es el de *Hibiscus elatus*, donde se reportan valores entre 0.01 y 0.09 a 0.3, donde se utilizó un sustrato conformado por 30% tuba, 30% humus de lombriz, 20% estiércol de caballo y 25% de composta (Cobas *et al.*, 2001), para el género *Eucalyptus*, observó una relación directa entre la supervivencia y el ICD, donde el mayor valor del índice de Dickson correspondían a mejor resultados de la plantación (supervivencia mayor a 86%) (Leyva *et al.*, 2008).

Los valores registrados en este experimento de ICD, fueron mayores a 0.2 en los tratamientos con el riego por subirrigación y menores a este valor, los restantes del riego convencional. Debido a los resultados de altura y diámetro del cuello de la raíz, los tratamientos con el menor ICD fueron los que usaron el sustrato de aserrín en conjunto con el riego convencional.

Los valores resultantes de ICD tienen un mínimo de 0.01 (Sus1CCon) y un máximo de 0.37 (Sus2PSub), según Reyes (2005), CONAFOR (2010) y Sáenz, *et al.*, 2014, valores menores a 0.2 se consideran no deseables para una planta, donde los

tratamientos del sustrato de aserrín, reportan un índice bajo. Los tratamientos restantes que usaron la turba y el riego por subirrigación coinciden con las demás variables estudiadas, donde estos tratamientos reportaron los mejores valores nutrimentales y morfológicos estudiados en el presente experimento.

Por último, se cuenta con la relación biomasa de parte aérea y biomasa del sistema radicular, donde un valor menor o igual a uno, refleja igualdad entre las dos partes, Thompson, 1985, comenta que, para tener una buena relación, este valor debe de situarse entre 1.5 y 2.5, donde mayores valores indican desproporción y reflejan un sistema radical insuficiente para abastecer a la parte aérea de la planta.

Retomando estos valores recomendados, aunados a los registrados por Sáenz, *et al.*, (2010), el único tratamiento cercano a 1, fue Sus1CCon con 0.98., que registro el menor diámetro del cuello de la raíz y altura del experimento. Los restantes tratamientos registraron un valor superior a 1, donde los tratamientos que registró el mayor valor de esta relación biomasa áreas y biomasa del sistema radical, fueron Sus1PCon y Sus2CSub; el primero con el segundo menor diámetro y altura, mientras el otro tratamiento registro el segundo mayor en diámetro y tercera mayor altura del experimento. El tratamiento que registro los mejores valores de altura y diámetro del cuello de raíz, fue Sus2PSub, que registro una relación biomasa área y biomasa del sistema radical, de 1.92.

Los datos de estos índices reflejan lo reportado en el análisis nutrimental y en las variables morfológicas evaluadas, existe así, una congruencia en los datos reportados por los tratamientos que usaron la mezcla de turba. El uso de la subirrigación en el riego propicio diferencias significativas entre los tratamientos estudiados.

CONCLUSIONES

- Se comprobó la hipótesis planteada, pues las mejores plantas de fresno, tanto nutricional como morfológicamente, se producen bajo el sistema por subirrigación.
- El mejor sustrato fue el compuesto por la mezcla de agrolita, turba y vermiculita.
- Al parecer el efecto de los microorganismos en la degradación del aserrín, se presentó en este experimento y generó que los tratamientos bajo este sustrato y un riego convencional, registraran los valores más bajos.
- El uso del riego por subirrigación propicia de mejores condiciones de desarrollo cuando se usa con la mezcla de aserrín. Generando plantas de buena calidad.
- No existe diferencia significativa entre las soluciones nutritivas probadas, lo que coloca a las soluciones Cooper y FRS como posibles alternativas para disminuir costos por insumos, en contraposición con el uso del fertilizante de la marca comercial Peters profesional empleado en la producción forestal

RECOMENDACIONES A FUTURO

- Se considera oportuno, evaluar en futuros proyectos, la cantidad de agua utilizada en cada sistema de fertirriego, lo que podrá generar nuevos datos para que esta técnica sea considerada para la producción forestal del país.

- Hace falta información sobre especies que no son consideradas o explotadas maderablemente, el fresno, es una especie usada en reforestaciones urbanas y no son producidas a mayor escala en el país.
- Los datos reportados en fresno dejan claro que, para especies con hoja ancha, el riego por subirrigación es una alternativa para el desarrollo óptimo en su etapa de vivero, pues no existe una pérdida de fertilizante y ocurre un mejor y homogéneo desarrollo de la planta.
- Ante el creciente uso de fertilizantes de liberación controlada (FLC) se tiene a futuro cercano otra comparativa usando el sistema por subirrigación, datos que ayuden a reafirmar lo reportado en este experimento, agregando nuevas variables serán de gran ayuda para evaluar el uso de la subirrigación en la producción de especies forestales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS CITADAS

Abad, M., P. Noguera and S. Burés. 2001. National inventory of organic wastes for use as growing medio for ornamental potted plant production: Case study in Spain. *Bioresource Technology* 77: 197-200

Ahmed, A.K, Cresswell, G.C, Haigh, A, M. 2000. Comparison of sub-irrigation and overhead irrigation of tomato and lettuce seedlings. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 75:350–354.

Barbado, J. 2005. Hidroponía. Su empresa en cultivos de agua. Editorial Albatros SACI. 1° (Ed.) Buenos Aires. 190 pp.

Benavides, H.M. 1992. Current Situation of The Urban Forest in Mexico City. *J. Arboriculture*, 18(1): 33-36.

Boodley, W.J. 1998. *The Commercial Greenhouse*. 2nd Ed. Del Mar Publisher, Washington, USA. Pp: 146-148

Buendía, M., López M., Cetina, V. & Diakite L. (2016). Substrates and nutriment addition rates affect morphology and physiology of *Pinus leiophylla* seedlings in the nursery state. *iForest: Biogeosciences and Forestry*, 10, pp 115-120.

Bumgarner ML, Salifu KF, Jacobs DF. 2008. Subirrigation of *Quercus rubra* seedlings: nursery stock quality, media chemistry, and early field performance. *HortScience* 43:2179–2185.

Burés, S. 1997. *Sustratos*. Ediciones Agrotécnicas. Madrid, España. 342 p.

Calderón, N., J. Jasso, J. Vargas y A. Gómez. 2006. Estimulación temprana del crecimiento del epicotilo en plántulas de *Pinus montezumae* Lamb. *Ra Ximhai*. 2(003) 849-851.

Calderón, P.N. 1995. Efecto de la salinidad en el crecimiento y absorción nutrimental de plantas micropropagadas de nopal (*Opuntia* sp.). Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo México, 94 p.

Caron, J.; Morel, N., P.; Riviere, M., L. 2001. Aeration in growing media containing large particle size. *Acta Horticulture*. 548: 229-233

Čekstere et al 2016. Proceedings of the Latvian Academy of Sciences, Section B. Vol. 70 (2016) No. 3 (702) pp. 138-149.

Clavijo, J. 2008. Sustratos. Universidad de Almería. Editorial servicio de publicaciones. 215 p.

Cobas, L. M.; Castillo M.I. y González I. E. 2001. Comportamiento de diferentes parámetros morfológicos en la calidad de la planta de *Hibiscus elatus* Sw. cultivada en viveros sobre tubetes en la provincia de Pinar del Río. *Ciencia Tecnología y Medio Ambiente*. Vol. 3. Universidad de Pinar del Río, Pinar del Río 20 100, Cuba. 4 p.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR), 2002. SIRE Paquete tecnológico de *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Ligels. CONAFOR-CONABIO-PRONARE. 2 pp

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2009. Criterios técnicos para la producción de especies forestales de ciclo corto (rápido crecimiento), con fines de restauración. Documento técnico. CONAFOR. Guadalajara, Jal. México. 9 p.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. "Prácticas de reforestación". Manual básico. Primera edición. México. 64 pp.

Davis A.S., Pinto J.R. and Jacobs D.F. 2011. Early field performance of *Acacia Koa* seedling grown under subirrigation and overhead irrigation. *Native Plants Journal* 12(2): 94-99

Davis, A.S, Jacobs, D.F., Overton, R.P., Dumroese, R.K. 2008. Influence of irrigation method and container type on northern red oak seedling growth and media electrical conductivity. *Native Plants Journal* 9(1):4-13.

De Quevedo, M.A. 1935. El origen de la cuestión forestal en México. *México Forestal*, 1(3): 105-116.

Dickson A., Leaf A. L., Hosnerm J.F., 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *For. Chron.*, 36: 10-13

Dumroese RK, Davis AS, Jacobs DF. 2011. Nursery response of *Acacia koa* seedlings to container size, irrigation method, and fertilization rate. *Journal of Plant Nutrition* 34:877–887.

Dumroese, R.K., D.F. Jacobs, A.S. Davis, J.R. Pinto, and T.D. Landis. 2007. An introduction to subirrigation in forest and conservation nurseries and some preliminary results of demonstrations. Natl. Proc. For. Conservation Nursery Assoc. USDA For. Serv. RMRS-P-50: 20-26

Duryea M.L., 1985. Evaluating seedling quality: importance to reforestation. En: Duryea, M.L. (Ed.) 1985. Evaluating seedling quality: principles, procedures, and predictive abilities of major tests. Forest Research Laboratory. Oregon State University. Corvallis.1-4 pp.

Espinosa, P. y L. Espinosa. 2006. Hidroponía rustica. SAGARPA-Colegio de Postgraduados. Sistemas de agronegocios de traspatio. México. 2 p.

FAO, 1999. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Roma. 3-6 p.

Flores, R.S. 2010. Determinación de dosis óptimas de NKP en especies de interés económico y forestal en cultivo hidropónico. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Postgrado en Hidrociencias. 27, 52 pp.

Fritz-Helmut, E. 1991. Forest fertilization-present state and history with special reference South German condition. Fertilizer research 27 (1): 71-86

Grey D. 1991. Eliminate irrigation runoff: Oregon's new plan. The Digger 26:21–23.

Hernández-Zarate I., Aldrete A., Ordaz-Chaparro V.M., López-Upton J. y López-López M.A. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. En vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. Agrocienca 48: 627-637

Jacobs, D.F. and V.R. Timmer. 2005. Fertilizer-induced changes in rhizosphere electrical conductivity: relation to forest tree seedling root system growth and function. New Forest 30: 147-166

Johnson, J.& Cline, M. (1991). Seedling Quality of Southern Pines. In: Duryea, M.L. and Dougherty, P.M., Eds., Forest Regeneration Manual, Klumer Academic, Netherlands, 143-162

Klock-Moore KA, Broschat TK. 2001. Subirrigation, Ebb and Flood Irrigation, Overhead Irrigation, Areca Palm 11 (September) 456-460.

Landis, T. D. 1989. Mineral nutrients and fertilization. In: Landis, T. D., R. W. Tinus, R. E. Mc Donald S. and J. P. Barnett. (eds.). The Container Tree Nursery Manual. USDA, Forest Service. Washington, DC, USA. Vol. 4. Agriculture Handbook Núm. 674. pp. 72-124.

Landis, T.D and Wilkinson K. 2004. Subirrigation: a better option for broad-leaved container nursery crops? In: Dumroese RK, Landis TD, editors. Forest Nursery Notes, Summer 2004. Portland (OR): USDA Forest Service, Pacific Northwest

Region, State and Private Forestry, Cooperative Programs. R6-CP-TP-07-04. p 14–17.

Landis, T.D. 1989a. Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Volumen cuatro, capítulo 1, “Nutrimentos minerales y fertilización”. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Dasonomía Estatal y Privada, Portland, Oregon, E.U.A: PP. 7, 8 y 60.

Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald and J.P. Barnett. 1989. Manual de vivero para la producción de especies forestales en contenedor, Vol. 4 Fertilización y riego. (Trad.) Trejo, D.A.R. Dirección General del Programa Nacional de Reforestación, Méx. 126 p.

Landis, T.D., R.W. Tinus, S.E. McDonald y J.P. Barnett. 1990. Containers and growing media. Vol. 2. The Container Tree Nursery Manual. Agric. Handbook 674. USDA. Forest Service. Washington, DC. EUA. 88 p

Leyva, R. F., Rosell P. R., Ramírez R. A. y Romero R. I. 2008. Manejo de endurecimiento por riego para elevar la calidad de las plantas de Eucalyptus sp. cultivadas en vivero de la Unidad Silvícola Campechuela. Universidad de Granma. Central del Batey. Campechuela. Granma. Cuba. 14 p.

López, L. & Alvarado L. (2010). Interpretación de nanogramas de análisis de vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. Maderas y Bosques 16:99. 108 p

Mañas, P., E. Castro and J. de las Heras. 2009. Quality of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.) seedlings using waste materials as nursery growing media. *New Forests* 37: 295-311

Maroto, J.V. 1990. Elementos de horticultura general. Mundi Prensa. Madrid, 533 p.

Marschner H., E.A. Kirkby and I. Cakmak.1996. Effect of mineral nutritional status on shoot-root partitioning of photoassimilates and cycling of mineral nutrients. *Journal of Experimental Botany* 47:1255-1263

Martínez, L. y A. Chacalo. 1994. Los Árboles de la Ciudad de México. UAM. México D.F.

Martínez, R., M. 2005. Inoculación con hongos comestibles ectomicorrizicos, poda química y sustratos en el mejoramiento de calidad de *Pinus patula* en vivero. Tesis de Maestría. Colegio Postgraduados, Montecillos, México. 83 p.

Mas, J. 2003. Guía práctica para la producción de planta de un vivero. Boletín Técnico Número 5, Volumen 1. Comisión Forestal del Estado. Morelia, Michoacán, México. 37 p.

Mateo S., J. J. 2002. Potencial del aserrín como alimento para rumiantes y sustrato para plantas. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México. 92 p

Mateo-Sánchez, J.; Bonifacio-Vázquez, R.; Pérez-Ríos, S.; Mohedano-Caballero, L. 2011. Producción de (*Cedrela odorata* L.) en sustrato a base de aserrín crudo en sistema tecnificado en Tecpan de Galeana, Guerrero, México. *Ra Ximhai* 7 (1): 123-132

Mengel K. Kirkby E. 1987. Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Bern, 687 P.

Mexal, J.G. y T. Landis D. 1990. Target seedling concepts: height and diameter. In: R. Rose (Eds). Target seedling symposium: Proceeding, Combined Meeting of The Western Forest Nursery Associations. Roseburg. OR. GTR: RM-200. USDA Forest Service. Pp 17-24

Montero, W. 2002. Cultivo Hidropónico. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Sede regional San Carlos. Santa Clara, San Carlos, Alajuela, Costa Rica, Mimeo. 8 p.

Morales, E. 2013. Indicadores de calidad de planta de cuatro viveros forestales del Estado de Tamaulipas. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma de Nuevo León, México. 58-60 p.

Morvant, J.K., J.M. Dole, and J.C. Cole. 2001. Fertilizer source and irrigation system affect geranium growth and nitrogen retention. *HortScience* 36:1022-1026.

Navarro R.M., A.D. Del Campo, R. Alejandro y L. Álvarez. 1998. Caracterización de calidad final de planta de encina, alcornoque, algarrobo y acebuche, en cinco viveros de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía. 60 p.

Nélio, N. 2006. Solucoes nutritivas: Formulacao e aplicacoes. En nutricao mineral de plantas. Editor Manlio Silvestre Fernandes. Vocosa, M. G.: Sociedade Brasileira de Ciencia do Solo. 432 p.

Peñuelas R., J.L. y B.L. Ocaña. 1996. Cultivo de plantas forestales en contenedor. 2a. ed. Mundi Prensa. Madrid, España. 190 p

Pinto JR, Chandler R, Dumroese RK. 2008. Growth, nitrogen use efficiency, and leachate comparison of subirrigated and overhead irrigated pale purple coneflower seedlings. *HortScience* 42:897–901.

Prieto, R. J. A., Vera C. G. y Merlín B. E. 2003. Factores que influyen en la calidad de brinzales y criterios para su evaluación en vivero. Folleto Técnico Núm. 12. Primera reimpresión. Campo Experimental Valle del Guadiana-INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. México. 24 p.

Prieto, R. J. A.; García R. J. L.; Mejía B. J. M.; Huchín A. S. y Aguilar V. J. L. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Publicación

Especial Núm. 28. Campo Experimental Valle del Guadiana INIFAP-SAGARPA. Durango, Dgo. México. 48 p.

Puttonen P. 1997. Looking for the "silver bullet". Can one test do it all? *New Forests* 13: 9-27

Ramírez, C. A. y T.D.A. Rodríguez. 2004. Efecto de la calidad de planta, exposición y micrositio en una plantación de *Quercus rugosa*. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.* In: <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/629/62910101.pdf> (Consultada: 18 de septiembre de 2014)

Resh, M. 1987. Cultivos hidropónicos y en turba. Mundi prensa. Madrid, España. 89-98 p.

Reyes, R. J.; Aldrete, A.; Cetina, A.V.M.; López, U. J. 2005. Producción de plántulas de *Pinus pseudostrobus* var. *Apulcensis* en sustratos a base de aserrín. *Revista Chapingo, Serie ciencias forestales y del ambiente.* 11 (2):105-110

Ritchie G.A. 1984. Assessing seedling quality. En: Duryea, M.L.; Landis, T.D. *Forest nursery manual production of bare root seedlings.* Oregon State University. 243-260 pp.

Rodríguez T., D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Universidad Autónoma Chapingo. Mundi Prensa México. 156 p.

Rueda, S.A., Benavides, S.J., Prieto-Ruiz, J.A., Sáenz, R.J.T., Orozco-Gutiérrez, G. y Molina C.A. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista mexicana de ciencias forestales.* 3 /14): 69-82

Rzedowski, J. 1996. Análisis preliminar de la flora vascular de los bosques mesófilos de montaña de México. *Acta Botánica mexicana.* 35: 25-44

Sáenz R. J. T., R. F. J. Villaseñor, F. H. J. Muñoz, S. A. Rueda y R. J. A. Prieto. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico Núm. 17. SAGARPAINIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Michoacán, México. 48 p

Sáenz-Reyes, J.T., Muñoz-Flores, J.H., Pérez, D.M., Rueda-Sánchez A, y Hernández-Ramos J. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5 (25): 99-111

Santiago O., T., V. Sánchez M., R. Monroy C. y G. García S. 2007. Manual de producción de especies forestales tropicales en contenedor. INFAP-CIRGOC. Campo Experimental El Palmar. Folleto Técnico Núm. 44. Tezonapa, Ver., México. 73 p.

Selahvarzi y Hosseini 2012. *Folia Forestalia Polonica Series A.* Vol. 54 (3), 159-168

- Sempario, G. 2007. Hidroponía básica. Editorial Diana, México. 153 pp.
- Terres, V.; Artetxe, A.; Beunza, A. 1997. Caracterización física de los sustratos de cultivo. *Revista Horticultura* 125: 14-24
- Thompson, B. 1985. Seedling morphological evaluation. What can you tell by looking. In: *Evaluating seedling quality: principles, procedures and predictive abilities of major test*. M. L. Durges. Forest Research Laboratory. Oregon State University. 59-65.
- Timmer V.R., G. Armstrong and B. Miller, 1991. Steady state nutrient pre conditioning and early out -planting performance of containerized black spruce seedlings. *Canadian Journal of Forestry Research* 21: 585-594
- Timmer, V.R. y E.L. Stone. 1978. Comparative foliar analysis of young balsam fir fertilized with nitrogen, phosphorus, potassium, and lime. *Soil Sc. Soc. Am. Proc.* 42:125-130.
- Van Den Driessche R. 1991. Effects of nutrients on stocks performance forests. En: *Mineral nutrition of conifer seedling*. R van den Driessche (Ed). CRC Press. Boca Raton Ann Arbor Boston. 229-260 pp.

ANEXOS

Anexo I.

Reactivos utilizados para la elaboración de las soluciones nutritivas.

Solución FRS		
Nombre del reactivo	Fórmula	Gramos usados
Fosfato diamónico	$(\text{NH}_4)_2 \text{HPO}_4$	0.177
Ácido Fosfórico	H_3PO_4	0.2545
Sulfato de potasio	K_2SO_4	0.3102
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.8445
Sulfato de Magnesio	MgSO_4	0.375
Sulfato de hierro	FeSO_4	0.0295
Sulfato de cobre	Cu_2SO_4	0.00026
Sulfato de manganeso	MnSO_4	0.00178
Sulfato de zinc	ZnSO_4	0.0003
Ácido bórico	H_3BO_3	0.000285
Molibdato de sodio	Na_2MoO_4	0.000115

Solución Cooper		
Nombre del reactivo	Fórmula	Gramos usados
Sulfato de Amonio	$(\text{NH}_4) \text{SO}_4$	0.0215
Ácido Fosfórico	H_3PO_4	0.1914
Sulfato de potasio	K_2SO_4	0.7231
Nitrato de calcio	$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$	0.9
Nitrato de Magnesio	$\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$	0.5402
Sulfato de hierro	FeSO_4	0.0632
Sulfatos de cobre	Cu_2SO_4	0.0004
Sulfato de manganeso	MnSO_4	0.0065
Sulfato de zinc	ZnSO_4	0.00047
Ácido bórico	H_3BO_3	0.0018
Molibdato de sodio	Na_2MoO_4	0.00077

Anexo 2.
Concentraciones nutrimentales

Fresno

Tratamiento	Peso Seco **	Nutrimento					
		N (%)	P (ppm)	K (ppm)	Mg (ppm)	Fe (ppm)	Cu (ppm)
Sus1P	0.18	1.09	3031.71	14754.73	3908.01	84.85	2.22
Sus1F	0.70	1.11	3345.03	12895.37	4178.16	82.65	3.00
Sus1C	0.11	1.38	1630.48	16734.33	4013.88	137.39	3.28
Sus1PSub	1.70	1.31	3384.03	17531.47	3323.55	89.69	2.69
Sus1FSub	2.01	1.77	4807.50	17789.83	4442.18	76.96	7.71
Sus1CSub	1.75	1.72	2104.45	19300.87	3603.98	79.20	5.61
Sus2P	0.75	1.63	4456.31	14274.57	3588.53	60.00	3.47
Sus2F	1.49	2.36	5472.70	16229.90	4774.25	104.29	3.33
Sus2C	1.14	1.97	2033.00	18059.20	3682.71	116.18	2.62
Sus2PSub	1.81	1.56	3640.08	16960.03	2959.13	106.80	3.37
Sus2FSub	1.66	2.42	5889.21	16730.73	3975.78	71.69	4.17
Sus2CSub	1.72	2.64	4540.70	23162.73	3357.09	91.20	3.78

(**) Peso seco de 10 hojas de fresno