

**COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

---

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**PROTOTIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE  
ESPECIES FORESTALES EN VIVERO MEDIANTE  
UN SISTEMA HIDROPÓNICO POR  
SUBIRRIGACIÓN**

KARLA RAMÍREZ GALICIA

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2021

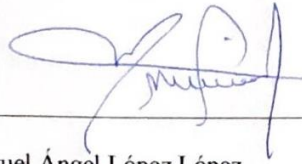
La presente tesis titulada: Prototipo para la producción de especies forestales en vivero mediante un sistema hidropónico por subirrigación realizada por la alumna: Karla Ramírez Galicia bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRA EN CIENCIAS

CIENCIAS FORESTALES

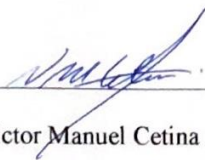
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO (A)



Dr. Miguel Ángel López López

ASESOR (A)



Dr. Victor Manuel Cetina Alcalá

ASESOR (A)



Dr. Leopoldo Mohedano Caballero

Montecillo, Texcoco, Estado de México, febrero de 2021

# **PROTOTIPO PARA LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES FORESTALES EN VIVERO MEDIANTE UN SISTEMA HIDROPÓNICO POR SUBIRRIGACIÓN**

**Karla Ramírez Galicia, M. C.**

**Colegio de Postgraduados, 2021**

## **RESUMEN**

Los viveros forestales tecnificados consumen volúmenes de agua y fertilizantes considerables, por lo que es de importancia optimizar el uso de este tipo de recursos en las instalaciones de los mismos. La demanda de planta para abastecer reforestaciones y reducir costos de producción, ha originado la necesidad de adoptar otros sistemas de riego, sustratos alternativos y un manejo nutrimental acorde a las necesidades de la planta. Las labores realizadas durante la etapa de vivero garantizan obtener planta con la morfología y calidad adecuada para el éxito en campo. El objetivo general de la presente investigación fue diseñar un prototipo de sistema de fertiriego hidropónico por subirrigación para la producción de especies forestales en vivero. Como objetivos específicos se planteó; cuantificar la cantidad de agua y fertilizante utilizado durante el ciclo productivo en ambos sistemas de fertiriego, evaluar la morfología, la calidad de planta y el estado nutrimental de tres especies, *Fraxinus uhdei* (Wenz) Linglesh, *Pinus patula* Schiede ex Schtdl & Cham y, *Pinus pseudostrobus* Lindl, bajo dos sistemas de fertiriego y dos mezclas de sustrato. Además, se evaluó el desempeño inicial en campo de las tres especies, así como la supervivencia de *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus* en campo. Para la construcción del sistema de fertiriego por subirrigación, se excavaron cuatro zanjas de  $0.30 \times 0.30 \times 3.0$  m y se comparó con el sistema de regadera. Se realizó una producción de 600 plantas por sistema y se cuantificó la cantidad de agua y fertilizante utilizado. Al final de la producción se evaluó la altura, diámetro basal, longitud de raíz, biomasa aérea, biomasa subterránea, y biomasa total. También se determinó el número de ramificaciones, la relación biomasa aérea/subterránea, el índice de esbeltez y el índice de calidad de Dickson. Conjuntamente, se obtuvo la biomasa de follaje y se mandaron muestras de tejido vegetal al laboratorio de nutrición vegetal en el Colegio de Postgraduados para conocer el estado nutrimental. El estado nutrimental se examinó por medio de un análisis de vectores. Posteriormente, la planta producida se llevó a campo y se estableció en dos sitios diferentes. Se evaluó la altura, diámetro y supervivencia solamente en las especies de pino. La cantidad total de agua utilizada durante la producción en el sistema de regadera, fue 7320 L y 3424 L en subirrigación. La cantidad de fertilizante soluble utilizado fue mayor en subirrigación, con 8365 g, mientras que en regadera fue

4022 g. En general, el sistema de regadera produjo los mayores valores en las variables morfológicas y de calidad. En referencia a los sustratos, para las tres especies, todas las variables de interés resultaron mayores en sustrato base de turba. La biomasa foliar en las plantas de fresno al crecer en sustrato de turba fue mayor en fertiriego con regadera, mientras que las coníferas en subirrigación. En cambio, en sustrato base de aserrín, la mayor biomasa foliar se obtuvo al recibir fertiriego con regadera para las tres especies. La concentración nutrimental resultó mayor en fertiriego con subirrigación y en sustrato de turba. Sin embargo, para *F. uhdei* el mayor contenido se obtuvo en regadera y en ambas especies de pino la mayor absorción de nutrimentos se presentó en subirrigación. Al crecer en aserrín, la absorción de nutrimentos se vio favorecida en sistema de regadera. Una vez en el campo, las plantas de *F. uhdei*, presentaron mayor altura y diámetro al provenir de regadera. En cambio, para *P. patula* y *P. pseudostrobus* la mayor altura se observó en plantas de subirrigación, mientras que el diámetro fue mayor en plantas en regadera. En las tres especies, aquellas provenientes de sustrato de turba presentaron mayor altura y diámetro en el campo. La supervivencia en campo no se evaluó para las plantas de fresno. Sin embargo, las plantas de pino de subirrigación y turba demostraron una mayor supervivencia. El sistema de subirrigación tiene un gran potencial para la producción de planta en vivero en México, no obstante, falta investigación para obtener mejores resultados en cuanto a la calidad de planta. La producción en este sistema puede disminuir los riesgos de contaminación por nutrimentos al ambiente y reducir el periodo de crecimiento de las plantas forestales en el vivero.

**Palabras clave;** vivero forestal, agua, fertilizantes, sustratos, subirrigación, regadera, variables morfológicas, calidad de planta

# **HYDROPONIC SUBIRRIGATION SYSTEM PROTOTYPE FOR THE PRODUCTION OF FOREST SPECIES IN A NURSERY**

**Karla Ramírez Galicia, M. Sc.**

**Colegio de Postgraduados, 2021**

## **ABSTRACT**

Due to the fact that forest nurseries use up great amounts of water and fertilizer, it is important to optimize the use of these resources. The demand of plant stock to supply reforestation programs along with lower production costs has originated a need to implement and use other irrigation and fertigation systems, substrate mixtures and adequate nutrition regimes. These tasks during nursery stage, guarantee the production of high-quality plants with desirable morphological attributes that will influence outplanting success. The main objective of the present research was to design a hydroponic subirrigation system prototype for the production of forest species. The specific objectives were to quantify the amount of water and fertilizer used during the production cycle compared to overhead hand fertigation, evaluate morphological traits, plant quality and the nutrient status of *Fraxinus uhdei* (Wenz) Linghesh, *Pinus patula* Schiede ex Schtdl & Cham and *Pinus pseudostrobus* Lindl under two fertigation systems and two substrate mixtures. Also, plant establishment was evaluated for the three species at six months after outplanting. However, survival was only evaluated for *P. patula* and *P. pseudostrobus*. Four trenches with dimensions of  $0.30 \times 0.30 \times 3.0$  m were dug to construct the subirrigation system. The function of this system was compared to the overhead hand watering system. In each system 600 seedlings were produced. The amount of water and fertilizer used in each fertigation system was estimated. At the end of the nursery stage, height, basal diameter, root length, aboveground and root biomass, and total biomass were assessed. Furthermore, the number of branches, the shoot/root ratio, slenderness index and the Dickson quality index were evaluated. Together with the other variables, foliar biomass was obtained and foliar tissue was sent for nutrient analysis at the Laboratory of Plant Nutrition in the Colegio de Postgraduados. Nutrient status was determined using vector analysis. Subsequently, plant stock was outplanted in two different sites, where height, diameter and survival were evaluated. For the production of 600 seedlings in each fertigation system, 7320 L of water were utilized for overhead hand fertigation and 3424 L for subirrigation. A higher amount of soluble fertilizer was used in subirrigation with a total of 8365 g; meanwhile the overhead hand fertigation used 4022 g. In general, morphological attributes were higher for plants receiving overhead hand

fertigation during nursery stage. The same was observed for most quality variables. In regards to substrate mixtures, for all three species, the substrate mixture of peat moss produced the greatest values for all variables. In peat-based substrate, ash plants produced higher foliar biomass when receiving overhead hand fertigation. As for the two conifers, foliar biomass was greater in subirrigation. However, in sawdust-based substrate foliar biomass for all species was greater when fertigated overhead. Nutrient concentrations were higher in foliar tissue from subirrigated plants grown in peat-based substrate. Nonetheless, nutrient content in *F. uhdei* plant tissue resulted higher from overhead hand fertigation, as for both pines, nutrient content was superior in subirrigation. When grown in sawdust-based substrate, all three species exhibited a higher nutrient uptake when overhead hand fertigated. Once in the field, *F. uhdei* plants grown in the overhead hand fertigation system showed a greater height and diameter, whereas for *P. patula* y and *P. pseudostrobus* the greater heights were obtained in the subirrigation system. Although plants grown in overhead hand fertigation presented a higher diameter. Regarding substrate mixtures, plants of all three species grown in peat moss-based substrate showed greater height and diameter after outplanting. Survival was not evaluated for *F. uhdei*, but *Pinus* plants from subirrigation and peat-based substrate revealed a greater survival. Subirrigation has a great potential for forest nursery production in Mexico, yet more research needs to be developed to understand the proper functioning of the system to obtain better quality plants. The use of this system is known to reduce nutrient leaching, causing less environmental pollution risks and could shorten the nursery stage time of forest seedlings.

**Key words;** forest nursery, water, fertilizer, substrate, subirrigation, overhead hand fertigation, morphological attributes, plant quality.

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Carlos Ramírez Herrera y María Cruz Galicia López por apoyarme en cada etapa de mis estudios. Me siento muy agradecida y orgullosa de tenerlos como mis padres. Sin sus enseñanzas, sustento, amor y motivación no estaría donde me encuentro hoy. La responsabilidad y honestidad han sido dos valores fundamentales que me han transmitido y han sido la base para mi dedicación e interés en el ámbito académico.

A mi gemela Mary Ramírez Galicia por siempre estar a mi lado apoyándome en cada momento y a mi hermana Carolina Ramírez Galicia, por compartir juntas aventuras por la vida. A pesar de las diferencias que lleguemos a tener, sé que nos apoyaremos en cualquier circunstancia.

A mi sobrina, Sarah Victoria Blancas Ramírez por siempre transmitir felicidad, amor y amabilidad en la casa. Sus nobles acciones me enseñan a ser mejor persona cada día.

A mi novio, Jorge Alejandro Reyes Olivas, por ser un elemento importante en mi vida que me motiva a explotar ciertas cualidades y por generarme seguridad para salir de mi zona de confort. Me llena de felicidad crear momentos juntos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado durante mis estudios.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, por darme la oportunidad de realizar mis estudios y a todos los profesores del Postgrado en Ciencias Forestales por transmitir sus conocimientos y experiencias en el ámbito científico durante mi tiempo de estudios.

Al Dr. Miguel Ángel López López por el gran apoyo, dedicación y guía que me brindó durante cada etapa del experimento y escritura del manuscrito de tesis. Igualmente, por todo el conocimiento que me ha compartido durante este tiempo para enriquecer mi formación profesional.

Al Dr. Víctor Manuel Cetina Alcalá por sus recomendaciones y observaciones para enriquecer este proyecto de investigación.

Al Dr. Leopoldo Mohedano Caballero por sus aportaciones y comentarios durante la realización del proyecto y manuscrito de tesis.

A la Dra. Libia Iris Trejo Téllez por el apoyo en la investigación y aportaciones al artículo científico.

Al Dr. Valentín J. Reyes Hernández por su participación como sinodal durante el examen de grado y por las aportaciones académicas durante mis estudios en el Postgrado.

A mis papás, sobrina Victoria y hermana Mary por la ayuda durante la toma de datos.

A Fermán Juárez Mirón por el apoyo que me brindó durante toda la etapa de vivero en el área experimental.

A mis compañeros Fanny Libertad González Torralva, Reynol Fierros Mateo, Edgar López Avendaño, Alexis Domínguez Liévano y Leoncio Hernández por la ayuda que me brindaron durante la investigación.

Al Ejido Palo Bendito por proporcionar el terreno para el establecimiento de la fase de campo.



## CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	v
DEDICATORIA .....	vii
AGRADECIMIENTOS .....	viii
LISTA DE CUADROS .....	xi
LISTA DE FIGURAS .....	xii
INTRODUCCIÓN GENERAL .....	1
CAPÍTULO 1. PROTOTIPO DE SISTEMA DE FERTIRRIEGO POR SUBIRRIGACIÓN .....	3
1.1 RESUMEN .....	3
1.2. ABSTRACT .....	4
1.3. INTRODUCCIÓN .....	5
1.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	7
1.4.1. Sitio experimental .....	7
1.4.2. Descripción de especies evaluadas .....	7
1.4.3. Diseño del sistema .....	8
1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	10
1.6. CONCLUSIÓN .....	15
1.7. LITERATURA CITADA .....	16
CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE FERTIRRIEGO Y SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES FORESTALES EN VIVERO .....	19
2.1. RESUMEN .....	19
2.2. ABSTRACT .....	20
2.3. INTRODUCCIÓN .....	21
2.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	23
2.4.1. Descripción del área de estudio .....	23
2.4.2. Diseño experimental y tratamientos .....	23
2.4.3. Sistemas de fertirriego y preparación de mezclas de sustrato .....	24
2.4.4. Obtención de germoplasma y transplante .....	25
2.4.5. Variables evaluadas .....	26
2.4.6. Análisis Estadístico .....	27
2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	28
2.6. CONCLUSIÓN .....	43
2.7. LITERATURA CITADA .....	44
CAPÍTULO 3. EFECTO DE SISTEMAS DE FERTIRRIEGO Y SUSTRATOS EN VIVERO, SOBRE EL CRECIMIENTO INICIAL DE ESPECIES FORESTALES EN CAMPO .....	48

3.1. RESUMEN .....	48
3.2. ABSTRACT.....	49
3.3. INTRODUCCIÓN .....	50
3.4. MATERIALES Y MÉTODOS .....	51
3.4.1. Tratamientos en etapa de vivero .....	51
3.4.2. Variables obtenidas del experimento en vivero .....	51
3.4.3. Establecimiento.....	51
3.4.4. Variables evaluadas .....	52
3.4.5. Diseño experimental y Análisis estadístico .....	52
3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	54
3.5.1. Desempeño en campo <i>F. uhdei</i> .....	54
3.5.2. Desempeño en campo <i>P. patula</i> y <i>P. pseudostrobus</i> .....	56
3.6. CONCLUSIÓN.....	61
3.7. LITERATURA CITADA .....	62
CONCLUSIÓN GENERAL.....	65

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Cantidad de fertilizante utilizado en dos sistemas de riego. ....	12
Cuadro 2. Factores y niveles contrastados en el experimento .....	23
Cuadro 3. Valores de p del análisis de varianza para el experimento de fertiriego y sustratos en especies forestales .....	28
Cuadro 4. Biomasa promedio y error estándar para tres especies forestales producidas en dos sistemas de fertiriego y dos mezclas de sustrato.....	34
Cuadro 5. Concentración foliar de nutrimentos en las especies forestales evaluadas .....	35
Cuadro 6. Variables morfológicas y de calidad de planta. ....	51
Cuadro 7. Valores de p del análisis de varianza demostrando los efectos principales e interacciones para el desempeño en campo de <i>F. uhdei</i> .....	55
Cuadro 8. Valores de p del análisis de varianza demostrando los efectos principales e interacciones en el desempeño en campo de <i>P. patula</i> y <i>P. pseudostrobus</i> .....	57

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Componentes principales del prototipo de sistema de fertiriego por subirrigación. ....	12
Figura 2. Comportamiento de las variables morfológicas en plántulas de tres especies forestales sujetas a dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base. ....	31
Figura 3. Comportamiento de variables de calidad en plántulas de tres especies forestales sujetas a dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base.....	33
Figura 4. Diagramas de vectores para macronutrientos en <i>F. uhdei</i> en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz. ....	36
Figura 5. Diagramas de vectores para micronutrientos en <i>F. uhdei</i> en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz. ....	37
Figura 6. Diagramas de vectores para macronutrientos en <i>P. patula</i> en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz. ....	39
Figura 7. Diagramas de vectores para macronutrientos en <i>P. pseudostrobus</i> en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz. ....	40
Figura 8. Diagramas de vectores para micronutrientos en <i>P. patula</i> en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz. ....	41
Figura 9. Diagramas de vectores para micronutrientos en <i>P. pseudostrobus</i> en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz. ....	42
Figura 10. Comportamiento de la altura y diámetro basal, tres meses después del trasplante en campo, de planta de <i>Fraxinus uhdei</i> , cultivada en vivero bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base. ....	55
Figura 11. Comportamiento de la altura y diámetro basal, seis meses después del trasplante en campo, de planta de <i>Pinus patula</i> y <i>Pinus pseudostrobus</i> cultivada en vivero bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base. ....	59

## INTRODUCCIÓN GENERAL

La alta demanda de planta para reforestaciones, plantaciones comerciales y zonas urbanas, ha generado la necesidad de hacer un uso óptimo de los recursos con la finalidad de reducir costos e impactos al ambiente (Bumgarner et al., 2015). Para el ciclo de producción 2018-2019, México produjo alrededor de 80.9 millones de plantas, de las cuales 72.4 millones se produjeron en contenedor (CONAFOR, 2020). El proceso de producción de planta en vivero requiere grandes cantidades de agua para asegurar el correcto desarrollo y crecimiento de las plantas. En viveros tecnificados e invernaderos, generalmente el riego es aplicado por encima de las plantas mediante aspersores; por ejemplo, en los Estados Unidos de América, 59.5% de los viveros emplean el sistema de aspersión y 4.5% el de subirrigación (Paudel et al., 2016). Empero, la cantidad de agua requerida para cada ciclo de producción depende de varios factores como el clima, la infraestructura utilizada, el sistema de irrigación, el medio de crecimiento, las especies a producir, el número de plantas y el tamaño del contenedor (USDA, 2014). Para la producción de mil plántulas de coníferas, se requieren entre 38 y 227 L de agua a la semana durante la fase de establecimiento y entre 57-473 L semanales en la fase de crecimiento rápido (Dumroese et al., 2009). Por tal motivo, para establecer un vivero es indispensable tener una fuente permanente de abastecimiento de agua.

La nutrición es otro de los elementos importantes a considerar durante la producción de planta en vivero. Las plantas adquieren nutrimentos del medio de crecimiento, por medio del agua de riego, de organismos benéficos y de regímenes de fertilización. En viveros tecnificados, como medio de crecimiento se hace uso de sustrato inerte, es decir sustrato infértil (USDA, 2014). La mezcla comúnmente usada es turba, vermiculita y perlita. Aunque en años recientes, la mezcla a base de productos orgánicos como aserrín fresco o en composta, corteza de pino y viruta de madera se ha hecho popular para reducir el costo de producción y con el objetivo de retener mejor la humedad. Debido al uso de estos materiales con bajo o nulo contenido nutrimental es común el uso de fertilizantes de liberación controlada como complemento nutrimental al fertiriego (Bilderback et al., 2013). El uso de agua y fertilizantes, como en cualquier actividad agronómica, se hace de manera excesiva ya que se desconocen las necesidades de las plantas y generalmente no se considera el espaciamiento entre charolas o contenedores para que el riego sea eficiente. Además, durante cada riego se pueden escurrir y lixiviar nutrimentos los cuales pueden llegar a mantos acuíferos (Zhu et al., 2005). Esta pérdida puede ocasionar problemas de eutrofización (Dumroese

et al., 1995). Asimismo, por las limitaciones de agua en algunas regiones, los viveristas se han visto en la necesidad de mejorar las técnicas de riego para hacer un uso racional del recurso hídrico. Por tal motivo, el sistema de subirrigación puede ser una alternativa para reducir la cantidad de agua y hacer un uso eficiente de este recurso y de fertilizantes. En otros países han implementado el riego por subirrigación y sistemas similares para la producción de caducifolias y coníferas. Sin embargo, falta por realizar más investigación al respecto. La subirrigación es un sistema utilizado comúnmente para la producción hortícola. Sin embargo, tiene un alto potencial para la producción de planta forestal. A través de este sistema se pueden determinar las necesidades nutrimentales de la planta y hacer una fertilización adecuada (Bumgarner et al., 2008).

En 1895 Green y Green, realizaron el primer trabajo sobre el uso del sistema de subirrigación en un invernadero. Posteriormente a este trabajo, se fueron desarrollando diversos sistemas por subirrigación, los cuales se dividen en dos categorías: los sistemas de bancales y los de inundación. En los sistemas de bancales se instalan charolas, abrevaderos, o tapates y los contenedores se colocan dentro de estas estructuras. En los sistemas de inundación se mantiene el agua dentro de canales de concreto u otro material impermeable y los contenedores con la planta permanecen en la superficie dejando un espacio para aireación. Un ejemplo de este sistema es el de Ebb y flujo (Ferrarezi et al., 2015; Schmal et al., 2011). El principio de estos sistemas es proporcionar el riego por debajo y por medio de capilaridad las plantas absorben agua y nutrimentos (Rose et al., 2018). El sistema de subirrigación además permite reciclar la solución nutritiva, evitando pérdidas de nutrimentos y una mejor disponibilidad de éstos para las plantas. Al hacer un uso eficiente de la solución, se pueden disminuir los costos de producción, así como contaminantes. Además, tiene la ventaja de reducir la presencia de enfermedades foliares y se obtiene planta de tamaño uniforme. La planta que se consigue es de igual o mejor calidad que la producida bajo aspersión y el tiempo de permanencia en el vivero se puede reducir. Además, una vez en el campo se han registrado resultados positivos (Bumgarner et al., 2015).

## **CAPÍTULO 1. PROTOTIPO DE SISTEMA DE FERTIRRIEGO POR SUBIRRIGACIÓN**

### **1.1 RESUMEN**

En la actualidad, la investigación en el ámbito de viveros forestales, se ha enfocado hacia la producción de planta con mejores prácticas y con sistemas de riego y fertiriego más eficientes para mitigar impactos ambientales y obtener planta de calidad. Los objetivos del presente trabajo fueron, diseñar un prototipo de sistema de fertiriego por subirrigación para la producción de planta forestal y cuantificar la cantidad de agua y fertilizante utilizados durante el ciclo productivo. Se excavaron cuatro zanjas de  $0.30 \times 0.3 \times 3.0$  m para la construcción del sistema de fertiriego por subirrigación y se comparó el funcionamiento con el sistema de regadera para producir 600 plántulas por sistema. La cantidad de agua empleada en el sistema manual con regadera fue 114% mayor que en subirrigación. En total se utilizaron 7320 L en el sistema de regadera y 3424 L en subirrigación durante todo el ciclo de producción. La cantidad de fertilizante soluble utilizado fue mayor en subirrigación; 8365 g, mientras que en regadera fue 4022 g. Mediante el sistema de subirrigación el ahorro de agua puede superar el 50% en comparación con el sistema de fertiriego utilizado en viveros tecnificados. Empero, a pesar de que el sistema de fertiriego con regadera utilizó menor cantidad de fertilizantes, el desperdicio de la solución nutritiva fue directamente al suelo, sin posibilidad de reutilizarse, mientras que la solución del sistema de subirrigación se reutilizó para fertiriego de árboles frutales al renovarse la solución, al final de cada etapa de crecimiento.

**Palabras clave:** vivero forestal, fertiriego, subirrigación, regadera, agua, fertilizantes

## 1.2. ABSTRACT

Recently, research in plant production has focused on applying best management practices to reduce environmental impacts during forest nursery activities. Also, more efficient irrigation and fertigation systems are being implemented to obtain good quality stock. The objectives of the present research were to design a subirrigation system prototype for container plant production and to quantify the amount of water and fertilizer used during the production period. Four trenches with dimensions of  $0.3 \times 0.3 \times 3.0$  m were dug to construct the subirrigation system. The execution of this system was compared to an overhead hand watering system, where 600 seedlings per system were produced. The amount of water used in the overhead hand fertigation system exceeded that in the subirrigation system by 114%. In the overhead hand fertigation system, 7320 L of water were used, while in the subirrigation system, only 3424 L were utilized during the production stage. The amount of soluble fertilizer used was greater for subirrigation, with a total of 8365 g, whereas in the overhead hand fertigation system, the total amount was 4022 g. In subirrigation, the use of water can be reduced by more than 50% compared to overhead fertigation systems utilized in most nurseries. Even though the amount of fertilizer was lower in the hand fertigation system, the nutrient solution dripped off the containers, reached the ground and probably leached through the soil. In the subirrigation system the nutrient solution was reused to fertigate fruit trees at the end of each nursery growth phase.

**Key words:** forest nursery, fertigation, subirrigation, overhead hand fertigation, water, fertilizers



### 1.3. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de tecnologías limpias en la actividad agropecuaria y forestal ha sido una prioridad en los últimos años por efecto del cambio climático global y la escasez de agua en algunas regiones (Beeson, 2006). Además, se presentan problemas por efecto de contaminantes emitidos al ambiente durante estas actividades, las cuales originan eutrofización de cuerpos de agua, lixiviación de nutrientes, entre otros (Dumroese et al., 1995). Por lo tanto, una de las principales inquietudes en la producción de planta en contenedor ha sido el uso de sistemas de riego eficientes para obtener planta de calidad (Dumroese et al., 2007). En viveros tecnificados el riego generalmente se aplica en forma de aspersión y no se da de manera uniforme debido al tamaño de las boquillas, el espacio entre plantas o por intercepción del follaje. Por lo tanto, una pequeña porción de agua es la que realmente llega al sustrato (Dumroese et al., 2007). Junto con la intercepción del agua en el follaje, se propicia la proliferación de patógenos (Hassanein, 2015). Estas circunstancias han generado la necesidad de innovar e implementar otras tecnologías para los sistemas de riego. De esta manera, se pretende que la producción de planta en vivero sea una actividad competitiva y sustentable para el sector forestal (French et al., 2014).

En años recientes, la investigación se ha enfocado hacia el desarrollo de sistemas de producción de planta a bajo costo y con mejores prácticas de manejo. Con el sistema de riego por aspersión, se tiene la ventaja de cubrir mayor área durante riegos y se evita la acumulación de sales en el sustrato. Sin embargo, es un método ineficiente resultando en lixiviación de fertilizante (Schmal et al., 2011). Estudios se han conducido para determinar la cantidad de agua perdida durante riegos y la cantidad realmente aprovechada por la planta. Dumroese et al. (1995), han encontrado pérdidas de agua y de nitrógeno de 49 a 72% y 32 a 60 %, respectivamente con el uso de aspersión. También, Dumroese et al. (2005), encontraron que durante riegos el agua se lixivia a una tasa de 1.3 L m<sup>2</sup> por día con una pérdida de nitrógeno de 8 mg m<sup>2</sup> por día. Durante la producción de plantas del género *Pinus*, se obtuvo una pérdida de nitrógeno de 11 a 19% y para fósforo de 16 a 64% en el agua que escurre por los contenedores (Juntunen et al., 2002). Igualmente, alrededor de 20 a 40 % del agua aplicada se retiene en el contenedor. Consiguientemente, de 60 a 80% del agua cae al suelo o se lixivia de los contenedores (Beeson & Knox, 1991). Zhu et al. (2005) determinaron una pérdida de 1900 litros de agua para producir 50 árboles en un periodo de 14 semanas. En total se utilizaron 6940 litros de agua durante la producción. Además, la pérdida de nitratos, fósforo y potasio fue de 142.8, 7.2 y 97.8 g respectivamente durante las 14 semanas. Por lo anterior, se

requiere implementar y fomentar sistemas de riego en los viveros para mitigar impactos y aumentar la rentabilidad de esta actividad. Además, se busca un uso eficiente de agua y fertilizantes sin afectar la calidad de planta (Mathers et al., 2005). Ante estas circunstancias, una posible solución, es el uso de la subirrigación en la producción de especies forestales. Dumroese et al. (2006) para la producción de *Metrosideros polymorpha* demostraron un ahorro de agua de 56% usando la subirrigación en vez del riego convencional y para la producción de alimentos, Ahmed et al., (2000) obtuvieron un ahorro de 86%. Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue diseñar un prototipo de sistema de fertiriego por subirrigación para la producción de planta forestal y cuantificar la cantidad de agua y fertilizante utilizado durante el ciclo productivo. La hipótesis que se planteó para esta investigación fue, que el sistema hidropónico por subirrigación es competitivo con el sistema tradicional por un uso eficiente de agua y fertilizante.

## 1.4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 1.4.1. Sitio experimental

El prototipo de sistema de fertiriego por subirrigación se construyó en el Ejido Palo Bendito en el Municipio de Huayacocotla, Veracruz, ubicado a 20 ° 30' 33" latitud N y a 98 ° 30' 14" longitud oeste. El sitio es un área de plantación de *Pinus patula*, con clima templado subhúmedo, lluvias en verano y nieblas frecuentes, la temperatura media anual es de 14 ° C y una precipitación pluvial media anual de 1315 mm (García, 2004). Los suelos son principalmente lutitas y areniscas con textura franco-arcillosa. La vegetación natural en la zona es bosque de pino-encino (Miranda & Hernández-X., 1963). El prototipo se implementó en el interior de un invernadero rústico semiabierto en el que se registró una temperatura mínima de 4 ° C y una temperatura máxima de 32 ° C durante el período experimental.

### 1.4.2. Descripción de especies evaluadas

El diseño y funcionamiento del sistema por subirrigación se evaluó mediante la producción de tres especies en condiciones de vivero. Las especies evaluadas fueron *Fraxinus uhdei* (Wenz.) Lingelsh., *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham., y *Pinus pseudostrobus* Lindl. Estas especies se eligieron por ser especies comúnmente producidas en los viveros tecnificados y las más utilizadas para reforestaciones y en la arboricultura urbana.

*F. uhdei* es un árbol perennifolio dioico, de 15-20 m de altura y con un diámetro normal de hasta 1 m. Esta especie forma una copa compacta y redondeada hacia la punta, generando una sombra densa. Las hojas son pinnaticompuestas, opuestas, de 20 a 30 cm de longitud, con 5 a 9 folíolos ovado-lanceoladas, margen entero o crenulado. El tronco es recto con ramas ascendentes con una corteza externa agrietada con placas cuadrangulares de color gris claro a café oscuro. Este árbol presenta flores unisexuales, en panículos estaminados y pistilados de 5 cm de largo; las flores son de color verde a rojas, sin pétalos y con un cáliz campanulado. El fruto es alargado alado (sámara) con una sola semilla creciendo en racimos densos de 15 a 20 cm de largo. Esta especie de árbol tiende a desarrollar raíces profundas. *F. uhdei*, se distribuye desde Sinaloa y Durango hasta Veracruz y Chiapas a una altitud de 1000 a 2 600 m. Es una especie nativa de México. Crece en laderas de cerros, barrancas y cañadas. Su crecimiento y desarrollo se ve favorecido en climas templados y en suelos arcillosos, arenosos, ácidos o calcáreos profundos y húmedos. Es la única especie del género que se encuentra en estado silvestre formando parte de bosques de galería, bosques de pino-encino y bosque mesófilo de montaña (Francis, 1990).

*Pinus patula* es un árbol perenne de 30 a 35 m de altura y de 50 a 90 cm de diámetro normal. Presenta una copa abierta y redondeada, el tronco es recto y libre de ramas hasta una altura de 20 m. Es una especie de rápido crecimiento. Los frutos son conos seróticos. *P. patula* se distribuye naturalmente sobre formaciones montañosas de la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico y la Sierra Madre de Oaxaca, en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Querétaro, Distrito Federal y Tlaxcala. En Hidalgo, Puebla y Veracruz se encuentran las poblaciones más grandes. Forma parte de bosques de pino y bosques de pino-encino (Perry,1991). *Pinus pseudostrobus* es originario de México, Guatemala y Honduras, es un árbol perenne con altura de 30 a 40 m, o puede llegar a medir hasta 45 m. Presenta un diámetro normal de 40 a 80 cm, con fuste recto, libre de ramas de 30 a 50 % de su altura total. Se asocia a bosques de coníferas, y bosques de pino-encino. Se distribuye en los estados mexicanos de Jalisco, Michoacán, Estado de México, Distrito Federal, Morelos, Puebla, Hidalgo, Tlaxcala, Veracruz, Oaxaca, Guerrero y Chiapas (Perry,1991).

### **1.4.3. Diseño del sistema**

El diseño del prototipo de sistema de fertiriego por subirrigación se realizó con la visión de demostrar e implementar la producción de planta en vivero con menor cantidad de insumos, en contraste con el sistema manual con regadera. Se pretendió obtener planta de igual o mejor calidad y en menor tiempo, comparado con el sistema tecnificado. Con este prototipo se espera aportar conocimiento para disminuir problemas de contaminación ambiental en el sector forestal si se llegase a implementar a gran escala en México.

El sistema consistió de un depósito de almacenamiento para la solución nutritiva, dos bombas sumergibles, tuberías de alimentación y retorno de la solución, zanjas de inundación donde se colocaron las charolas con planta, secciones de control de riego y sifones al final de cada zanja para el vaciado al final de cada riego.

El principio de este sistema es proporcionar a las plantas agua y nutrimentos por medio de la inundación de las zanjas. Las plantas reciben el agua y nutrimentos durante el proceso de inundación; después del vaciado de las zanjas, el sustrato aún mantiene una cantidad de solución nutritiva, dependiendo de la capacidad de retención de humedad del mismo. Este sistema de fertiriego es un sistema cerrado debido a que la solución nutritiva se recupera en un depósito de almacenamiento al final de cada riego y es reutilizada. Sin embargo, al ser absorbidos los nutrimentos por las plantas, su concentración en la solución nutritiva disminuye gradualmente. Por

tal motivo, la solución nutritiva se analizó en cuanto a su composición química aproximadamente cada dos semanas, para reponerlos nutrientes faltantes y mantener la solución en sus niveles óptimos para el desarrollo de la planta. Este proceso se hizo durante cada una de las tres fases de crecimiento de la planta en el vivero: iniciación, crecimiento exponencial y lignificación (Landis et al., 2004).

## 1.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la actualidad el agua se esta convirtiendo en un recurso más restringido y limitado (Devincentis et al., 2015). La producción de plantas en vivero de forma intensiva hace uso de riegos frecuentes y una sobre fertilización. Estas prácticas han ocasionado problemas de contaminación a los cuerpos acuáticos (Richards & Reed, 2004). Por esta razón con el uso de otras formas de riego se pretende minimizar impactos y a la par reducir costos.

El prototipo de sistema por subirrigación se construyó para producir 600 plantas de tres especies. Sin embargo, este tipo de sistema se puede implementar para viveros de mayor tamaño. En un estudio con *Quercus rubra* se produjeron 1440 plantas en charolas de subirrigación de 1.22 m x 1.22 m (Bumgarner et al., 2008). En la presente investigación se utilizó un tinaco de 1100 L como tanque de almacenamiento de la solución para abastecer al sistema. Se colocó por debajo del nivel del suelo para funcionar a manera de cisterna. En el interior del tinaco se colocaron dos bombas de pecera para suministrar la solución nutritiva a cuatro zanjas. Para el suministro y retorno de la solución desde el tinaco a las zanjas, se conectaron tubos PVC de ½ pulgada y para el control del flujo de agua se instalaron válvulas de paso (grifos) en el extremo de salida de los tubos PVC. Las zanjas de subirrigación tuvieron una medida de 0.30 × 0.3 × 3.0 m, se cubrieron con plástico nylon de color negro para evitar la infiltración de la solución nutritiva durante cada inundación. Para el vaciado de las zanjas se colocaron sifones en un extremo de las mismas. Los sifones se conectaron a un tubo PVC de dos pulgadas de diámetro, el cual retornó la solución nutritiva al tinaco/ cisterna. Para programar los riegos diariamente, se utilizaron temporizadores y se aplicaron los riegos por secciones de dos zanjas cada una. La inundación por secciones es importante para disminuir el volumen requerido de solución nutritiva. Una vez inundadas las zanjas hasta el nivel superior de las rejillas (cuello de las plantas), se vaciaron gradualmente a través de los sifones y en ese momento se inició el llenado de la otra sección de zanjas (Figura 1). La inundación completa de los contenedores permitió el lavado de sales acumuladas en la superficie del sustrato como consecuencia de la inundación anterior. Este lavado diario permitió reducir los niveles de conductividad eléctrica y como consecuencia, riesgos de daño a la planta por salinidad en el sustrato (Argo & Biernbaum, 1995). En el sistema de subirrigación propuesto en este trabajo, no se incorporó fertilizante de liberación controlada al sustrato ya que su uso hubiera alterado la composición química de la solución nutritiva. Dado que los sistemas hidropónicos requieren de una renovación periódica de la solución nutritiva, la renovación de la solución nutritiva en el

presente estudio se realizó a partir de análisis químicos quincenales de la misma, para agregar solamente los nutrientes perdidos (por absorción) durante el período.

Los flujos del sistema estuvieron constituidos por la entrada de solución nutritiva desde el depósito (cisterna) hacia las zanjas de inundación y de éstas, a través de los sifones, al tubo de descarga y hacia la cisterna. Otros flujos que ocurrieron en el sistema, corresponden al intercambio gaseoso (bióxido de carbono, oxígeno y vapor de agua, principalmente) entre las plantas y la atmósfera, además de la energía eléctrica empleada para el funcionamiento de las bombas. Considerando a la cisterna como el reservorio de solución nutritiva (agua y nutrientes), las salidas del reservorio correspondieron a la solución nutritiva que fue impulsada por las bombas diariamente hacia las zanjas de inundación. Las entradas al reservorio estuvieron dadas por el retorno de solución nutritiva hacia la cisterna. Entre las salidas y las entradas tuvo lugar el proceso de inundación de las zanjas; en este proceso, parte de la solución nutritiva fue retenida por los sustratos, de donde una proporción fue absorbida por las plantas.

Para cada etapa de crecimiento en este sistema, se prepararon 600 L de solución nutritiva y el riego, se realizó por secciones, diariamente, de forma automática a las 4 de la tarde. El tiempo de carga de la primera sección (grupo de dos zanjas de inundación) fue de aproximadamente una hora y 20 minutos y el tiempo de descarga 40 minutos. Una vez concluida la inundación de la primera sección se inició con la segunda sección (otras dos zanjas). Al final de cada riego se repuso un volumen aproximado de 4 L de agua para mantener el volumen inicial de solución nutritiva y evitar la concentración de nutrientes, después de las pérdidas de agua por transpiración y evaporación. Las zanjas de inundación presentaron un volumen total de 270 L cada una.

Se realizó un cálculo aproximado de la cantidad de agua utilizada desde principios de febrero hasta finales de septiembre para hacer una comparación en el uso de agua entre sistemas de fertiriego. La cantidad de agua fue 114% mayor en sistema manual con regadera que en subirrigación (7320 y 3424 L, respectivamente). Un ahorro de agua de más de la mitad en este estudio coincide con lo observado por Dumroese et al. 2006, en donde se tuvo un ahorro del 56% de agua mediante subirrigación. Conjuntamente, se estimó la cantidad de fertilizante soluble empleado durante el ciclo de producción para los sistemas de fertiriego. En subirrigación la cantidad de fertilizantes solubles utilizados fue 108% mayor que en fertiriego manual (Cuadro 1).

Cuadro 1. Cantidad de fertilizante utilizado en dos sistemas de riego.

Sistema	Etapa de crecimiento	g/etapa	Total(g)
Regadera	Inicial	998.0	4022.0
	Crecimiento rápido	2148.0	
	Endurecimiento	876.0	
Subirrigación	Inicial	3744.0	8365.0
	Crecimiento rápido	4027.0	
	Endurecimiento	594.42	

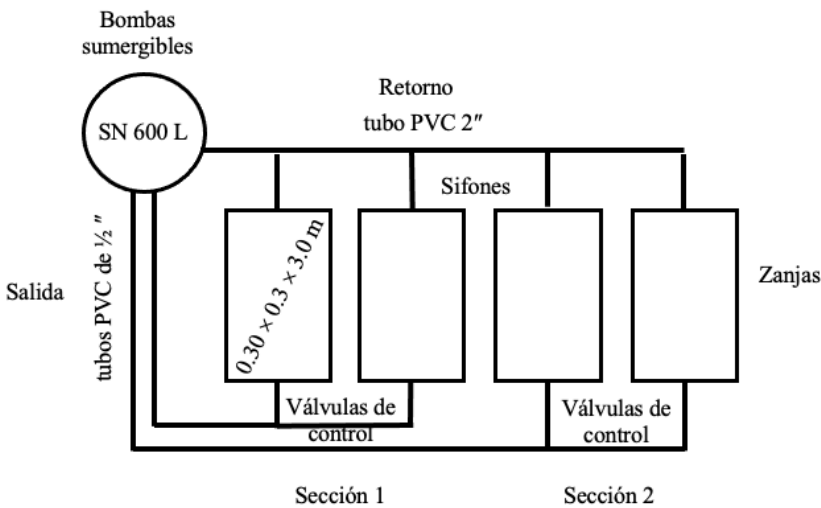


Figura 1. Componentes principales del prototipo de sistema de fertiriego por subirrigación. SN: solución nutritiva

En Sao Paulo, Brasil se implementó la producción de *Eucalyptus grandis* en un sistema denominado “Bosque Acuático”. Este consistió de un sistema flotante. Las plántulas crecieron dentro de albercas con agua, a una profundidad de 0.6 m. Los contenedores se sumergieron a una profundidad de 0.2 m. El prototipo consistió de una estructura de madera, poli-estireno, malla sombra y plástico transparente, similar a un invernadero pequeño. Las dimensiones fueron 25 cm de alto, 50 cm de ancho y 75 cm de largo. Un total de 200 plantas se produjeron mediante este sistema (Augusto et al., 2004). Ribeiro et al. (2014), evaluaron la eficiencia de un sistema de riego por subirrigación automatizado para la producción de clones de *Eucalyptus spp.* El sistema consistió de seis unidades de riego. Cada unidad presentó 3 bloques con 21 bancales de subirrigación. Cada bancal consistió de 600 contenedores cónicos de 55 cm<sup>3</sup>. Este sistema se realizó para una producción de 226 800 rametos. En este estudio, la solución nutritiva de cada



unidad de riego se suministró mediante bombas localizadas en tres reservorios, dos de 7000 L y uno de 5000 L de volumen, dando un total de 19 000 L de solución nutritiva. Igualmente, para este estudio se reponía el agua periódicamente. Se adicionó 2500 L de agua, cada dos días por efectos de consumo y pérdida. Por lo tanto, se utilizó un total de 36500 L cada dos semanas para cada unidad de riego (Ribeiro et al., 2014). El riego por subirrigación también se ha implementado en herbáceas como es *Echinacea pallida* (Nutt.). Este sistema consistió de tres bancales con charolas de plástico de 1.2 m × 2.4 m × 0.05 m, cada una conectada a un reservorio de 375 L (Pinto et al., 2008). Dumroese et al., (2006), realizaron un estudio con la especie *Metrosideros polymorpha* Gaud, un árbol nativo de Hawái, en subirrigación y con riego mediante aspersión. El sistema de subirrigación utilizado en ese estudio fue mediante charolas de Ebb y flujo, de 1.2 m × 3.7 m puestas sobre bancales. Las charolas presentaron una profundidad de 5 cm y los riegos se realizaron 3 veces al día. Se utilizó un reservorio de 285 L. Las charolas tardaban 2 minutos en llenarse y 12 minutos en vaciarse. Comparando con el sistema de aspersión, el de subirrigación consumió solamente 44% de agua. Se aplicaban 36 mL de agua por maceta al día en aspersión y en subirrigación 16 mL (Dumroese et al., 2006).

Haciendo una comparación de los sistemas utilizados en esta investigación, la subirrigación por medio de la inundación, puede ser una opción viable para áreas donde no se tiene una fuente permanente de agua, en áreas con periodo de sequía largo o en regiones áridas debido al menor uso de agua que se tiene durante el periodo de producción (Dumroese et al., 2006). No se estimó la cantidad de lixiviados en fertiriego manual, sin embargo, no se tuvieron lixiviados en subirrigación por ser un sistema cerrado, que elimina el escurrimiento y pérdidas hacia el suelo (Dumroese et al., 2006). A pesar de que la cantidad de fertilizante en el sistema de subirrigación rebasó la de riego manual en el presente estudio, en estudios anteriores se ha visto la ausencia de pérdidas de nutrientes por ser un sistema re-circulatorio (Purvis et al., 2000).

Es menester mencionar que el mayor consumo de nutrientes se debió a la cantidad de solución nutritiva que debe prepararse para inundar las zanjas, mas no a pérdidas de estos materiales. En efecto, al inicio de cada etapa de desarrollo de las plantas (iniciación, crecimiento rápido y lignificación), fue necesario preparar 600 L de solución nutritiva nueva, no obstante que es posible desarrollar técnicas para preparar una nueva solución nutritiva, a partir de la anterior. Una gran diferencia entre el uso de fertilizantes en uno y otro sistema de fertiriego consiste en que, en el caso del sistema de riego con regadera, parte importante de los nutrientes son derramados en el

suelo, con la consecuente contaminación del mismo y de corrientes subterráneas de agua. En el caso del sistema de subirrigación, al término de cada etapa de desarrollo de las plantas, las soluciones de desecho pueden ser utilizadas para fertiriego de otros cultivos o plantas de ornato en dosis adecuadas para evitar contaminación. En este sentido, es posible afirmar que en el sistema de subirrigación, la contaminación por fertilizantes es prácticamente nula.

## **1.6. CONCLUSIÓN**

La subirrigación es una técnica que está teniendo auge en la investigación. Mediante este sistema se puede tener ahorros de agua superiores a 50 %, en comparación con los sistemas de fertiriego por aspersión. En cuanto a consumo de fertilizantes, el sistema de fertiriego con regadera utiliza menor cantidad de fertilizantes que el de subirrigación; sin embargo, el desperdicio de solución nutritiva en el sistema de fertiriego con regadera va directamente al suelo, mientras que el del sistema de subirrigación se reutilizó para fertiriego de árboles frutales.

## 1.7. LITERATURA CITADA

- Ahmed, A.K., Cresswell, G.C., & Haigh, A.M. (2000). Comparison of subirrigation and overhead irrigation of tomato and lettuce seedlings. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 75; 3,350-354.
- Argo, W. R., & Biernbaum, J. A. (1995). The effect of irrigation method, water-soluble fertilization, preplant nutrient charge, and surface evaporation on early vegetative and root growth of poinsettia. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 120(2), 163–169. <https://doi.org/10.21273/jashs.120.2.163>
- Augusto, D. C. C., Engel, V. L., & Velini, E. D. (2004). Preliminary results of a floating subirrigation system (“Aquaforest system”) as an alternative to conventional tree nurseries. *Ecological Engineering*, 22(1), 61–66. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.01.003>
- Beeson, R. C. (2006). Relationship of plant growth and actual evapotranspiration to irrigation frequency based on management allowed deficits for container nursery stock. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 131(1), 140–148. <https://doi.org/10.21273/jashs.131.1.140>
- Beeson, R. C., & Knox, G. W. (1991). Analysis of Efficiency of Overhead Irrigation in Container Production. *HortScience*, 26(7), 848–850. <https://doi.org/10.21273/hortsci.26.7.848>
- Bilderback, T. E., Riley, E. D., Jackson, B. E., Owen, J. S., Kraus, H. T. J., Fonteno, W. C., Altland, J., & Fain, G. B. (2013). Strategies for developing sustainable substrates in nursery crop production. *Acta Horticulturae*, 1013, 43–56. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.1013.2>
- Bumgarner, M. L., Francis Salifu, K., Mickelbart, M. V., & Jacobs, D. F. (2015). Effects of fertilization on media chemistry and *Quercus rubra* seedling development under subirrigation. *HortScience*, 50(3), 454–460. <https://doi.org/10.21273/hortsci.50.3.454>
- Bumgarner, M. L., Salifu, K. F., & Jacobs, D. F. (2008). Subirrigation of *Quercus rubra* seedlings: Nursery stock quality, media chemistry, and early field performance. *HortScience*, 43(7), 2179–2185. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.7.2179>
- CONAFORI. (2020). *El Sector Forestal Mexicano en Cifras 2019*.
- Devincentis, A. J., Brumfield, R. G., Gottlieb, P., & Johnson, J. R. (2015). Cost analysis of using recycled water in container production: A case study of Southern New Jersey. *HortScience*, 50(8), 1196–1201. <https://doi.org/10.21273/hortsci.50.8.1196>
- Dumroese, R. K., Luna, T., & Landis, T. D. (2009). *Nursery Manual for Native Plants. 1*, 302.
- Dumroese, R. K., Jacobs, D. F., Davis, A. S., Pinto, J. R., & Landis, T. D. (2007). An Introduction to Subirrigation in Forest and Conservation Nurseries and Some Preliminary Results of Demonstrations. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations—2006. Proc. RMRS-P-50. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station., Oka 1993, 20–26.
- Dumroese, R. K., Pinto, J. R., Jacobs, D. F., Davis, A. S., & Horiuchi, B. (2006). Subirrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. 3(Fall 2006), 253–

- Dumroese, R.K., Page-Dumroese, D.S, Salifu, K.F, Jacobs, D.F (2005). Exponential fertilization of *Pinus monticola* seedlings: nutrient uptake efficiency, leaching fractions, and early outplanting performance. *Can J For Res* 35:2961–2967. doi:[10.1139/x05-226](https://doi.org/10.1139/x05-226)
- Dumroese, R. K., Wenny, D. L., & Page-dumroese, D. S. (1995). Nursery waste water: the problem and possible remedies. *National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations*, 89–97.
- Ferrarezi, R. S., Weaver, G. M., Iersel, M. W. Van, & Testezlaf, R. (2015). Subirrigation: Historical Overview, Challenges, and Future Prospects. *HortTechnology*, 25(3), 262–276.
- Francis, J. K. (1990). *Fraxinus uhdei* ( Wenzig ) Lingelsh. *Fresno, tropical ash*.
- French, J., Montiel, K., & Palmieri, V. (2014). Posicionamiento institucional - la innovación en la agricultura: un proceso clave para el desarrollo sostenible. 20. <http://opackoha.iica.int/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=45>
- García, E. (2004). Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen (Quinta). Instituto de Geografía-UNAM. [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo\\_siglo21/serie\\_lib/modific\\_al\\_sis.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf)
- Green, W.J. and E., Green. 1895. Subirrigation in the greenhouse. Ohio Agricultural Experiment Station. Wooster. Ohio. Bulletin. 61.
- Hassanein, A. M. A. (2015). Effects of Irrigation and Method of Fertilization on Growth and Flowering Responses of Potted *Chrysanthemum*. 7(3), 80–86. <https://doi.org/10.5829/idosi.jhsop.2015.7.3.1159>
- Juntunen, M.-L., Hammar, T., & Rikala, R. (2002). Leaching of Nitrogen and Phosphorus during Production of Forest Seedlings in Containers. *Journal of Environmental Quality*, 31(6), 1868–1874.
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (2004). Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. Manual Agrícola. Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos, Servicio Forestal, 1, 52–100.
- Mathers, H. M., Yeager, T. H., & Case, L. T. (2005). Improving irrigation water use in container nurseries. *HortTechnology*, 15(1), 8–12.
- Miranda, F., & Hernández-X., E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. Boletín de La Sociedad Botánica de México, 28, 29–179. <https://doi.org/10.17129/botsoci.1084>
- Paudel, K. P., Pandit, M., & Hinson, R. (2016). Water Resources Research. Journal of the American Water Resources Association, 52, 698–712. <https://doi.org/10.1111/j.1752-1688.1969.tb04897.x>
- Perry, J.P. (1991). The Pines of Mexico and Central America. Timber Press, 9999 S.W. Whilshire, Portland, Oregon, 97225, USA. Pp.231.

- Pinto, J. R., Chandler, R. A., & Dumroese, R. K. (2008). Growth, nitrogen use efficiency, and leachate comparison of subirrigated and overhead irrigated pale purple coneflower seedlings. *HortScience*, 43(3), 897–901. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.3.897>
- Purvis, P., Chong, C., & Lumis, G. P. (2000). Recirculation of nutrients in container nursery production. *Canadian Journal of Plant Science*, 80(1), 39–45. <https://doi.org/10.4141/P99-012>
- Ribeiro, M. D., Ferrarezi, R. S., & Testezlaf, R. (2014). Assessment of subirrigation performance in eucalyptus seedling production. *HortTechnology*, 24(2), 231–237. <https://doi.org/10.21273/horttech.24.2.231>
- Richards, D. L., & Reed, D. W. (2004). New Guinea Impatiens growth response and nutrient release from controlled-release fertilizer in a recirculating subirrigation and top-watering system. *HortScience*, 39(2), 280–286. <https://doi.org/10.21273/hortsci.39.2.280>
- Rose, K., Parsons, T., Sloan, J., & Burney, O. (2018). Examples of Using Subirrigation Systems for Both Growing and Storing Seedlings. *Tree Planter's Note*, 61(2), 47–54.
- Schmal, J. L., Dumroese, R. K., Davis, A. S., Pinto, J. R., & Jacobs, D. F. (2011). Subirrigation for production of native plants in nurseries--concepts, current knowledge, and implementation. *Native Plants Journal*, 12(2), 81–93. <https://doi.org/10.3368/npj.12.2.81>
- USDA, F. S. (2014). Tropical Nursery Manual: A guide to starting and Operating a Nursery for Native and Traditional Plants (K. M. Wilkinson, T. D. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley, & R. K. Dumroese (eds.); Agricultur, Issue April).
- Zhu, H., Krause, C. R., Zondag, R. H., Brazee, R. D., Derksen, R. C., Reding, M. E., & Fausey, N. R. (2005). A New System to Monitor Water and Nutrient Use in Pot-in-pot Nursery Production Systems 1. *J. Environ. Hort*, 23(1), 47–53. Retrieved from <https://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=30132&content=PDF>

## CAPÍTULO 2. SISTEMAS DE FERTIRIEGO Y SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE ESPECIES FORESTALES EN VIVERO

### 2.1. RESUMEN

Los aspectos más importantes a considerar durante la producción de planta en vivero son el riego, la fertilización y el sustrato. Al manejar estos factores se garantiza obtener planta con los atributos deseables para el campo. Los objetivos de la investigación fueron; evaluar la morfología, la calidad de planta y el estado nutrimental de *Fraxinus uhdei*, *Pinus patula*, y *Pinus pseudostrobus*, producidas en vivero bajo dos sistemas de fertiriego y dos mezclas de sustrato. Las variables morfológicas evaluadas fueron altura, diámetro basal, longitud de raíz, biomasa aérea, biomasa subterránea, y biomasa total. Las variables de calidad evaluadas fueron el número de ramificaciones, la relación biomasa aérea/subterránea, el índice de esbeltez y el índice de calidad de Dickson. Además, se realizaron análisis químicos del follaje al final de la producción. El estado nutrimental de las plantas se analizó mediante diagramas de vectores, para ello, se obtuvo la biomasa foliar de veinte muestras de cada especie. El sistema de regadera produjo los mayores valores en las variables morfológicas de las tres especies, con excepción de la altura en *Pinus patula*. Las variables de calidad de planta igualmente se vieron favorecidas con regadera. La relación biomasa aérea/subterránea, resultó mayor en subirrigación, empero mayores valores de esta relación son menos adecuados. Por lo que esta relación no fue favorecida en subirrigación. Todas las variables resultaron mayores en sustrato base de turba para las tres especies. Entre biomasa foliar igualmente se observaron diferencias. Al crecer en sustrato base de turba, las plantas de fresno produjeron mayor biomasa foliar en fertiriego con regadera, mientras que para las coníferas resultó mayor en subirrigación. En cambio, para las tres especies en sustrato base de aserrín, la mayor biomasa foliar se obtuvo al recibir fertiriego con regadera. La concentración nutrimental de las plantas resultó mayor en fertiriego con subirrigación y en sustrato de turba. Sin embargo, para *F. uhdei* el mayor contenido se obtuvo en regadera y para ambas coníferas la mayor absorción se presentó en subirrigación. En aserrín, la absorción de nutrimentos fue mejor en sistema de regadera. Se produjo planta con atributos deseables a una temprana edad en ambos sistemas por efectos de la solución nutritiva. A pesar de que en subirrigación se produjeron los menores valores para la mayoría de variables morfológicas y de calidad, el estado nutrimental fue mejor en este sistema, lo cual puede ser una ventaja una vez en campo.

**Palabras clave:** vivero forestal, fertiriego, sustrato, regadera, subirrigación, nutrimentos.

## 2.2. ABSTRACT

The main factors to consider in nursery production are the irrigation method, the fertilization regime and the growing medium. These aspects contribute to obtain good quality stock with the desirable characteristics for outplanting. The objectives of the following research were to evaluate morphological attributes, plant quality and nutrient status of *Fraxinus uhdei*, *Pinus patula*, and *Pinus pseudostrobus* grown under two fertigation systems and two growing media mixtures. For all plants produced in the nursery, the height, the basal diameter, root length, aboveground biomass, root biomass and total biomass were evaluated. Also, the number of branches, the shoot/root ratio, slenderness index and the Dickson quality index were determined. Additionally, foliage samples were chemically analyzed. The nutrient status was interpreted with vector diagrams. For this analysis, foliar biomass was determined from twenty samples of each species. For all three species, the highest values of morphological attributes were obtained when grown under overhead hand fertigation, except for *Pinus patula*, where height was greater in subirrigation. Also, for most plant quality variables, except for the shoot/ root ratio, the highest values were attained with overhead hand fertigation. Plants with an elevated shoot/ root ratio are not considered good quality plants. So, this variable was not favored in subirrigation. The growing media composed of peat moss produced the highest morphological and plant quality attributes for the three species. Foliar biomass resulted different among species. When grown with peat moss, *F. uhdei* seedlings produced higher foliar biomass under overhead hand fertigation, whereas the two conifers had greater needle biomass in subirrigation. However, in sawdust, the three species, had superior foliar biomass under overhead hand fertigation. Nutrient concentrations were higher for the three species when grown in subirrigation with peat moss. The nutrient content for *F. uhdei* was higher in overhead hand fertigation, as for pines the greater absorption was obtained in subirrigación. For plants grown in sawdust, the higher nutrient content was obtained with overhead hand fertigation. In the present research, plant stock in both fertigation systems was produced with desirable traits due to the nutrient solution. Even though, the lowest values for most variables evaluated were obtained in subirrigation, the nutrient status was enhanced, which could be an advantage after outplanting.

**Key words:** nursery, substrate, overhead hand fertigation, subirrigation, nutrients.



### 2.3. INTRODUCCIÓN

El riego, la fertilización, el medio de crecimiento y el tipo de contenedor son aspectos importantes a considerar durante la producción de planta forestal en vivero (USDA, 2014). Aunque existen diversos sistemas de fertiriego y sustratos disponibles, el sistema de fertiriego y riego comúnmente utilizado es el de aspersión o bien, el manual con regadera (Sun et al., 2018). Paulatinamente se han adoptado otros sistemas de suministro de agua tal como la subirrigación. Por ejemplo, para la producción de especies como *Picea pungens* Engelm (Landis et al., 2006), *Quercus rubra* L. (Bumgarner et al., 2015), *Acacia koa* A. Gray (Dumroese et al., 2011), *Echinacea pallida* (Nutt.) Nutt. (Pinto et al., 2008), *Metrosideras polymorpha* Gaudich. (Dumroese et al., 2006), *Quercus variabilis* (Sun et al., 2018) y *Larix principis-rupprechtii* Mayr (Wan et al., 2019), se ha obtenido planta morfológica y fisiológicamente similar o mejor a la irrigada por aspersión, de tal manera que la subirrigación es un sistema con alto potencial para sustituir a los sistemas de riego y fertiriego comúnmente usados en los viveros tecnificados.

Uno de los factores más importantes a manejar durante la producción de planta en vivero es la nutrición. Tener un balance nutrimental apropiado es importante para lograr un adecuado crecimiento, desarrollo y para promover múltiples procesos fisiológicos y bioquímicos dentro de la planta. Cuando la planta no tiene los nutrimentos en sus concentraciones y balances óptimos, su vigor disminuye. Debido a que la mayoría de sustratos empleados son inertes, es necesario proporcionar nutrimentos a la raíz en el medio de crecimiento (Jacobs & Landis, 2014). Por tal motivo, la selección de sustratos que permitan una disponibilidad nutrimental apropiada y una aireación adecuada para la raíz es relevante. El material inerte comúnmente utilizado para la producción de planta en contenedor en los viveros tecnificados es la turba de musgo del género *Sphagnum*. Este sustrato se ha usado en México desde 1990. Sin embargo, se comenzó a sustituir por otros materiales debido al alto costo y por impactos ambientales durante su extracción y cosecha (Alexander et al., 2008). La investigación se ha enfocado hacia el uso de distintos medios de crecimiento para la producción de planta, así como la corteza de pino, el aserrín de forma compostado o fresco, la fibra de coco, el bagazo de agave, residuos de caña de azúcar y también desechos del café (Landis & Morgan, 2009). Estos factores son esenciales para obtener planta con un óptimo crecimiento y con características deseables para el mercado o para el objetivo de la producción (Liegel & Venator, 1987).

Desde la década pasada (2010), silvicultores han reconocido la importancia de producir planta en vivero con atributos deseables para el trasplante en campo (Grossnickle & Macdonald, 2018). La altura y el diámetro son los caracteres morfológicos evaluados comúnmente al final de la producción. Estos dos atributos son fáciles de medir y son estimadores de la calidad de semilla (Haase,2008). La altura se correlaciona con el número de acículas y sirve como estimador de la capacidad fotosintética y área de transpiración. Una mayor altura representa una ventaja para evitar la competencia en campo con herbáceas e indica una genética superior. De igual manera, puede ser una desventaja ya que resulta en mayor estrés hídrico, daños por viento o dificultades al plantar. El diámetro, es el carácter morfológico que mejor describe el crecimiento y supervivencia en campo. Generalmente, cuanto más grande sea, es mejor ya que indica un mayor volumen de tallo y sistema radicular grande para explorar y obtener recursos (Haase,2008). Conjuntamente, es primordial producir planta con un sistema radicular funcional para garantizar crecimiento y supervivencia en el campo. Por lo que la longitud de raíz es un rasgo estrechamente relacionado con el tamaño y profundidad del contenedor utilizado (Haase, 2011). No obstante, la producción de planta en contenedor presenta la ventaja de mantener intacto el sistema radicular (Mathers et al., 2007). La biomasa aérea es otra característica importante, planta con mayor biomasa de tallo y hojas exhibe una mayor capacidad fotosintética, la cual se relaciona con el crecimiento potencial de la planta. Presentar gran biomasa aérea conlleva a mayor transpiración, ocasionando estrés hídrico en la planta durante el establecimiento en sitios áridos. Plantas con mayor biomasa subterránea tienden a crecer más y presentan una mayor probabilidad de sobrevivir en el campo. Empero, esta variable no siempre refleja la fibrosidad de una raíz, debido a que plantas con muchas raíces finas pueden presentar una biomasa similar a plantas con una raíz principal grande. Para que una planta sea de calidad debe presentar un balance entre la biomasa aérea y subterránea, por lo tanto la biomasa total de una planta esta relacionada con el vigor y la productividad (Haase, 2008). Con base en lo anterior, la presente investigación tuvo por objetivos evaluar la morfología, la calidad de planta y el estado nutrimental de tres especies forestales, producidas en vivero bajo dos sistemas de fertiriego y dos mezclas de sustrato. La hipótesis planteada fue que, la planta producida en fertiriego por subirrigación es morfológicamente superior, de mejor calidad y presenta una mayor concentración de nutrimentos por efectos de la solución nutritiva utilizada.

## 2.4. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.4.1. Descripción del área de estudio

El prototipo de sistema de fertiriego por subirrigación se construyó en el Ejido Palo Bendito en el Municipio de Huayacocotla, Veracruz, ubicado a 20 ° 30' 33" latitud N y a 98 ° 30' 14" longitud oeste. El sitio es un área de plantación de *Pinus patula*, con clima templado subhúmedo, lluvias en verano y nieblas frecuentes, la temperatura media anual es de 14 ° C y una precipitación pluvial media anual de 1315 mm (García, 2004). Los suelos son principalmente lutitas y areniscas con textura franco-arcillosa. La vegetación natural en la zona es bosque de pino-encino (Miranda & Hernández-X., 1963). El prototipo se implementó en el interior de un invernadero rústico semiabierto en el que se registró una temperatura mínima de 4 ° C y una temperatura máxima de 32 ° C durante el período experimental.

### 2.4.2. Diseño experimental y tratamientos

El diseño experimental fue completamente al azar con un arreglo factorial. El estudio probó métodos de fertiriego en dos niveles, sustrato base en dos niveles y especies en tres niveles (Cuadro 2). La combinación de los niveles produjo 12 tratamientos en total. Cada tratamiento presentó cuatro repeticiones. La unidad experimental fue una rejilla de plástico con 25 tubetes. La cantidad total de plantas en el experimento fue de 1200 (600 de subirrigación y 600 de regadera).

Cuadro 2. Factores y niveles contrastados en el experimento

Factor	Niveles
Sistema de fertiriego	Regadera Subirrigación hasta inundación
Sustrato base	Turba de musgo Aserrín fresco de pino
Especies	<i>Fraxinus uhdei</i> <i>Pinus patula</i> <i>Pinus pseudostrobus</i>

El modelo estadístico utilizado fue:

$$y_{ijkl} = \mu + Sist_i + Sust_j + Spp_k + Sist_i * Sust_j + Sist_i * Spp_k + Sust_j * Spp_k + Sist_i * Sust_j * Spp_k + \epsilon_{ijk}$$

Donde;  $y_{ijk}$  es la variable l-ésima en el i-ésimo sistema de fertiriego del j-ésimo sustrato base y de la k-ésima especie,  $\mu$  es la media poblacional; Sist es el i-ésimo sistema de fertiriego; Sust es el j-ésimo sustrato base, Spp es la k-ésima especie y  $\epsilon_{ijk}$  es el error experimental.

### **2.4.3. Sistemas de fertiriego y preparación de mezclas de sustrato**

Los sistemas de fertiriego contrastados fueron el sistema por subirrigación bajo el principio de la inundación y el sistema manual con regadera. Para cada una de las fases de crecimiento, en ambos sistemas, se formularon soluciones nutritivas a base de fertilizantes solubles. Se prepararon 600 L de solución nutritiva para el sistema de subirrigación en cada etapa de crecimiento. El riego se aplicó diariamente y cada dos semanas se realizaron análisis nutrimentales de la solución nutritiva en el Laboratorio de Nutrición Vegetal del Colegio de Postgraduados. Estos análisis se efectuaron para determinar las cantidades faltantes de cada nutrimento y completar la solución nutritiva para minimizar la cantidad de agua y fertilizante utilizado. En el sistema manual con regadera se aplicaron 40 L de solución nutritiva cada dos días y se realizaron riegos con la misma cantidad de agua los demás días; esto, tras considerar la presencia de fertilizantes de liberación lenta en el sustrato.

Durante las primeras seis semanas en vivero después del trasplante, se utilizó el fertilizante iniciador Peters ® 9-45-15 a razón de  $0.51 \text{ g L}^{-1}$ , para tener una concentración de  $50 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrógeno. El fertilizante Peters ® 9-45-15, proporcionó a la solución con la cantidad óptima de fósforo, por lo que no se le adicionó otro material fertilizante. Para completar la cantidad óptima de potasio, se le adicionó  $0.09 \text{ g L}^{-1}$  de sulfato de potasio. Además, se adicionó  $0.80 \text{ g L}^{-1}$  de Sagaquel ® calcio para cumplir con el requerimiento de  $80 \text{ mg L}^{-1}$  de calcio y  $0.33 \text{ g L}^{-1}$  de sulfato de magnesio para conseguir los  $40 \text{ mg L}^{-1}$  requeridos de magnesio, según la solución de Landis et al. (2004). Posteriormente, para la etapa de crecimiento rápido, la solución nutritiva se realizó con el fertilizante Peters ® 20-20-20 a razón de  $0.75 \text{ g L}^{-1}$  junto con  $0.027 \text{ g L}^{-1}$  de urea para tener una concentración de  $150 \text{ mg L}^{-1}$  de nitrógeno. Igualmente, durante esta etapa, el fertilizante Peters ® 20-20-20, proporcionó a la solución nutritiva con la cantidad óptima de fósforo por lo que no se requirió agregar otro material fertilizante. Para cumplir con la concentración óptima de potasio, se le adicionó  $0.086 \text{ g L}^{-1}$  de sulfato de potasio. Además, se agregó  $0.8 \text{ g L}^{-1}$  de Sagaquel ® calcio y  $0.34 \text{ g L}^{-1}$  de sulfato de magnesio para tener una concentración de 80 y 40 ppm de calcio y magnesio, respectivamente, como lo indica Landis et al. (2004). Los fertilizantes solubles de Peters ® contienen baja proporción de micronutrientes por lo que se adicionó Sagaquel ® hierro en una

cantidad de 0.046 g L<sup>-1</sup>, Sagaquel ® manganeso a 0.015 g L<sup>-1</sup>, Sagaquel ® zinc a 0.002 g L<sup>-1</sup>, sulfato de cobre a una proporción de 0.0001 g L<sup>-1</sup> y nutriboro a 0.004 g L<sup>-1</sup>. Para la fase de endurecimiento, la solución nutritiva se preparó con el fertilizante Peters ® 4-25-35, a una concentración de 0.39 g L<sup>-1</sup> y con 0.075 g L<sup>-1</sup> de urea para proporcionar a la planta 50 mg L<sup>-1</sup> de nitrógeno. Para lograr la concentración óptima requerida de fósforo durante esta etapa, se le adicionó 0.07 g L<sup>-1</sup> de ácido fosfórico. Se adicionó 0.09 g L<sup>-1</sup> de sulfato de potasio para lograr los 150 mg L<sup>-1</sup> requeridos durante esta fase. Asimismo, se añadió Sagaquel ® calcio a 0.8 g L<sup>-1</sup> para proporcionar 80 mg L<sup>-1</sup> de este nutriente y sulfato de magnesio a 0.28 g L<sup>-1</sup> para los 40 mg L<sup>-1</sup> requeridos. Conjuntamente, se adicionó Sagaquel ® zinc, Sagaquel ® manganeso, Sagaquel ® hierro, sulfato de cobre y nutriboro en cantidad de 0.002, 0.015, 0.046, 0.0001 y 0.004 g L<sup>-1</sup>, respectivamente.

Se prepararon dos mezclas de sustrato, una a base de turba y otra a base de aserrín fresco de pino. La proporción de sustrato para ambas mezclas fue de 60-30-10, siendo 60 la proporción del sustrato base (turba o aserrín), 30 de perlita y 10 vermiculita. Además, se le adicionó fertilizante de liberación lenta a la mitad de los tubetes, correspondientes a 24 rejillas. Estas rejillas pertenecieron al sistema manual de fertiriego con regadera. Los fertilizantes de liberación lenta utilizados fueron Osmocote ® 14-14-14 y Multicote ® 18-06-12 en cantidades de 3 y 1 g.L<sup>-1</sup>, respectivamente. A los tubetes destinados para el sistema manual con regadera, se le agregó un total de 372 g de fertilizante, del cual 279 g correspondió a Osmocote ® y 93 g a Multicote ®. La liberación proyectada del Osmocote ® fue de 4 meses, mientras que la del Multicote ® de ocho meses. El Multicote ® abasteció a la plántula con nutrientes durante los últimos meses de estancia en el vivero y durante los primeros meses en campo. La combinación de los fertilizantes de liberación lenta, abasteció a cada plántula, con un total de 0.6, 0.21 y 0.45 g de N, P y K, respectivamente.

#### **2.4.4. Obtención de germoplasma y transplante**

La semilla de *Fraxinus uhdei* se recolectó de árboles ubicados en la Universidad Autónoma Chapingo, la semilla de *Pinus patula* provino de un rodal natural del Ejido La Selva, perteneciente al municipio de Huayacocotla, Veracruz, mientras que la semilla de *Pinus pseudostrobus* provino de un rodal natural del municipio de Ocampo, Michoacán. Las semillas se desinfectaron en agua con cloro a una concentración de 1%. De cada especie se germinaron aproximadamente tres mil semillas para obtener plántula homogénea. La germinación se realizó en charolas de plástico con una mezcla a base de turba, perlita y vermiculita. Las charolas se colocaron en una cámara de

germinación en el vivero del Posgrado en Ciencias Forestales durante tres meses y se regaron diariamente con agua. Además, cada dos días se le aplicó Captán para evitar la proliferación de hongos. El transplante de la plántula a los tubetes se realizó el 6 de febrero del 2019. Las plantas de fresno permanecieron en el vivero durante 5 meses por su hábito de crecimiento y las plantas de pino durante 7 meses.

#### **2.4.5. Variables evaluadas**

Se evaluó la altura y diámetro para cada planta. La altura se midió con un flexómetro y el diámetro con un vernier digital. Se obtuvieron datos de crecimiento para 646 plantas de pino y 151 plantas de fresno. Además, se obtuvo la biomasa aérea, biomasa de raíz, biomasa total, longitud de raíz y el número de ramificaciones desde la base para 20 plantas de cada especie en los diferentes tratamientos. Las plantas se secaron en una estufa en el vivero forestal del Colegio de Postgraduados durante 72 horas a una temperatura de 70° C. Se obtuvieron datos de 77 plantas de fresno y 161 plantas de pino. Posteriormente, con estas variables, se determinó la calidad de planta a través de índices morfológicos. Estos índices proporcionaron información sobre la condición de la planta. Se estimó la relación biomasa aérea/subterránea ( $B_a/B_s$ ), el índice de esbeltez ( $I_{es}$ ), y el índice de Dickson ( $ID$ ). La relación biomasa aérea/subterránea se obtuvo dividiendo la biomasa de follaje y tallo entre la biomasa subterránea. El índice de esbeltez, se calculó dividiendo la altura de la planta (cm) entre el diámetro (mm) y el índice de Dickson se estimó mediante la ecuación (Dickson et al., 1960):

$$QI = p / ((h/d) + (pa/ps))$$

Donde;  $QI$  es el índice de calidad,  $p$  es el peso anhidro total de la planta (g),  $h$  la altura (cm),  $d$  el diámetro (mm),  $pa$  es el peso anhidro de la parte aérea (g) y  $ps$  es el peso anhidro de la parte subterránea (g).

Además, se evaluó el estado nutrimental de las tres especies para conocer la concentración de nutrimentos en el follaje. Se mandaron muestras de follaje al Laboratorio de Nutrición Vegetal en el Colegio de Postgraduados, siguiendo las metodologías descritas por Alcántar y Sandoval (1999). Mediante un análisis gráfico de vectores, se evaluó el efecto de ambos sistemas de fertiriego y sustrato base en la nutrición de las plantas. Este análisis comparó el peso seco y la composición nutrimental de las plántulas en un nomograma, en el cual la concentración nutrimental ( $y$ ), el contenido nutrimental ( $x$ ) y el peso seco ( $z$ ) se utilizaron para satisfacer la función  $x=f(y,z)$  (van den Driessche, 1991). Para realizar este procedimiento, primeramente, se separaron cien acículas

de cada una de las veinte plantas de pino por tratamiento y 12 foliolos para las plantas de fresno. Las muestras foliares se secaron en una estufa a 70 ° C durante 48 horas. Posteriormente se obtuvo la biomasa del follaje y se molió para el análisis nutricional. Se hicieron 3 muestras compuestas de cada tratamiento; para los pinos se analizaron 12 muestras y para fresno 8 muestras. Se estudió la concentración de 10 nutrientes esenciales; nitrógeno, fósforo, potasio, calcio, magnesio, manganeso, cobre, hierro, zinc y boro.

#### **2.4.6. Análisis Estadístico**

Las variables de interés se analizaron con el procedimiento PROC MIXED mediante la estimación de máxima verosimilitud para probar diferencias entre factores. Conjuntamente, se obtuvo las medias y el error estándar de cada variable por especie (SAS, Institute, 2012).

## 2.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de  $p$  del Cuadro 3 indican diferencias significativas entre especies en todas las variables estudiadas. De igual manera los sistemas de fertiriego probados tuvieron efectos significativos con excepción del número de ramificaciones (NR) e índice de esbeltez (Ies) ( $\alpha = 0.05$ ). Todas las variables mostraron diferencias entre los sustratos estudiados excepto el índice de esbeltez. Las interacciones Spp\*Sist, Sist\*Sust y Spp\*Sust fueron significativas solamente para la variable altura, mientras que la variable biomasa de raíz (BR), relación biomasa área/subterránea (Ba/Bs) y el índice de Dickson (ID) fueron afectados por la interacción Spp\*Sist solamente. La biomasa aérea (BA) y la relación biomasa área/subterránea fueron significativas para la interacción Sist\*Sust. En la interacción entre los tres factores solamente la biomasa aérea y biomasa total fueron relevantes.

Cuadro 3. Valores de  $p$  del análisis de varianza para el experimento de fertiriego y sustratos en especies forestales

Efectos	Alt	DB	LR	BA	BR	BT	NR	Ba/Bs	Ies	ID
Spp	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
Sist	0.0005	0.0413	<.0001	0.0453	<.0001	<.0001	0.436	<.0001	0.3654	<.0001
Sust	<.0001	<.0001	0.0072	<.0001	0.0008	<.0001	<.0001	<.0001	0.8980	<.0001
Spp*Sist	<.0001	0.1004	0.5250	0.2616	0.0001	0.0772	0.146	0.0239	0.0998	0.0010
Sist*Sust	0.0009	0.0687	0.2244	0.0309	0.5586	0.3638	0.539	0.0107	0.1657	0.5219
Spp*Sust	0.0073	0.0741	0.3165	0.7208	0.1239	0.3623	0.014	0.0823	0.9517	0.0444
Spp*Sist*Sust	0.8962	0.4968	0.2705	0.0214	0.1823	0.0349	0.982	0.2182	0.1181	0.0555

Alt: altura; DB: diámetro basal; LR: longitud de raíz; BA: biomasa aérea; BR: biomasa de raíz; BT: biomasa total; NR: número de ramificaciones; Ba/Bs: relación biomasa aérea/raíz; Ies: Índice de esbeltez; ID: Índice de Dickson; Spp: especie; Sist: sistema; Sust: sustrato.

La Figura 2 confirma las diferencias entre sistemas de fertiriego para las variables altura (Alt), longitud de raíz (LR), biomasa de raíz (BR) y biomasa total (BT) para las tres especies producidas en la presente investigación. Los sistemas de fertiriego no revelaron efectos significativos en el diámetro basal (DB), ni en la biomasa aérea (BA) para *F. uhdei* y *P. patula*; en cambio, para plantas de *P. pseudostrobus* la biomasa aérea fue significativamente diferente entre sistemas de fertiriego (Figura 2). Para todas las variables, con excepción de la longitud de raíz en plantas de *F. uhdei*, en las tres especies se observaron diferencias entre sustrato base utilizado (Figura 2). Las tres especies en ambos sistemas y mezclas de sustrato, excedieron el rango de altura (25-30 cm) y diámetro



(>4mm) establecido en la NMX-AA-170SCFI-2016 para la certificación de la operación de viveros forestales.

En los casos en que se presentaron efectos significativos del sistema de fertiriego, el fertiriego con regadera produjo los mayores valores de las variables con excepción de la altura para plantas de *P. patula* que fue mayor en subirrigación (Figura 2). En el caso del presente experimento es probable que los menores valores de las variables de respuesta se deban a un factor de estrés abiótico denominado hipoxia, generado por el sistema de subirrigación. Además, se sabe que la raíz de plantas producidas en contenedor presentan una mayor respiración, por lo tanto, requieren mayor cantidad de oxígeno para crecer (Argo, 1998). El sistema de fertiriego por subirrigación implementado consistió de la inundación de las unidades experimentales mediante el uso de una bomba de pecera con la cual se logró la inundación en aproximadamente una hora y 20 minutos. En este tiempo es probable que la anegación de raíces de las tres especies haya sufrido deficiencias de oxígeno, con la consecuente afectación en la absorción de agua y nutrientes (Franco et al., 2011; Stewart, 1992). Además es probable que se haya presentado la muerte de raíces, afectando el crecimiento general de las plantas para las tres especies (Yafuso & Fisher, 2017). Además de la hipoxia y muerte de raíces, se pudo haber presentado un efecto de inhibición del crecimiento de la raíz por efectos del cobre en la solución nutritiva (Jiang et al., 2001). Generalmente, las sales de cobre son utilizadas como tratamiento químico para la poda de raíces durante la producción de planta en contenedor, por tal motivo este elemento pudo haber influido en el desarrollo y crecimiento de las plantas (Crawford, 1997). Wan et al. (2019) compararon la producción de *Larix principis-rupprechtii* Mayr en subirrigación y aspersión y encontraron, en coincidencia con el presente estudio, que las plantas de subirrigación generaron menor sistema radical que las de aspersión. Los autores consideran que el menor crecimiento de raíces en subirrigación se debió a la acumulación de sales en la parte superior del cepellón. En el presente estudio, no se dio seguimiento al comportamiento de la conductividad eléctrica en el sustrato; sin embargo, es poco probable que se haya acumulado sal en el sustrato, debido a que el fertiriego se proporcionó hasta inundar la totalidad del sustrato, por lo que en cada fertiriego se disolvieron las sales presentes en el mismo. Los menores valores en sustrato de aserrín, se deben a que el aserrín presenta tasas de descomposición por la actividad microbiana, y estos organismos tienden a inmovilizar nutrientes, los cuales se hacen menos disponibles para las plantas (Pineda-Pineda et al., 2012).

Con el uso de residuos orgánicos como sustrato es recomendable hacer un ajuste en la fertilización y riego (Maas & Adamson, 1975).

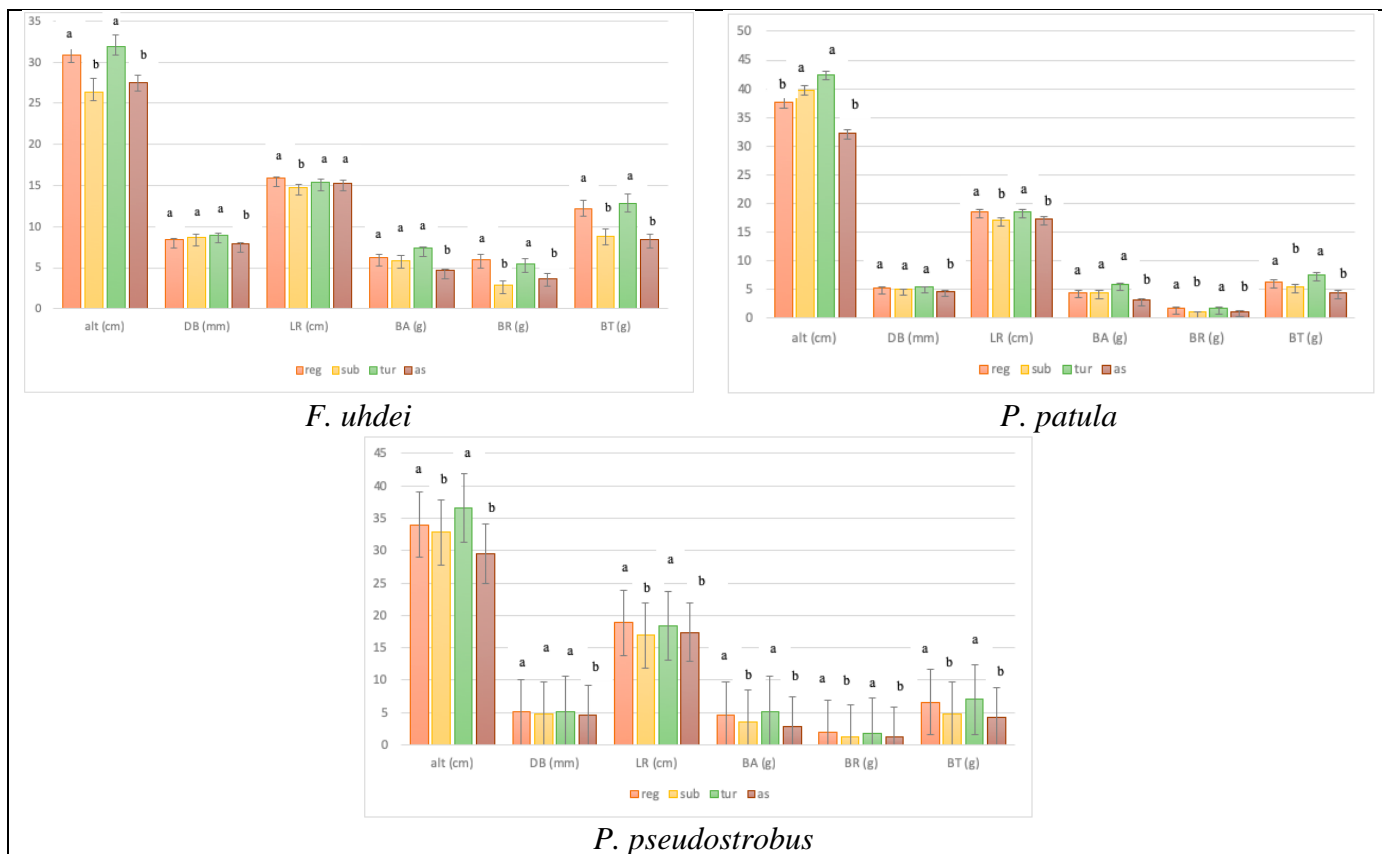


Figura 2. Comportamiento de las variables morfológicas en plántulas de tres especies forestales sujetas a dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base.

alt: altura total; DB: diámetro basal; LR: longitud de raíz; BA: biomasa aérea; BR; biomasa raíz; BT: biomasa total. Para una variable de respuesta y factor de variación, letras iguales indican diferencias no significativas (Tukey  $\alpha=0.05$ ).

Respecto a las variables de calidad de planta, se observaron diferencias entre sistemas de fertiriego para el número de ramificaciones (NR), relación biomasa aérea/subterránea (Ba/Bs), índice de esbeltez (Ies) e índice de Dickson (ID) para *F. uhdei* y *P. patula*. Para las plantas de *P. pseudostrobus* la única variable que no mostró diferencias entre sistemas fue el índice de esbeltez (Figura 3). Entre sustrato base utilizado en las tres especies, se observaron diferencias en todas las variables de calidad evaluadas (Figura 3). De acuerdo con Rodríguez-Trejo (2008), la relación Ba/Bs, para plantas producidas en vivero debe ser igual a uno. Por lo tanto, para las tres especies en ambos sistemas y sustratos, este índice resultó mayor al valor establecido, indicando mayor biomasa aérea. Por consiguiente, la planta obtenida puede no ser apta para sitios áridos y con fuertes vientos (Rodríguez-Trejo, 2008). Un índice de esbeltez adecuado debe ser menor a seis (Jaenicke, 1999); en *F. uhdei* esta variable resultó menor, mientras que en las dos especies de pino fue mayor a seis, indicando que la planta de estas coníferas tal vez no es apta para sitios con

limitaciones de humedad, vientos y presencia de heladas (Roller, 1976). Con base a lo establecido por Sáenz et al., (2010), el índice de Dickson en plantas de fresno resultó alto y de acuerdo con lo obtenido por Dickson (1960), las plantas de pino presentaron un índice de Dickson dentro del rango establecido. Posiblemente, los índices resultaron elevados en toda la producción por efecto de la solución nutritiva aplicada (Duryea & Landis, 1984).

En sistema de fertiriego por subirrigación la relación biomasa aérea/subterránea fue la única variable con mayor valor para las tres especies. La mayor relación Ba/Bs en plantas de subirrigación, indica que la producción de raíz en este sistema de fertiriego fue deficiente, lo que coincide con el estudio de Wan et al. (2019). En el presente estudio, es más probable que la escasez en la producción de raíces haya sido consecuencia de la falta de oxígeno en la rizosfera, ya que, el sistema radical de las plantas permaneció inundado por mucho tiempo (aproximadamente 2 h), lo que probablemente causó hipoxia o incluso anoxia en la rizosfera. No hay datos sobre este fenómeno para coníferas, sin embargo, Morard et al. (2000) mencionan que la anoxia en la solución nutritiva causó una disminución de 20-30 % en la absorción de agua en plantas de tomate después de 48 h, aunque la absorción de nutrientes excepto nitratos, paró 10 h después de suspendido el suministro de oxígeno. Asimismo, es probable que la menor producción de raíz en subirrigación se debe a un efecto de la aplicación de Cupravit, debido a que este compuesto permaneció en la solución nutritiva, a diferencia de lo ocurrido en las plantas de regadera. Las plantas de subirrigación tuvieron altas concentraciones de cobre en el follaje, por lo que, al aumentar el abastecimiento de este nutriente, después de cierta concentración el crecimiento de la raíz disminuyó como lo observado por Arduini et al. 1995. En las plantas de *P. patula* el número de ramificaciones igualmente fue mayor en el sistema de subirrigación (Figura 3). Hardeep & Dunn (2017), indican que planta producida en hidroponía producen mayor cantidad de brotes. Esa aseveración es congruente con lo observado en el presente estudio. En sustrato base de turba, las variables de calidad, Ba/Bs e ID, presentaron valores mayores en las tres especies. Empero, para los pinos, el número de ramificaciones igualmente resultó mayor que en sustrato base de aserrín. Para las tres especies, el Ies no mostró diferencias entre sustratos (Figura 3).

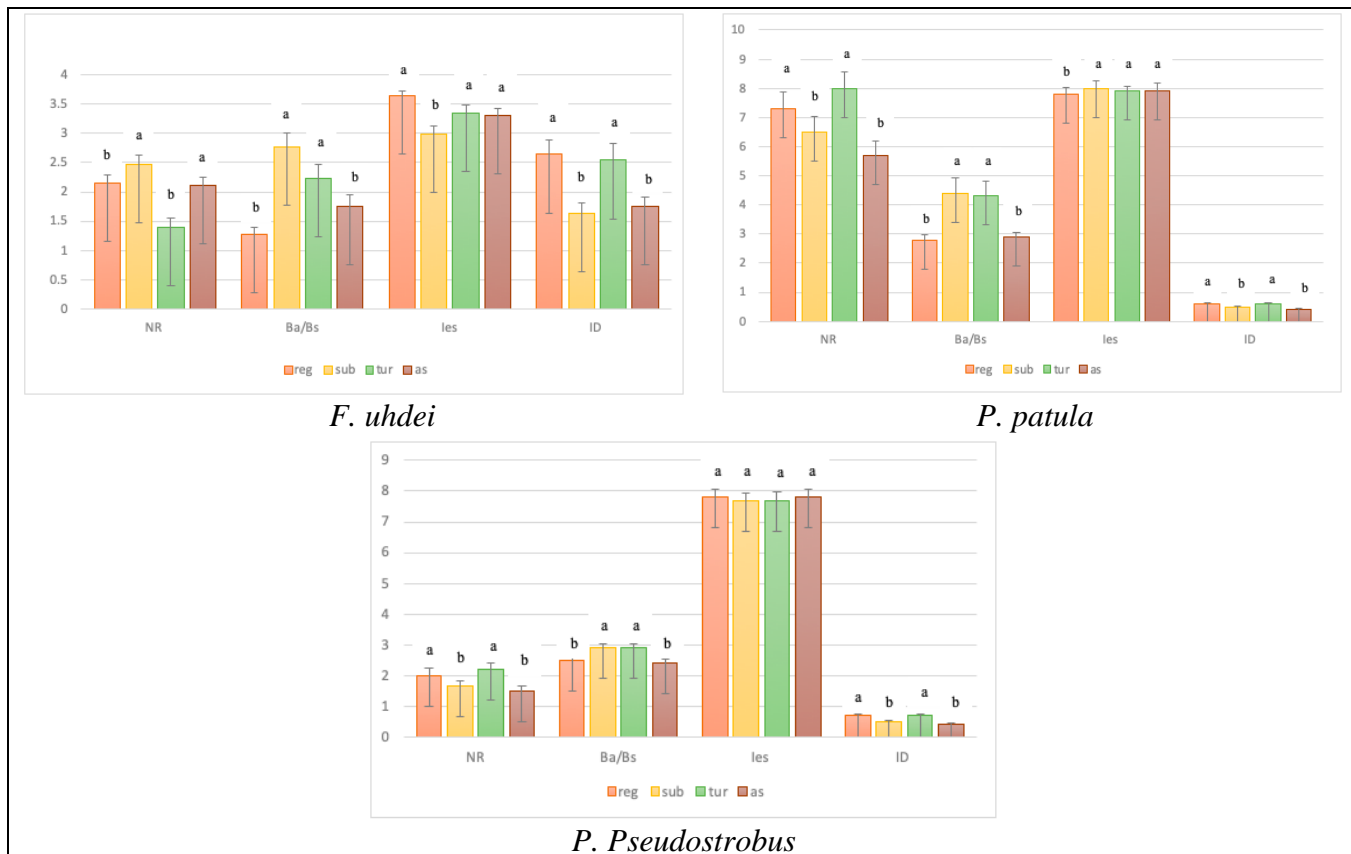


Figura 3. Comportamiento de variables de calidad en plántulas de tres especies forestales sujetas a dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base.

NR: número de ramificaciones; Ba/Bs: relación biomasa aérea/biomasa subterránea; Ies: índice de esbeltez; ID: índice de Dickson. Para una variable de respuesta y factor de variación, letras iguales indican diferencias no significativas (Tukey  $\alpha=0.05$ ).

Se observaron diferencias en la biomasa foliar entre sistemas y sustratos (Cuadro 4). Las plantas de *F. uhdei* presentaron mayor biomasa foliar al crecer en fertiriego con regadera y en turba de musgo que en subirrigación. Esto fue lo contrario a lo observado por Bumgarner et al., (2008) para *Quercus rubra* L. En las dos coníferas, la biomasa de acículas fue mayor en subirrigación con sustrato de turba (Cuadro 4). En las tres especies, se observó una mayor producción de biomasa foliar en el sistema de fertiriego con regadera cuando las plantas crecieron en sustrato base de aserrín (Cuadro 4). Según Castro-Garibay et al (2019), el sustrato a base de aserrín presenta mayor capacidad de retención de humedad que el de turba. Esto sugiere que en aserrín con subirrigación este efecto de retención de agua pudo haberse exacerbado, limitando la disponibilidad de oxígeno en el cepellón, lo cual puede explicar la menor producción de biomasa foliar en las tres especies. Contrariamente, en turba, por tener menor capacidad de retención de humedad, el sistema de subirrigación, al abastecer de mayor cantidad de agua a las plantas, promovió la producción de

mayor biomasa foliar que el sistema de fertirriego con regadera en las especies de pino. Esto, sin embargo, no significa que los problemas de falta de oxígeno no hayan estado presentes, en alguna medida, en el sistema de subirrigación.

Cuadro 4. Biomasa promedio y error estándar para tres especies forestales producidas en dos sistemas de fertirriego y dos mezclas de sustrato

Especie	Sistema de fertirriego	Sustrato base	Biomasa follaje (g)
<i>F. uhdei</i>	Regadera	Turba	1.572 ± 0.386 a
	Subirrigación	Turba	1.163 ± 0.372 b
	Regadera	Aserrín	1.225 ± 0.386 a
	Subirrigación	Aserrín	1.119 ± 0.468 b
<i>P. patula</i>	Regadera	Turba	0.321 ± 0.145 b
	Subirrigación	Turba	0.681 ± 0.362 a
	Regadera	Aserrín	0.392 ± 0.153 a
	Subirrigación	Aserrín	0.306 ± 0.193 a
<i>P. pseudostrobus</i>	Regadera	Turba	0.824 ± 0.263 b
	Subirrigación	Turba	0.990 ± 0.250 a
	Regadera	Aserrín	0.958 ± 0.277 a
	Subirrigación	Aserrín	0.618 ± 0.251 b

Para una variable de respuesta y factor de variación, letras iguales indican diferencias. (Tukey,  $\alpha=0.05$ ).

La concentración foliar de nutrimentos varió entre tratamientos para cada especie. En general se tuvieron mayores concentraciones en el sistema de subirrigación y con sustrato a base de turba, especialmente en cuanto a macronutrimentos primarios (Cuadro 5). El sistema de regadera resultó ser más eficiente para abastecer a las plantas con calcio, zinc y boro ya que son elementos poco móviles y su aplicación directa en el follaje influyó en su concentración. En general el sistema de subirrigación, mejoró las concentraciones foliares de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, cobre y manganeso. Dado que, las plantas en subirrigación generaron menor biomasa que las de regadera, se puede deducir que, las mayores concentraciones foliares de las plantas de subirrigación son producto de efectos de concentración por reducción del crecimiento (López-López & Alvarado-López, 2010).

Cuadro 5. Concentración foliar de nutrimentos en las especies forestales evaluadas

Especie	Trat.	N (g kg <sup>-1</sup> )	P (g kg <sup>-1</sup> )	K (g kg <sup>-1</sup> )	Ca (g kg <sup>-1</sup> )	Mg (g kg <sup>-1</sup> )	Fe (mg kg <sup>-1</sup> )	Cu (mg kg <sup>-1</sup> )	Zn (mg kg <sup>-1</sup> )	Mn (mg kg <sup>-1</sup> )	B (mg kg <sup>-1</sup> )
<i>F. uhdei</i>	RegTur	16.6	3.1	3.8	4.6	2.2	307	43.2	42.4	40.4	26.6
	SubTur	16.8	3.3	4.9	4.1	2.1	325	17.9	18.8	102	24.9
	RegAs	16.2	2.9	4.2	4.1	2.3	188	9.5	40.2	35.3	28
	SubAs	16.2	3.0	5.0	3.3	1.9	158	20	20	59.3	25.6
<i>P. patula</i>	RegTur	18.8	3.0	17.8	2.4	1.5	263	6.8	43.7	138.1	142.7
	SubTur	22.5	3.0	22.2	1.9	1.4	1908	42.9	25.2	168.1	79.4
	RegAs	18.8	2.8	15.6	2.0	1.1	136	6.7	56	157.6	126.8
	SubAs	19.0	2.5	21.1	2.0	1.2	561	27.9	35.2	179.3	84.2
<i>P. pseudostrabus</i>	RegTur	16.1	2.5	19.7	1.8	1.4	181	4.8	39.5	70.9	112
	SubTur	20.8	2.7	20.4	1.7	1.3	135	10.8	30.7	117.6	71.8
	RegAs	18.8	2.5	17.2	1.6	1.3	181	7.1	60	128.1	115.9
	SubAs	17.5	2.7	19.5	1.4	1.3	676	22.5	34.3	144.9	73.3

Reg; regadera, Sub; subirrigación, Tur; turba de musgo, As; aserrín de pino

Las plantas de *Fraxinus uhdei* mostraron un mayor contenido de macronutrimentos cuando crecieron bajo un sistema de fertiriego con regadera en sustrato base de turba (Figura 4). Lo observado fue lo opuesto a lo determinado por Bumgarner et al., (2008), para *Q. rubra* quienes observaron mayor contenido por medio de subirrigación. En el presente experimento, en regadera con sustrato de turba, se observó un efecto de dilución de macronutrimentos foliares, excepto calcio, por un aumento en la biomasa de foliolos (Birchler et al., 1997). En subirrigación, independientemente del sustrato utilizado, se observó un efecto de concentración debido a la reducción del crecimiento con respecto a las plantas provenientes del sistema de fertiriego con regadera (Birchler et al., 1997; López-López & Alvarado-López, 2010). El abastecimiento de Ca y Mg presentó limitaciones en el sistema de subirrigación, que se manifestaron en menores contenidos foliares de estos elementos (Figura 4). Independientemente del sustrato utilizado, el sistema de fertiriego con regadera mostró mayor eficiencia para abastecer a las plantas con los macronutrimentos estudiados, excepto potasio, en cuyo caso, el sistema de subirrigación indujo mayores contenidos foliares (Figura 4). El sustrato a base de turba de musgo provee de forma más eficiente a las plantas con todos los macronutrimentos.

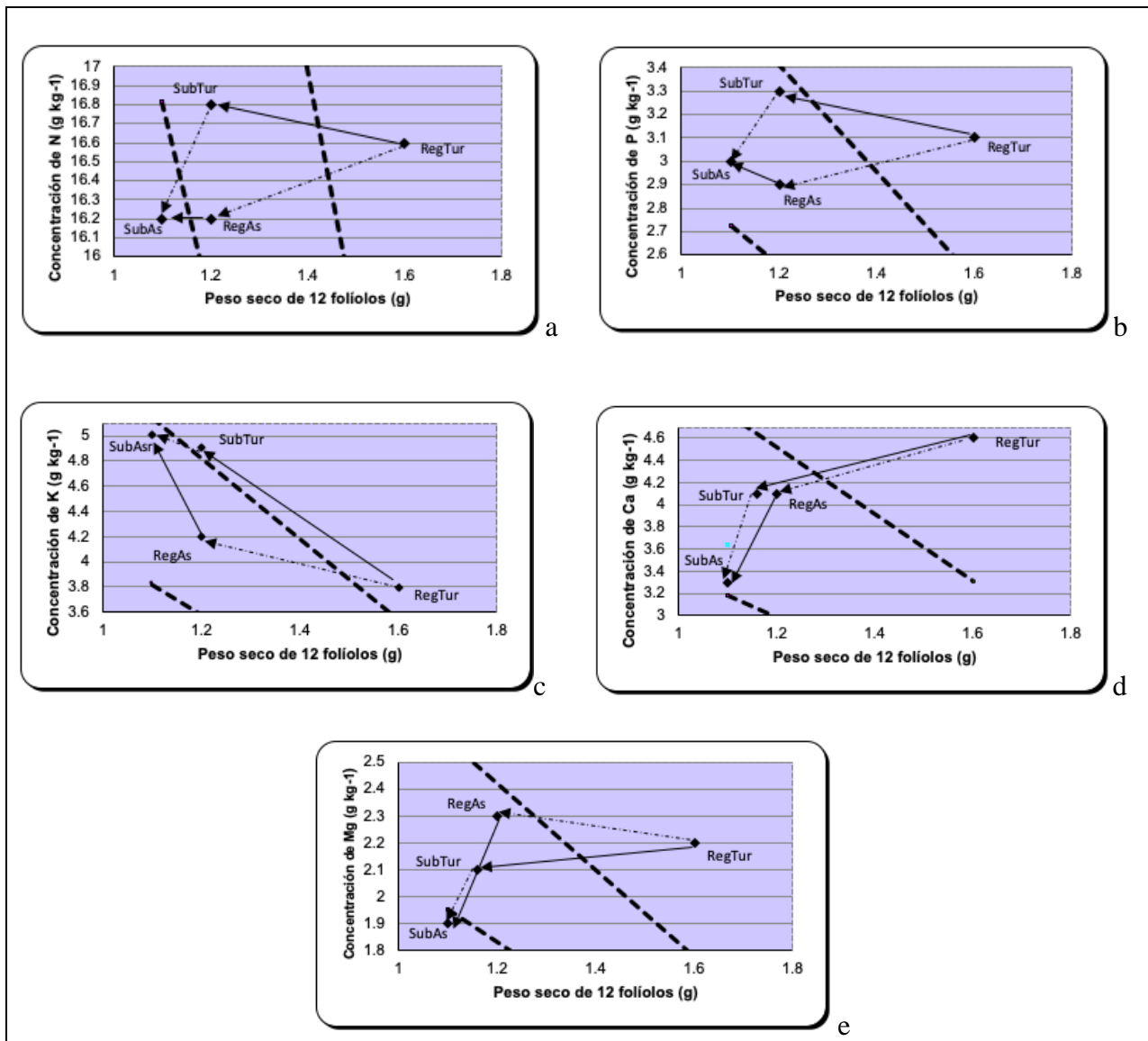


Figura 4. Diagramas de vectores para macronutrientes en *F. uhdei* en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertirriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz.

En la Figura 5, se observa que el sistema de subirrigación produjo menores contenidos y concentraciones de Fe, Zn y B en el follaje de las plantas de *F. uhdei*; sin embargo, en el caso del Mn, el sistema de subirrigación generó mayores concentraciones foliares, independientemente del sustrato utilizado (Figura 5). En sistema de regadera se observó un efecto de dilución de nutrientes por presentar un mayor crecimiento (López-López & Alvarado-López, 2010). En turba, el contenido de Cu fue mayor en el sistema con regadera, mientras que, en sustrato de aserrín, el sistema de subirrigación proveyó a la planta de una mayor concentración de este micronutriente. Al parecer, el sustrato de aserrín es más eficiente que la turba para adsorber el



Cu en el sistema de subirrigación. Es menester mencionar que las concentraciones foliares de Cu en *F. uhdei* fueron muy elevadas en todos los casos. Esto se debió a la adición de Cupravit® (producto fungicida a base de cobre) a las soluciones nutritivas utilizadas, para el control de enfermedades fúngicas en las raíces.

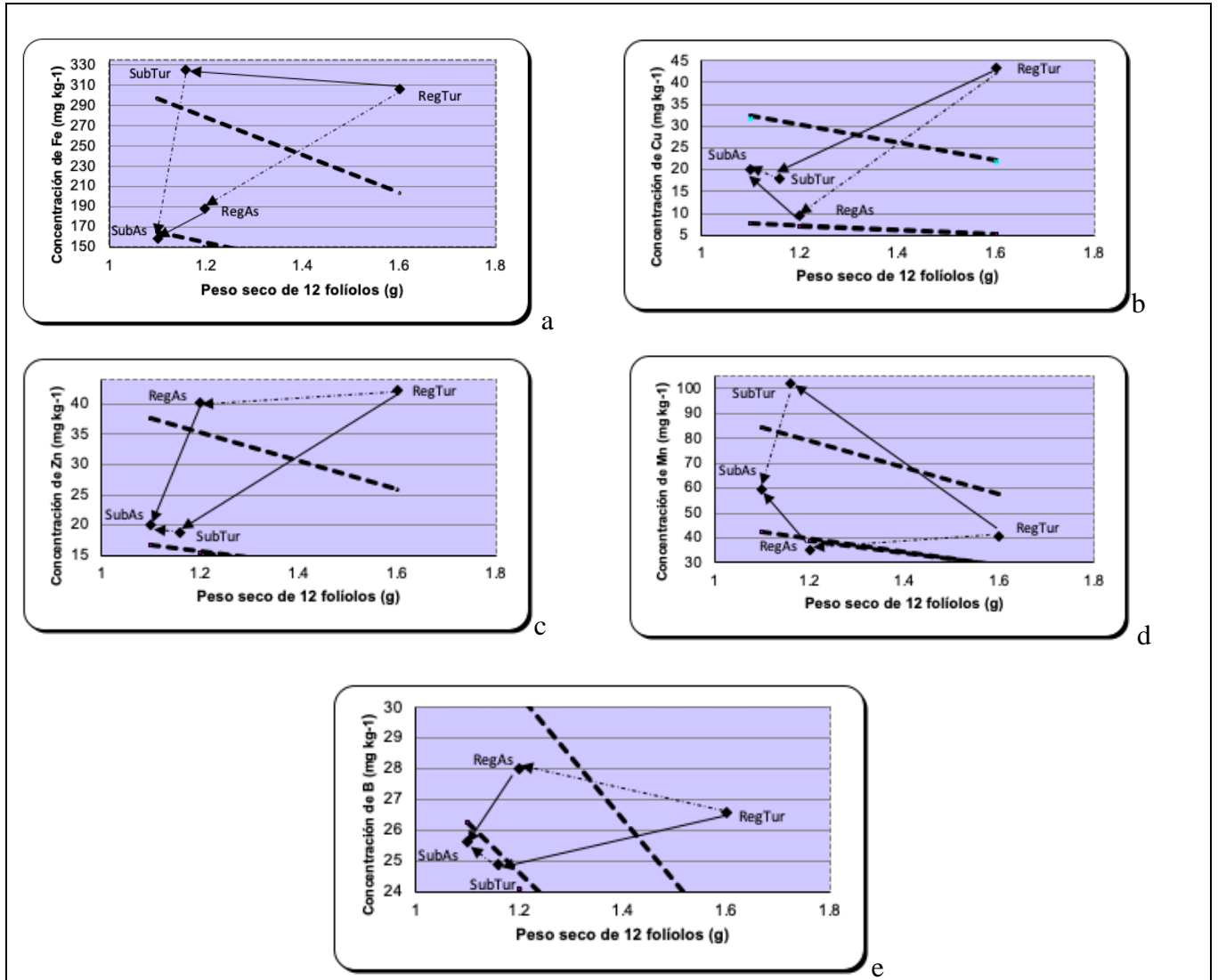


Figura 5. Diagramas de vectores para micronutrientos en *F. uhdei* en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz.

Las Figuras 6 y 7 muestran que el sistema de subirrigación abasteció más eficientemente a las plantas con los macronutrientos estudiados (mayores contenidos nutrimentales), que el sistema con regadera, cuando se usó turba como sustrato; lo contrario ocurrió cuando el sustrato fue aserrín (mejor abastecimiento en sistema de regadera). Esto indica que, en las coníferas estudiadas, el sistema de subirrigación es más compatible con el sustrato que, de acuerdo con Castro-Garibay

(2019), presenta menor retención de humedad (turba); mientras que, si se desea utilizar aserrín como sustrato base, el sistema de fertiriego con regadera es más apropiado. Con estas combinaciones de sistema de fertiriego y sustrato se logró obtener los mayores valores de peso seco de acículas.

En cuanto a la biomasa de 100 acículas, es notable el hecho de que la mejor combinación sistema de fertiriego-sustrato fue subirrigación-Turba, mientras que la segunda mejor combinación fue sistema con regadera-aserrín. Esto confirma lo señalado por Castro-Garibay et al. (2019), en el sentido que el aserrín es un sustrato adecuado en el sistema de producción tecnificado.

En subirrigación con aserrín para las dos coníferas el contenido de macronutrientes foliares fue menor junto con menor producción de biomasa (Figuras 6 y 7), por lo que se observó un efecto de concentración de éstos (Birchler et al., 1997). El N y K, en tejido foliar por subirrigación en turba para ambas especies, se determinó como deficiente ya que este comportamiento corresponde a aumentos en concentración, biomasa y contenido (Haase & Rose, 1985). El fósforo para *P. pseudostrobus* igualmente presentó este comportamiento. Pudo ser que en algún momento estos nutrientes fueron deficientes y al agregar los nutrientes faltantes a la solución cada dos semanas se pudo haber presentado un consumo de lujo posteriormente (López-López & Alvarado-López, 2010). En las Figuras 6 y 7, en plantas provenientes de subirrigación con turba, el Ca y Mg, en tejido vegetal mostraron un efecto de dilución al exhibir un aumento en biomasa, disminución en concentración e incremento en contenido (Birchler et al., 1997; López-López & Alvarado-López, 2010). Este efecto de dilución se presentó para P en *P. patula* en el mismo sistema y sustrato base.

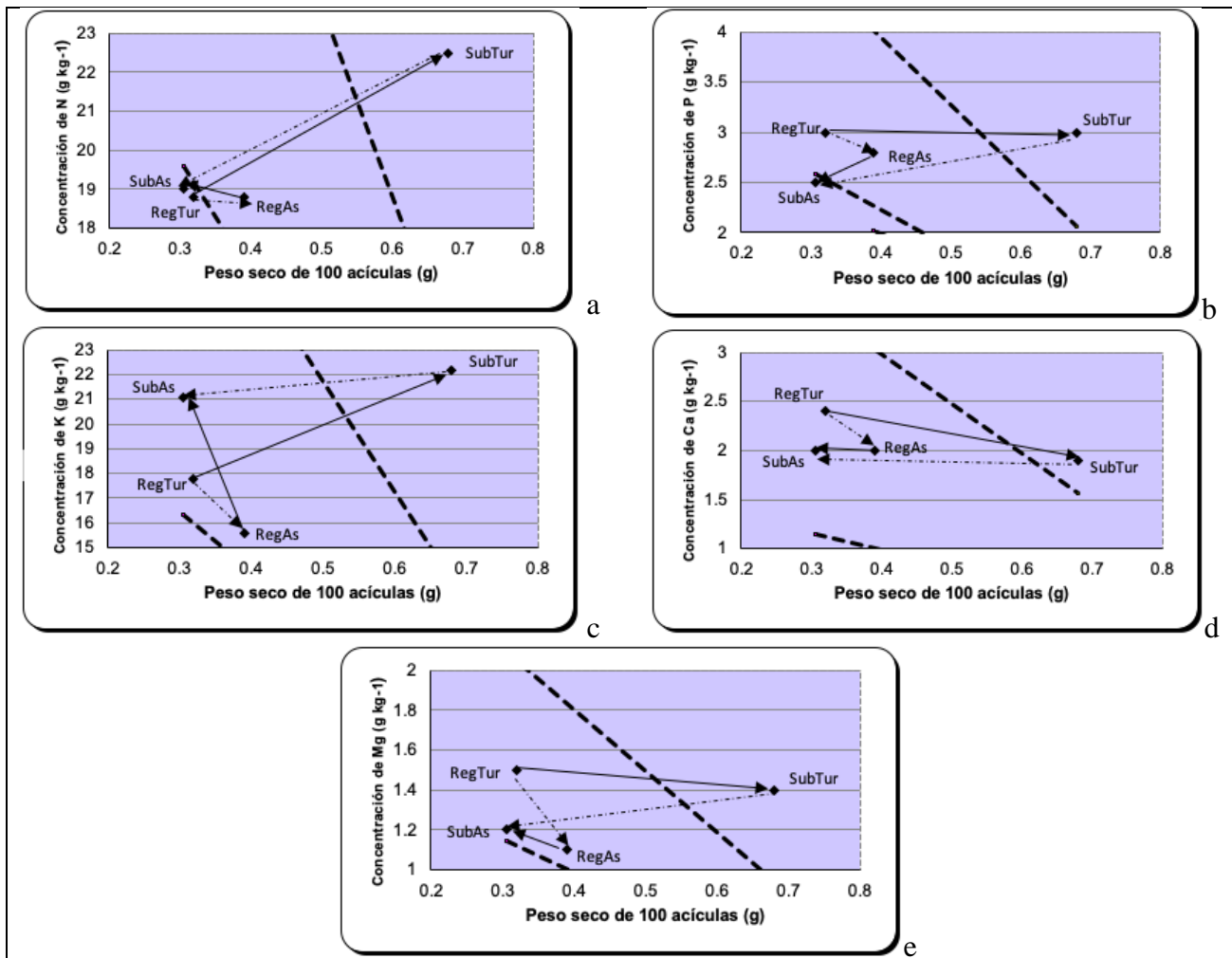


Figura 6. Diagramas de vectores para macronutrientos en *P. patula* en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz.

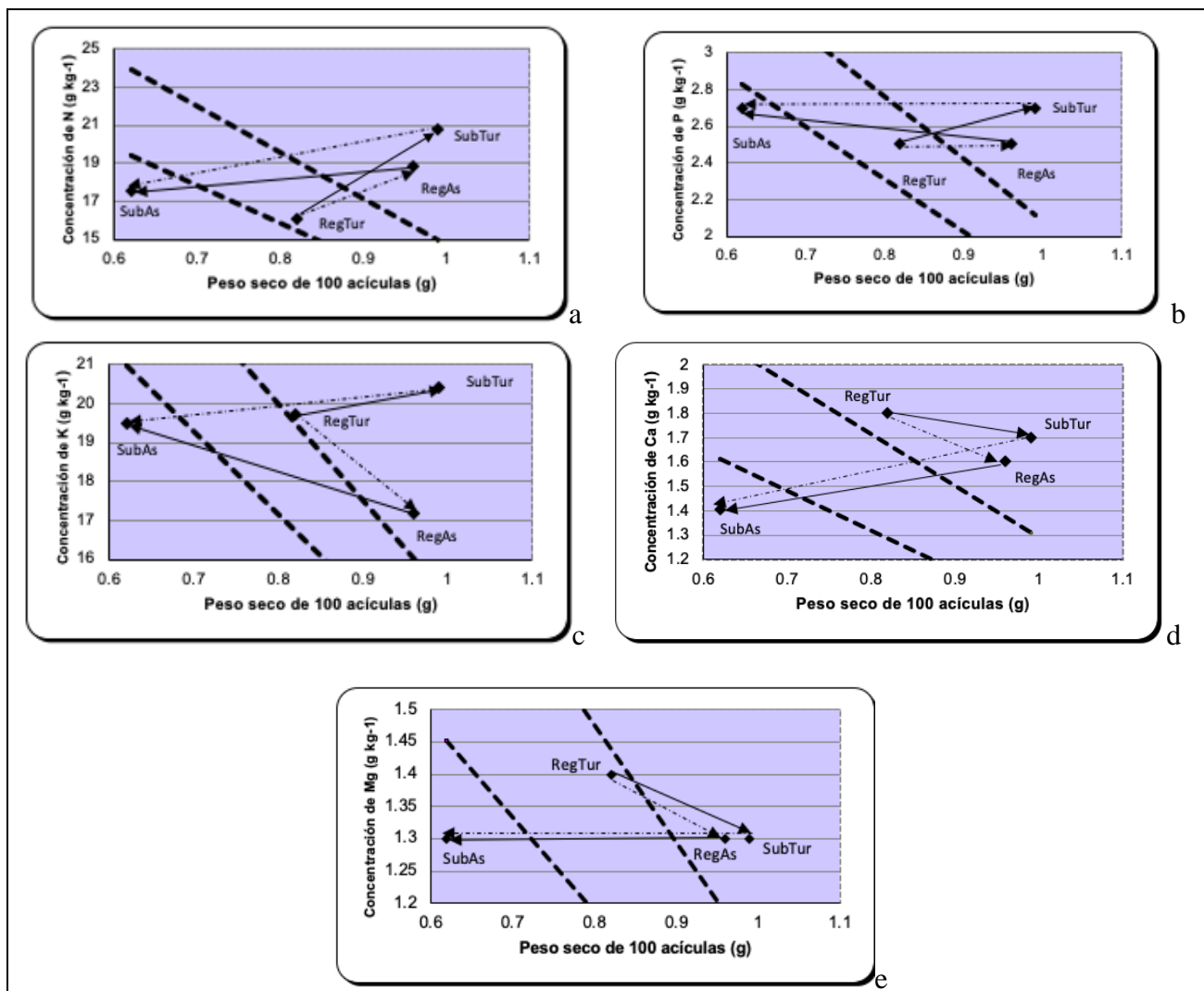


Figura 7. Diagramas de vectores para macronutrientes en *P. pseudostrobilus* en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz.

Las Figuras 8 y 9, se muestran el comportamiento de los micronutrientes en tejido foliar de *P. patula* y *P. pseudostrobilus*. El mayor contenido de nutrientes en plantas de *P. patula* se observó en el sistema de subirrigación con sustrato de turba, excepto para Zn (Figura 8). Este comportamiento del contenido de micronutrientes entre sistemas no se presentó en *P. pseudostrobilus*, excepto para Mn donde fue mayor por subirrigación con turba (Figura 9). En sustrato base de aserrín en los dos sistemas de fertiriego para las dos especies, los micronutrientes foliares presentaron un efecto de concentración por un menor crecimiento y contenido (Birchler et al., 1997; López-López & Alvarado-López, 2010). En acículas de *P. patula*, B y Zn mostraron un claro efecto de dilución en el sistema de subirrigación con turba; esto por un aumento en la

biomasa. Este mismo comportamiento se observó para Fe, Cu, Zn y Mn en *P. pseudostrobus* (Figura 8 y 9).

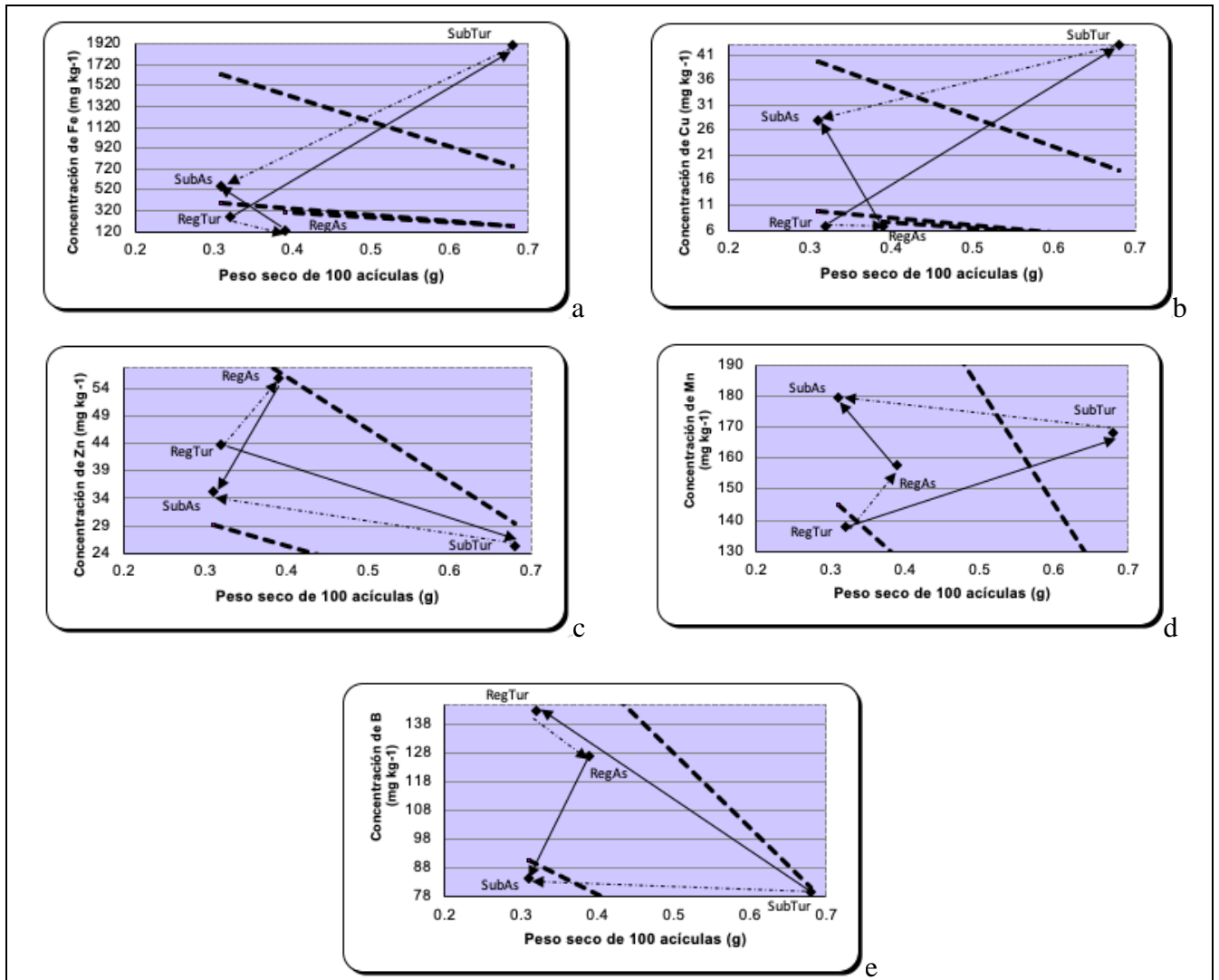


Figura 8. Diagramas de vectores para micronutrientos en *P. patula* en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertirriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz.

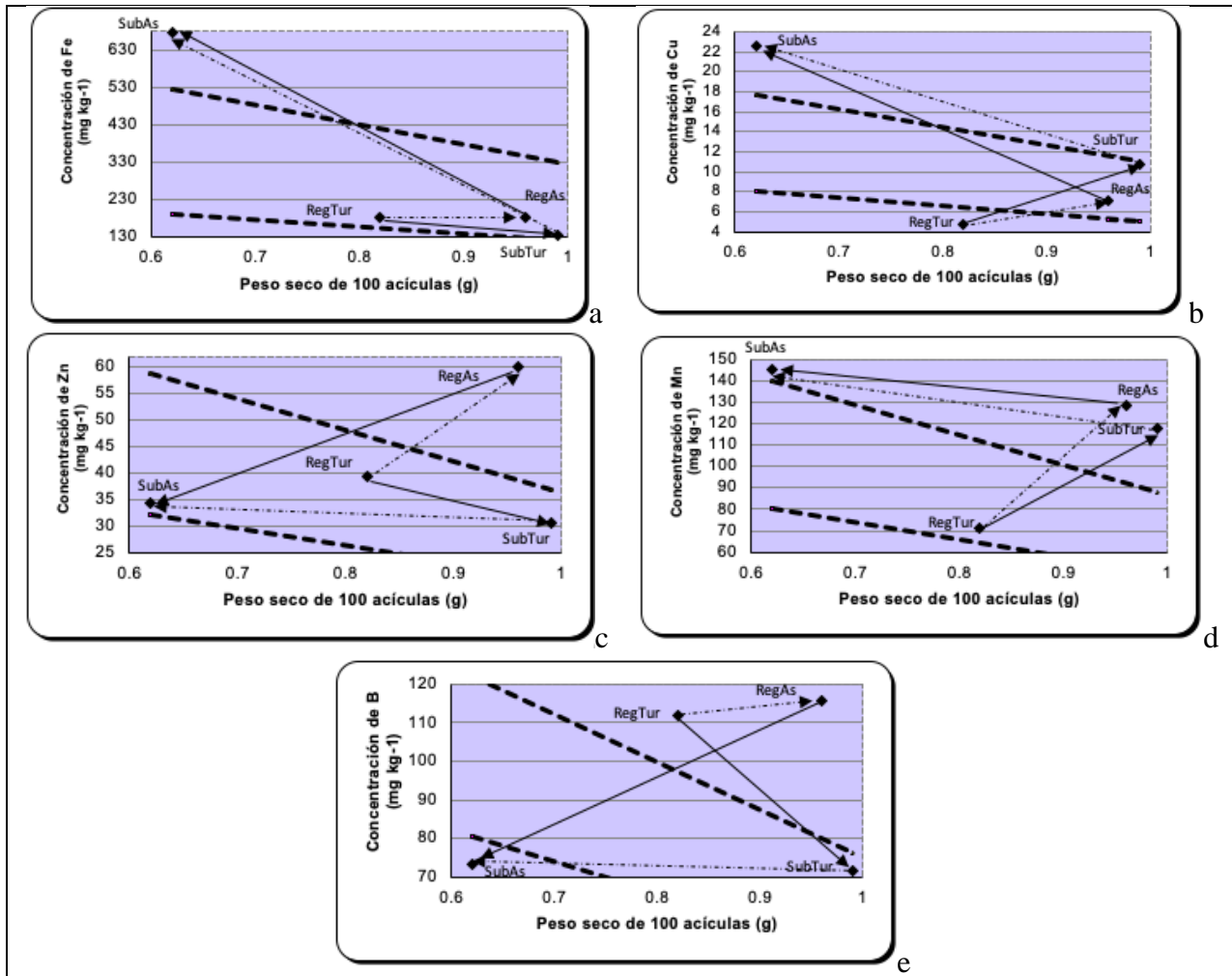


Figura 9. Diagramas de vectores para micronutrientos en *P. pseudostrobis* en etapa de vivero, bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base, en Huayacocotla, Veracruz.

## 2.6. CONCLUSIÓN

En las condiciones experimentales del presente estudio, el sistema de fertiriego con regadera y el sustrato base de turba producen los mayores valores para todas las variables morfológicas y de calidad de planta en las tres especies, con excepción de la relación biomasa aérea/subterránea, que es mayor en subirrigación.

La mayor biomasa foliar en plantas de *F. uhdei* se obtiene bajo el sistema de fertiriego con regadera y sustrato a base de turba, mientras que en las dos coníferas es mayor en subirrigación con el mismo sustrato base.

El uso de aserrín como sustrato base es más adecuado para el sistema de fertiriego con regadera (aspersión) que para el sistema de subirrigación utilizado.

Las mayores concentraciones foliares de nutrimentos ocurren en el sistema de subirrigación probado.

El contenido nutrimental foliar es afectado por la interacción especie\*sistema de fertiriego y es mayor, en plantas de *Fraxinus uhdei*, bajo fertiriego con regadera; en plantas de las coníferas estudiadas, es superior en planta proveniente del sistema de subirrigación usado.

El contenido nutrimental de plantas cultivadas en sustrato a base de aserrín es superior cuando el fertiriego se aplica con regadera (aspersión).

Las tres especies forestales, en ambos sistemas de fertiriego y mezclas de sustrato, excedieron los rangos de altura y diámetro establecidos en la NMX-AA-170-SCFI-2016.

## 2.7. LITERATURA CITADA

- Alcántar, G.G.; Sandoval, V.M. (1999). Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Guía de Muestreo, Preparación, Análisis e Interpretación. Publicación Especial Núm.10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.155p.
- Alexander, P. D., Bragg, N. C., Meade, R., Padelopoulos, G., & Watts, O. (2008). Peat in Horticulture and Conservation.Pdf. *Mires and Peat*, 3, 1–10.
- Arduini, I., D.L.Godbold and A. Onnis. (1995). Influence of cooper on root growth and morphology of *Pinus pinea* L. and *Pinus pinaster* Ait. seedlings. *Tree Physiology* 15,411-415.
- Argo, W. R. (1998). Root medium chemical properties. In *HortTechnology* (Vol. 8, Issue 4, pp. 486–494). <https://doi.org/10.21273/horttech.8.4.486>
- Birchler, T., Haase, D. L., & Rose, R. (1997). Use of vector diagrams for the interpretation of nutrient response in conifer seedlings. *USDA Forest Service - General Technical Report PNW, PNW\_GTR(389)*, 246–247.
- Bumgarner, M. L., Francis Salifu, K., Mickelbart, M. V., & Jacobs, D. F. (2015). Effects of fertilization on media chemistry and *Quercus rubra* seedling development under subirrigation. *HortScience*, 50(3), 454–460. <https://doi.org/10.21273/hortsci.50.3.454>
- Bumgarner, M. L., Salifu, K. F., & Jacobs, D. F. (2008). Subirrigation of *Quercus rubra* seedlings: Nursery stock quality, media chemistry, and early field performance. *HortScience*, 43(7), 2179–2185. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.7.2179>
- Castro-Garibay, S.L., Aldrete, A., López-Upton, J. & Ordaz-Chaparro, V. M. (2019). Caracterización física y química de sustratos con base en corteza y aserrín de pino. *Madera y Bosques*, 25(2).
- Crawford, M.A. (1997). Update on Copper Root Control. In Landis, T.D.;Thompson, J.R.,tech.coords.National Proceedings, Forest and Conservation Nursery Associations. Gen.Tech.Rep.PNW-GTR-419.Portland,OR: U.S.Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station:120-124. <http://www.fcnanet.org/proceedings/1997/crawford.pdf>
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). Quality Appraisal of White Spruce and White Pine Seedling Stock in Nurseries. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- Dumroese, R. K., Davis, A. S., & Jacobs, D. F. (2011). Nursery response of *Acacia koa* seedlings to container size, irrigation method, and fertilization rate. *Journal of Plant Nutrition*, 34(6), 877–887. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.544356>
- Dumroese, R. K., Pinto, J. R., Jacobs, D. F., Davis, A. S., & Horiuchi, B. (2006). *S u b i r r i g a t i o n* reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. 3(Fall 2006), 253–261.
- Duryea, M. L., & Landis, T. D. (1984). Forest Nursery Manual: Production of bareroot seedlings. In M. L. Duryea & T. D. Landis (Eds.), *Nursery Technology Cooperative and USDA Forest Service* (Vol. 53, Issue 9). Martinus Nihloff/ Dr W. Junk.



<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

- Franco, J. ., Bañón, S., Vicente, M. ., Miralles, J., & Martínez-Sánchez, J. . (2011). Review Article: Root development in horticultural plants grown under abiotic stress conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 86(6), 543–556. <https://doi.org/10.1177/1461444810365020>
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Koppen* (Quinta). Instituto de Geografía-UNAM. [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo\\_siglo21/serie\\_lib/modific\\_al\\_sis.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf)
- Grossnickle, S. C., & Macdonald, J. E. (2018). Seedling Quality : History , Application , and Plant Attributes. *Forests*, 9(5), 1–23. <https://doi.org/10.3390/f9050283>
- Haase, D.L., & Rose, R. (1985). Vector Analysis and Its Use for Interpreting Plant Nutrient Shifts in Response to Silvicultural Treatments. *Forest Science*, 41(1), 54–66.
- Haase, Diane L. (2008). *Understanding Forest Seedling Quality: Measurements and Interpretation*. 52(2), 24–30.
- Haase, Diane L. (2011). Seedling Root Targets. *USDA Forest Service Proceedings*, 80–82.
- Hardeep, S. & Dunn, B. (2017). Pruning Hydroponic Crops. Technical Report. Oklahoma Cooperative Extension Service.
- Jacobs, D. F., & Landis, T. D. (2014). Plant Nutrition and Fertilization. In K.M Wilkinson, T. Landis, D. . Haase, B. . Daley, & R. K. Dumroese (Eds.), *Tropical Nursery Manual* (pp. 233–251). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Jaenicke, H. (1999). Tree Nursery Practices Practical Guide-. *International Centre for Reseach in Agroforestry*.
- Jiang, W., D.Liu and X.Liu. (2001). Effects of copper on root growth , cell division, and nucleolus of *Zea mays*. *Biologia Plantarum* 44 (1):105-109. doi: [10.1023/A:1017982607493](https://doi.org/10.1023/A:1017982607493)
- Landis, T. D., Dumroese, K., & Chandler, R. A. (2006). Subirrigation Trials with Native Plants. *Forest Nursery Notes, Winter 2006. Portland (OR): USDA, Forest Service, Pacific Northwest Region, State and Private Forestry, Cooperative Programs. R6-CP-TP-08-05*, 14–15. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Landis, T. D., & Morgan, N. (2009). Growing media alternatives for forest and native plant nurseries. *National Proceedings : Forest and Conservation Nursery Associations - 2008, RMRS-P-58*, 26–31.
- Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (2004). Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor. *Manual Agrícola. Departamento de Agricultura de Los Estados Unidos, Servicio Forestal, 1*, 52–100.
- Liegel, L. H., & Venator, C. R. (1987). *A Technical Guide for Forest Nursery Management in the Caribbean and Latin America*. <https://doi.org/10.2737/SO-GTR-67>
- López-López, M. A., & Alvarado-López, J. (2010). Interpretación de nomogramas de análisis de

- vectores para diagnóstico nutrimental de especies forestales. *Madera y Bosques*, 16(1), 99–108. <https://doi.org/10.21829/myb.2010.1611182>
- Maas, E. F., & Adamson, R. M. (1975). Peat, bark and sawdust mixtures for nursery substrates. *Acta Horticulturae*, 50(18), 147–152.
- Mathers, H. M., Lowe, S. B., Scagel, C., Struve, D. K., & Case, L. T. (2007). Abiotic factors influencing root growth of woody nursery plants in containers. *HortTechnology*, 17(June), 151–162.
- Miranda, F., & Hernández-X., E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 28, 29–179. <https://doi.org/10.17129/botsci.1084>
- Morard, P., Lacoste, L., & Silvestre, J. (2000). Effect of oxygen deficiency on uptake of water and mineral nutrients by tomato plants in soilless culture. *Journal of Plant Nutrition*, 23(8), 1063–1078. <https://doi.org/10.1080/01904160009382082>
- Norma Mexicana NMX-AA-170-SCFI-2016. Certificación de la operación de viveros forestales. DOF [https://www.dof.gob.mx/nota\\_detalle.php?codigo=5464460&fecha=07/12/2016](https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5464460&fecha=07/12/2016)
- Pineda-Pineda, J., Del Castillo, F. S., Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A., & Del Carmen Moreno-Pérez, E. (2012). Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 18(1), 95–111.
- Pinto, J. R., Chandler, R. A., & Dumroese, R. K. (2008). Growth, nitrogen use efficiency, and leachate comparison of subirrigated and overhead irrigated pale purple coneflower seedlings. *HortScience*, 43(3), 897–901. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.3.897>
- Rodríguez-Trejo, D. A. (2008). *Indicadores de calidad de planta forestal* (p. 156). [http://redbiblio.unne.edu.ar/pdf/0603-003145\\_I.pdf](http://redbiblio.unne.edu.ar/pdf/0603-003145_I.pdf)
- Roller, K. J. (1976). *Field Performance of container grown Norway and Black spruce seedlings*. Norma Mexicana NXM-AA-170-SCFI-2016. Certificación de la operación de viveros forestales, (2016).
- Sáenz R., J. T., H. J. Muñoz F., F. Villaseñor R., J. A. Prieto R. y A. Rueda S. 2010. Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Folleto Técnico. SAGARPA-INIFAP-CIRPAC-Campo Experimental Uruapan. Uruapan, Mich. México. 50 p.
- SAS (Statistical Analysis System). 2012. SAS 9.4. SAS Intitute. Cary, NC, USA.
- Stewart, B. A. (1992). Limitations to Plant Root Growth. In J. . Hatfield & B. . Stewart (Eds.), *Advances in soil science. Volume 19* (1st ed.). Springer-Verlag New York, Inc. <https://doi.org/DOI: 10.1007/978-1-4612-2894-3>
- Sun, Q., Dumroese, R. K., & Liu, Y. (2018). Container volume and subirrigation schedule influence *Quercus variabilis* seedling growth and nutrient status in the nursery and field. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(6), 560–567. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1444787>
- USDA, F. S. (2014). *Tropical Nursery Manual: A guide to starting and Operating a Nursery for*

*Native and Traditional Plants* (Kim M. Wilkinson, T. D. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley, & R. K. Dumroese (eds.); *Agricultur*, Issue April).

Van den Driessche, R. 1991b. *Mineral Nutrition of Conifer Seedlings*. CRC Press Inc. Boca Raton, Florida, 274 p.

Wan, F., Ross-Davis, A. L., Shi, W., Weston, C., Song, X., Chang, X., Davis, A. S., Liu, Y., & Teng, F. (2019). Subirrigation effects on larch seedling growth, root morphology, and media chemistry. *Forests*, *10*(1), 1–14. <https://doi.org/10.3390/f10010038>

Yafuso, E. J., & Fisher, P. R. (2017). Oxygenation of irrigation water during propagation and container production of bedding plants. *HortScience*, *52*(11), 1608–1614. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI12181-17>

# CAPÍTULO 3. EFECTO DE SISTEMAS DE FERTIRRIEGO Y SUSTRATOS EN VIVERO, SOBRE EL CRECIMIENTO INICIAL DE ESPECIES FORESTALES EN CAMPO

## 3.1. RESUMEN

Un elemento clave para el éxito de reforestaciones es el uso de planta de calidad que pueda establecerse y crecer en el campo. La supervivencia y el crecimiento en campo son las pruebas finales para determinar la calidad de planta. Los objetivos de esta investigación fueron evaluar el desempeño inicial en campo de *F. uhdei*, *P. patula* y *P. pseudostrobus* provenientes de dos sistemas de fertiriego y cultivadas en dos sustratos base. La supervivencia solamente se evaluó para las coníferas. Se midió la altura y el diámetro de cada planta establecida en los sitios de plantación. La evaluación se realizó a los tres meses de su establecimiento en campo para *F. uhdei* y a los 6 para las coníferas. Además, para las especies de pino se evaluó la supervivencia. Se encontraron diferencias ( $p \leq 0.05$ ), entre plantas provenientes de ambos sistemas de fertiriego y sustratos base para cada característica evaluada. Plantas de *F. uhdei*, presentaron mayor altura y diámetro en campo al provenir de regadera. La altura y diámetro promedio fueron 37.42 cm y 8.66 mm, respectivamente. Aquellas plantas provenientes de sustrato de turba igualmente presentaron mayor altura y diámetro. La altura promedio fue 37.57cm y el diámetro promedio 8.56 mm. En plantas de *P. patula* y *P. pseudostrobus* la mayor altura se observó en plantas provenientes de subirrigación, la altura promedio fue 51.46 y 45.98 cm, respectivamente. En ambas especies el diámetro fue mayor en plantas producidas en regadera; 9.08 mm en *P. patula* y 9.39 mm en *P. pseudostorbus*. En sustrato de turba, ambas especies demostraron mayor altura y diámetro. La altura promedio para *P. patula* y *P. pseudostrobus* fue 57.87 y 49.64 cm, respectivamente. El diámetro promedio fue 9.69 mm en plantas de *P. patula* y 9.92 mm en *P. pseudostrobus*. La supervivencia en campo no se evaluó para las plantas de fresno. Sin embargo, para las plantas de pino, aquellas provenientes de subirrigación y en turba demostraron una mayor supervivencia en contraste con las de regadera y en sustrato de aserrín. De este estudio se puede concluir que, las practicas realizadas durante la fase de vivero influyen en gran medida sobre el desempeño en campo.

**Palabras clave;** campo, desempeño, establecimiento, altura, diámetro, supervivencia.

### 3.2. ABSTRACT

A key element for reforestation success is planting high quality stock that can establish and grow adequately after outplanting. Outplanting and survival are the final trials that determine plant performance and quality. The objectives of the present research were to evaluate initial field performance of *F. uhdei*, *P. patula* y *P. pseudostrobus* grown in two fertigation systems and two substrate mixtures. Survival was only evaluated for the two conifers. Height and diameter were measured for each plant in the field. Differences ( $p \leq 0.05$ ), among systems and substrates were determined for all the variables. *F. uhdei* individuals receiving overhead hand fertigation during nursery phase had greater height and diameter. The average height was 37.42 cm and the average diameter was 8.66 mm. Once in the field, plants grown in peat moss substrate mixture had a greater height (37.57 cm) and diameter (8.56 mm). Plants of *P. patula* and *P. pseudostrobus* produced in subirrigation had a greater height. The average height was 51.46 and 45.98 cm, respectively. However, with overhead fertigation, both species had a greater diameter. The average diameter for *P. patula* was 9.08 mm and for *P. pseudostrobus* 9.39 mm. In substrate mixture of peat moss, both *P. patula* and *P. pseudostrobus* plants, revealed greater height and diameter. The average height was 57.87 and 49.64 cm, correspondingly. The average diameter for *P. patula* was 9.69 mm and for *P. pseudostrobus* 9.92 mm. Field survival was not evaluated for *F. uhdei* individuals. Though, for conifers, those from subirrigation and peat moss substrate mixture showed higher survival after outplanting. In conclusion, results from this study reveal that nursery practices influence and determine outplanting performance and success of plant stock.

**Key word;** outplanting, performance, establishment, height, diameter, survival.

### 3.3. INTRODUCCIÓN

Desde mediados del Siglo XX, la investigación en el ámbito de producción de planta en vivero se ha enfocado a identificar atributos de las plantas que sean las favorables para el sitio de plantación (Grossnickle & Macdonald, 2018). Un elemento clave para el éxito de las reforestaciones es el uso de planta de calidad que pueda establecerse y crecer en el campo (Haase et al., 2006). La supervivencia y el crecimiento en campo son las pruebas finales para determinar la calidad de planta (Grossnickle & Macdonald, 2018). Definir atributos morfológicos y fisiológicos apropiados es importante para asegurar el éxito de la plantación (Dumroese et al., 2016), y, dado que las diversas prácticas culturales y el manejo durante la etapa de vivero influyen en gran medida sobre estos atributos (Duryea & Landis, 1984), se debe poner especial cuidado en el tipo de prácticas a implementar en el vivero. El tipo de sustrato y contenedor a utilizar son elementos claves para garantizar que la planta presente la morfología deseada. A la par, suministrar una fertilización adecuada a la planta, controlar plagas, y aplicar regímenes de riego eficientes es indispensable (Davis et al., 2011). Generalmente, el riego y fertiriego son cruciales para obtener planta de calidad ya que influyen en la fisiología de la planta, preparándola para los primeros meses en el campo. Además, un riego eficiente puede disminuir el tiempo de permanencia en vivero (Fulcher & Fernandez, 2013). En estudios recientes se ha evaluado el desempeño en campo de algunas especies como *Quercus rubra* (Bumgarner et al., 2008), *Acacia kao* (Davis et al., 2011) y rametos de *Eucalyptus spp* (Riberio et al., 2014) producidos mediante subirrigación. En estos trabajos se ha observado un buen desempeño durante el primer año en campo debido a que la planta presenta un balance nutrimental adecuado y la composición química del medio de crecimiento permite un buen desarrollo radicular para su establecimiento en el sitio de plantación. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el establecimiento inicial en campo de tres especies forestales producidas en dos sistemas de fertiriego y en dos mezclas de sustrato base. La hipótesis planteada para esta fase de la investigación fue que, plantas provenientes de fertiriego por subirrigación tienen un mejor desempeño inicial en el campo por presentar un mejor balance nutrimental en tejido vegetal.

### 3.4. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.4.1. Tratamientos en etapa de vivero

En el vivero se produjeron tres especies por medio de dos sistemas de fertiriego, y en dos mezclas de sustrato base. Posteriormente, la producción se llevó a campo para conocer los efectos de los tratamientos en los sitios de plantación. Se produjo planta de *Fraxinus uhdei*, *Pinus patula* y *Pinus pseudostrabus*. Los sistemas de fertiriego implementados fueron el sistema manual con regadera y el sistema por subirrigación. Las mezclas de sustrato base utilizadas fueron, una a base de turba y otra a base de aserrín fresco de pino. La proporción de sustrato para ambas mezclas fue de 60-30-10, siendo 60 la proporción del sustrato base (turba o aserrín), 30 de perlita y 10 vermiculita.

#### 3.4.2. Variables obtenidas del experimento en vivero

Cuadro 6. Variables morfológicas y de calidad de planta.

Especie	Factor	alt (cm)	DB (mm)	LR (cm)	BA (g)	BR (g)	BT (g)	NR	Ba/Bs	Ies	ID
<i>F. uhdei</i>	Reg	30.9	8.4	15.9	6.2	6	12.2	2.15	1.28	3.65	2.64
	Sub	26.3	8.7	14.8	5.9	2.9	8.8	2.47	2.77	2.99	1.63
	Tur	31.9	9	15.4	7.4	5.4	12.8	1.4	2.24	3.35	2.54
	As	27.5	7.9	15.3	4.7	3.7	8.4	2.11	1.76	3.31	1.76
<i>P. patula</i>	Reg	37.7	5.3	18.5	4.5	1.7	6.3	7.3	2.8	7.8	0.6
	Sub	39.8	5	17	4.4	1.1	5.5	6.5	4.4	8	0.5
	Tur	42.5	5.4	18.5	5.8	1.7	7.5	8	4.3	7.9	0.6
	As	32.3	4.7	17.2	3.1	1.2	4.4	5.7	2.9	7.9	0.4
<i>P. pseudostrabus</i>	Reg	34	5.1	18.9	4.6	1.9	6.6	2	2.5	7.8	0.7
	Sub	32.8	4.8	16.9	3.5	1.2	4.7	1.66	2.9	7.7	0.5
	Tur	36.6	5.2	18.4	5.2	1.8	7	2.2	2.9	7.7	0.7
	As	29.5	4.6	17.4	2.9	1.3	4.2	1.5	2.4	7.8	0.4

alt; altura, DB; diámetro basal, LR; longitud de raíz, BA; biomasa aérea, BR; Biomasa de raíz, BT; biomasa total, NR; número de raíces, Ba/Bs; relación biomasa aérea/raíz, Ies; índice de esbeltez, ID; índice de Dickson, reg; regadera, sub; subirrigación, tur; turba, as; aserrín.

#### 3.4.3. Establecimiento

El trasplante en campo para *F. uhdei* se realizó cuando la planta tenía 5 meses de edad el 27 de julio del 2019 en dos sitios ubicados en el municipio de Singuilucan, Hidalgo. El municipio de Singuilucan se localiza dentro de la región geográfica del Valle de Tulancingo a los 19° 52' y 20° 08' latitud norte y a los 98° 21' y 98° 38' longitud oeste. El gradiente altitudinal va desde los 2400 a 3100 msnm. El clima es templado subhúmedo con lluvias en verano, el rango de temperatura va de los 10 a 16 ° C y con un rango de precipitación de 400 a 1100 mm. La vegetación dominante

es bosque de pino-encino y pastizal. Para el establecimiento de la plantación, se seleccionaron al azar 20 plantas por tratamiento y se plantaron a una distancia de 5 m entre planta y entre hileras. Las dos especies de pino se plantaron en el Ejido Palo Bendito ubicado en el municipio de Huayacocotla, Veracruz a los 7 meses de edad. El ejido se ubica a 20 ° 30' 33" latitud N y a 98 ° 30' 14" longitud oeste. El sitio es un área de plantación de *Pinus patula*, con clima templado subhúmedo, lluvias en verano y nieblas frecuentes, la temperatura media anual es de 14 ° C y una precipitación pluvial media anual de 1315 mm (García, 2004). Los suelos son principalmente lutitas y areniscas con textura franco-arcillosa. La vegetación natural en la zona es bosque de pino-encino (Miranda & Hernández-X., 1963). Se plantaron al azar 40 plantas por tratamiento a una distancia de 3 m entre plantas e hileras.

#### **3.4.4. Variables evaluadas**

Se evaluó la altura y el diámetro de *F. uhdei* a los 3 meses de su plantación. La supervivencia no se evaluó para esta especie debido a un disturbio que causó la pérdida total de las plantas. Las mismas variables junto con supervivencia se evaluaron para *P. patula* y *P. pseudostrobus* a los 6 meses desde su establecimiento en el campo, una vez que los efectos de bajas temperaturas y del período de sequía tuvieron lugar.

#### **3.4.5. Diseño experimental y Análisis estadístico**

Las plantas producidas en el presente trabajo se establecieron en dos sitios distintos. En ambos sitios, el diseño fue completamente al azar con arreglo factorial. Para la plantación de fresnos hubo dos factores de estudio proporcionados durante la etapa de vivero; sistema de fertiriego y sustrato base. El experimento para la plantación de pinos estuvo conformado por tres factores; especie, sistema de fertiriego y sustrato base. Todos los factores probados tuvieron dos niveles cada uno: los del factor "sistema de fertiriego" fueron: 1) fertiriego con regadera y 2) fertiriego por subirrigación; los niveles del factor "sustrato" fueron 1) sustrato a base de turba (Turba: perlita: vermiculita 60:30:10) y 2) sustrato a base de aserrín (aserrín: perlita: vermiculita 60:30:10). Los niveles del factor especie, para el caso de pinos fueron 1) *Pinus patula* y 2) *Pinus pseudostrobus*. En el sistema de regadera, con el fin de simular las prácticas que se realizan en los viveros tecnificados de México, se agregó fertilizante de liberación lenta en el sustrato. Se realizó un análisis de varianza con el procedimiento PROC MIXED mediante la estimación de máxima verosimilitud para probar los efectos de los factores (SAS Institute, 2012).

El modelo estadístico utilizado para la plantación de fresno fue:



$$y_{ijk} = \mu + Sist_i + Sust_j + Sist_i * Sust_j + \epsilon_{ijk}$$

Donde;  $y_{ijk}$  es la variable k-ésima en el i-ésimo sistema de fertiriego de la j-ésima sustrato base.  $\mu$  es la media poblacional;  $Sist$  es el i-ésimo sistema de fertiriego;  $Sust$  es el j-ésimo sustrato base y  $\epsilon_{ijk}$  es el error experimental.

El modelo estadístico para la plantación de pinos fue:

$$y_{ijkl} = \mu + Sist_i + Sust_j + Spp_k + Sist_i * Sust_j + Sist_i * Spp_k + Sust_j * Spp_k + Sist_i * Sust_j * Spp_k + \epsilon_{ijkl}$$

Donde;  $y_{ijkl}$  es la variable l-ésima en el i-ésimo sistema de fertiriego del j-ésimo sustrato base y de la k-ésima especie,  $\mu$  es la media poblacional;  $Sist$  es el i-ésimo sistema de fertiriego;  $Sust$  es el j-ésimo sustrato base,  $Spp$  es la k-ésima especie y  $\epsilon_{ijkl}$  es el error experimental.

La supervivencia, se evaluó mediante un análisis de regresión lineal. El modelo utilizado fue:

$$g(n) = \ln\left(\frac{\pi}{1-\pi}\right) = \beta_0 + \beta_1 Spp + \beta_2 Sist + \beta_3 Sust$$

donde;  $g(n)$  es la supervivencia,  $Spp$ : especie,  $Sist$ : sistema,  $Sust$ : sustrato

### **3.5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Los caracteres morfológicos evaluados al final de la etapa de vivero, pueden predecir la respuesta de las plantas una vez en el campo (Dey & Parker, 1997). Se ha observado que el diámetro basal y el índice de Dickson, son los indicadores más apropiados para predecir el desempeño en campo (Bayala et al., 2009). Empero, ninguna prueba ha demostrado ser la adecuada para todas especies y condiciones (Davis & Jacobs, 2005), por lo que los atributos morfológicos deben ser determinados a nivel de especie y deben considerarse las condiciones de manejo y ambientales (Zida et al., 2008).

#### **3.5.1. Desempeño en campo *F. uhdei***

El análisis de varianza demostró diferencias ( $p < 0.05$ ) entre sistemas y sustratos para altura y diámetro en plantas de fresno a los tres meses del trasplante en campo. La interacción entre factores, sistema y sustrato (Sist\*Sust), fue significativa (Cuadro 7).

Cuadro 7. Valores de *p* del análisis de varianza demostrando los efectos principales e interacciones para el desempeño en campo de *F. uhdei*

Efectos	Altura	Diámetro Basal
Sist	0.0002	0.0032
Sust	<.0001	0.0113
Sist*Sust	0.0479	0.0131

Sist; sistema de fertiriego; Sust: sustrato

A los tres meses de su establecimiento en el campo, se observó una mayor altura (alt) y diámetro basal (DB) en aquellas plantas de *F. uhdei* provenientes de fertiriego con regadera. Esta mayor altura se debe a que en vivero plantas provenientes de este tratamiento produjeron mayores raíces lo cual les ayudó en el anclaje y obtención de nutrimentos y agua. En cuanto a los sustratos base, la planta producida en sustrato a base de turba (tur) presentó mayor crecimiento en el campo (Figura 10).

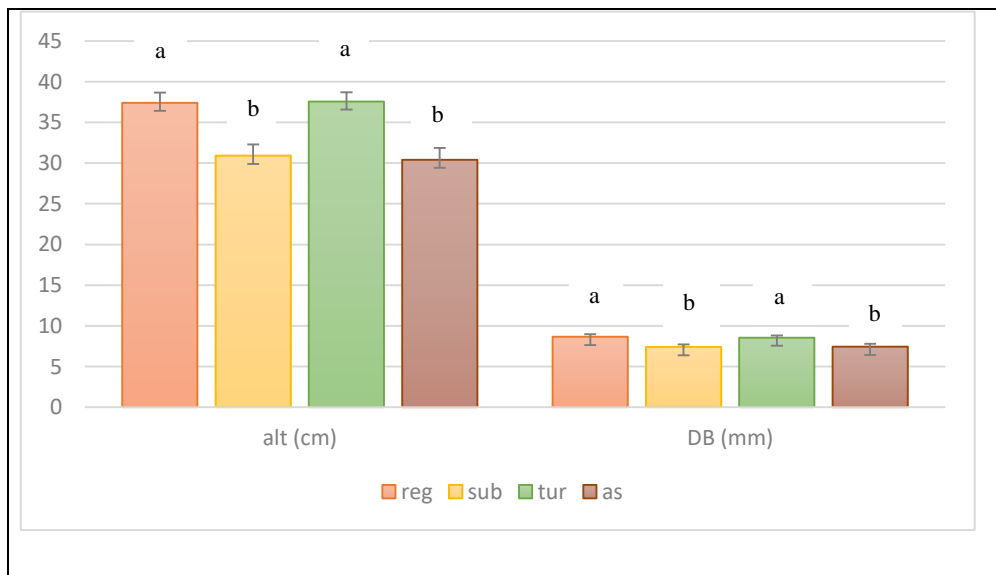


Figura 10. Comportamiento de la altura y diámetro basal, tres meses después del trasplante en campo, de planta de *Fraxinus uhdei*, cultivada en vivero bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base.

alt: altura; DB: diámetro basal. Para una variable de respuesta y factor de variación, letras iguales indican diferencias no significativas (Tukey  $\alpha=0.05$ ).

Las plantas de fresno que recibieron fertiriego por regadera tuvieron 21% y 17% mayor altura y diámetro, respectivamente, que aquellas plantas provenientes de subirrigación. Esto se pudo deber a la presencia de fertilizante de liberación controlada en el cepellón, en el caso de la planta

proveniente de regadera, al momento de plantar (Haase et al., 2006). Estos fertilizantes al liberarse gradualmente actúan como una reserva durante los primeros meses en campo y propician un mayor vigor (Landis & Dumroese, 2009). Los resultados de esta investigación difieren con lo obtenido para *Q. rubra*, en el cual el crecimiento en altura y diámetro en campo, fue mayor por subirrigación en vez de regadera (Bumgarner et al., 2008). Contrastando con otra investigación, en plantas de *A. koa*, al año de su establecimiento (Davis et al., 2011), no se observaron diferencias en el campo entre sistemas utilizados para altura, lo cual fue contrario a lo observado en la presente investigación; sin embargo, el diámetro para *koa* en las plantas por subirrigación fue mayor en contraste con la de los fresnos. En otro estudio, las plantas de *Q. variabilis*, creciendo por subirrigación presentaron un buen desempeño en el campo al primer año de sus establecimiento (Sun et al., 2018) en contraste con lo observado en la presente investigación para *F. uhdei*. El género *Fraxinus* se caracteriza por ser planta higrófito, es decir crece en sitios con agua a lo largo de arroyos, por lo que requieren de sitios húmedos (Drvodelić et al., 2016). El suelo en el sitio de plantación por su textura arcillosa, limitó la disponibilidad de agua para las plantas, en especial a las provenientes de subirrigación, mismas que al presentar un sistema radical menor, se vieron con un volumen limitado de exploración de suelo y obtención de recursos. Además, al tener mayor biomasa aérea que de raíz, la transpiración pudo haber estresado a la planta e influir en el crecimiento (Bumgarner et al., 2008). El mayor crecimiento en campo de las plantas de *F. uhdei* provenientes de regadera, se debió a la mayor biomasa y longitud de raíz que ayudó a superar el shock post trasplante (Oliet et al., 2002). Se pudo observar que debido a que las plantas cultivadas en subirrigación presentaron mayor succulencia, los fuertes vientos característicos del sitio de plantación provocaron daño en la planta desecando la parte aérea y afectando el crecimiento.

En relación a los sustratos, en sustrato base de turba, la altura promedio de *F. uhdei*, después de tres meses de establecida en campo fue 24% mayor que en sustrato base de aserrín. El diámetro igualmente fue mayor (15%) en mezcla de turba que en aserrín. Esto señala que el sustrato utilizado en la producción durante la etapa de vivero influye sobre el desempeño en el campo. Se ha observado que sustratos con 60 % de turba permiten un mejor movimiento de agua y nutrientes (Caron et al., 2005).

### **3.5.2. Desempeño en campo *P. patula* y *P. pseudostrobus***

Entre especies y sustrato base utilizado en vivero, el análisis de varianza reveló diferencias ( $p < 0.05$ ) para altura y diámetro a los seis meses en el campo. Entre sistemas no se observaron

diferencias para estas variables. En las interacciones Spp\*Sist y Sist\*Sust, no se detectaron diferencias una vez en el campo. Sin embargo, en la interacción Spp\*Sust, el análisis indicó diferencias. Para la interacción de los tres factores de estudio, solamente se observaron diferencias para el diámetro (Cuadro 8).

Cuadro 8. Valores de *p* del análisis de varianza demostrando los efectos principales e interacciones en el desempeño en campo de *P. patula* y *P. pseudostrobus*

Efectos	Altura	Diámetro Basal
Spp	0.0036	0.0002
Sist	0.0624	0.3507
Spp*Sist	0.2158	0.1771
Sust	<.0001	<.0001
Sist*Sust	0.2499	0.3758
Spp*Sust	0.0002	0.0042
Spp*Sist*Sust	0.1641	0.0009

Spp: especie; Sist: sistema; Sust: sustrato

Los resultados obtenidos en campo para las dos especies de pino coinciden con lo encontrado por Bumgarner et al. (2008), Davis et al. (2011) y Sun et al. (2018) para *Q. variabilis*, *A. koa*, y *Q. rubra*, respectivamente, producidas en subirrigación. En cuanto al sustrato base utilizado durante la producción en vivero, aquellas plantas en mezcla de turba resultaron con un mayor crecimiento en el sitio de plantación (Figura 11). *Pinus patula* y *P. pseudostrobus* presentaron una altura promedio 0.1 y 2 % mayor, respectivamente por subirrigación que en regadera. La mayor altura de planta por subirrigación y el mayor diámetro en regadera observado en el vivero prevaleció una vez en el campo. La mayor altura por subirrigación posterior al transplante, probablemente fue resultado de un mayor contenido de nutrimentos en el tejido vegetal; es decir la planta que se llevó al campo presentó un mejor balance de éstos (Bumgarner et al., 2008; Dumroese et al., 2011; Pinto et al., 2008). Se ha observado, que el tejido vegetal de planta derivada de subirrigación tiende a presentar mayores concentraciones nutrimentales por efectos de la solución nutritiva (Ferrarezi et al., 2015). La mayor altura en campo para plantas por subirrigación probablemente fue influida por las mayores concentraciones foliares de N, K y micronutrimentos como Fe y Cu. La asimilación de N mejora el crecimiento de raíces y brote en diversas especies una vez en el campo

(Green & Mitchell, 1992; Jose et al., 2003). El diámetro de *Pinus patula* proveniente de regadera, aunque sin diferencias significativas (Figura 11), fue 7% mayor que por subirrigación, y en *P. pseudostrobus* fue 5% mayor, esto debido a que la planta de regadera presentó mayor longitud de raíz desde el vivero, una característica importante que se relaciona con el crecimiento en diámetro y sirve para predecir el éxito en campo (Bayala et al., 2009). El desarrollo de un sistema radical adecuado para anclarse al suelo, permite a la planta una mejor absorción y transporte de agua durante el periodo seco del año (Rose et al., 1990). Además, la planta de regadera presentó una reserva nutrimental en el cepellón, por el fertilizante de liberación lenta proporcionado en el vivero, el cual probablemente liberó nutrimentos al menos durante un mes posterior al trasplante. Se ha observado el uso de éstos como una alternativa para un uso eficiente de fertilizantes y aliviar la competencia post trasplante (Jacobs et al., 2005). Se ha observado que el shock post trasplante puede durar varios años, provocando una reducción significativa en el crecimiento ya que depende del tiempo que requiera el sistema de raíces para aclimatarse al nuevo ambiente (Pernot et al., 2019). A los seis meses en el campo, ambas especies de pino producidas en sustrato base de turba presentaron un mejor desempeño en el campo, comparadas con las producidas en aserrín. *P. patula* fue 42 % mayor en altura y 39% mayor en diámetro en comparación con mezcla de aserrín. En cuanto a *P. pseudostrobus* en turba, el crecimiento en altura fue 22 % mayor y el diámetro 20% mayor que en mezcla de aserrín. Las menores diferencias entre sustrato a base de turba y sustrato a base de aserrín exhibidas por *P. pseudostrobus*, indican que esta especie se adapta mejor que *P. patula* al sustrato de aserrín. Al final de la etapa de vivero, las plantas en sustrato base de aserrín, presentaron menor cantidad de raíz, por lo que una vez en el campo, las raíces presentaron menor capacidad para obtener agua y nutrimentos, repercutiendo en el crecimiento (Dominguez-Lerena et al., 2006; Gazal & Kubiske, 2004; Vaario et al., 2009).

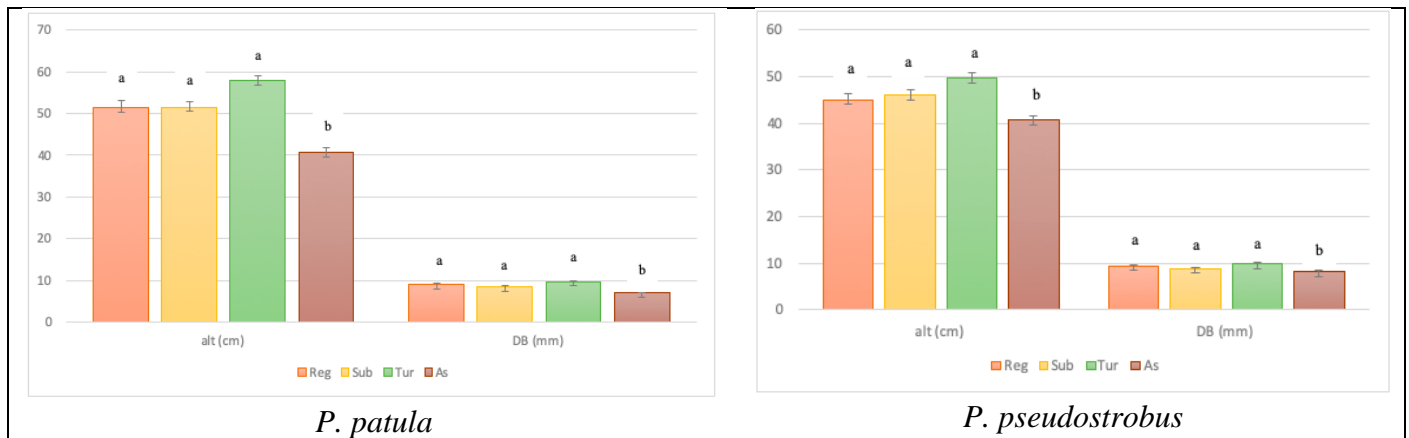


Figura 11. Comportamiento de la altura y diámetro basal, seis meses después del transplante en campo, de planta de *Pinus patula* y *Pinus pseudostrobus* cultivada en vivero bajo dos sistemas de fertiriego y dos sustratos base.

alt: altura; DB: diámetro basal. Para una variable de respuesta y factor de variación, letras iguales indican diferencias no significativas (Tukey  $\alpha=0.05$ ).

De acuerdo con el análisis de supervivencia, las plantas del género *Pinus* una vez en el campo, mostraron diferencias en supervivencia ( $p<0.01$ ). Por lo tanto, existe una relación entre los factores de estudio (especie, sistema de fertiriego y sustrato) sobre esta variable. Del total de plantas de *P. patula* provenientes de regadera con turba, la supervivencia en el campo fue 83%, mientras que por subirrigación, en turba de musgo, presentaron una supervivencia de 98%. En regadera con sustrato de aserrín, las plantas de *P. patula*, presentaron una supervivencia de 31%, en cambio para aquellas provenientes de subirrigación la supervivencia fue 84%. En *P. pseudostrobus*, las plantas que se produjeron en sistema de regadera con sustrato de turba presentaron una supervivencia 88% y las de subirrigación 93%. En sustrato de aserrín, las plantas de *P. pseudostrobus* regadas por medio de regadera, una vez en el campo exhibieron 74% de supervivencia en contraste con las de por subirrigación que tuvieron 89%. En ambas especies se observó una mayor supervivencia en las plantas producidas por subirrigación debido al contenido nutrimental y por la forma de recibir el fertiriego en el vivero (Ferrarezi et al., 2015; Schmal et al., 2011). Las plantas de *P. patula* una vez en el campo presentaron una probabilidad de supervivencia 59% menor que la de *P. pseudostrobus*. La menor supervivencia de *P. patula* en contraste con *P. pseudostrobus* se le atribuye a la susceptibilidad que tiene esta especie al ataque de *Fusarium circinatum* (syn. *Gibberella circinata*). En plantas de *P. patula* se ha observado una gran mortalidad durante el primer año en campo por este patógeno (Mitchell et al., 2011). En el primer mes de establecimiento en campo, las plantas de *P. patula* exhibieron síntomas de afectación por este hongo para plantas proveniente del sistema de fertiriego con regadera en sustrato base de aserrín. Las plantas de *P.*

*patula* bajo este sistema y sustrato presentaron condiciones de estrés por el menor desarrollo de raíces, lo cual los hizo susceptibles al ataque (Crous, 2005). Haciendo una comparación entre sistemas de fertiriego, aquellas que se regaron con regadera durante la etapa de vivero exhibieron una supervivencia 79% menor que por subirrigación. Una vez en el campo se observó, una mayor afectación por hongo en plantas producidas por medio de fertiriego con regadera. Generalmente, el agua de riego es un vector de patógenos para las plantas. En la presente investigación el agua utilizada para los riegos durante la etapa de vivero provino de agua de lluvia colectada en cisterna. De acuerdo con Rattink (1991), en agua de lluvia se presenta menor cantidad de especies contaminantes. Es por ello que en el vivero no se observó mortalidad o afectación significativa por patógenos en las plantas. Además, se ha percibido una reducción en el ataque de patógenos por medio de la subirrigación ya que, al aplicar el riego por debajo, el follaje se mantiene seco. Esta es una ventaja que presenta el sistema (Ferrarezi et al., 2015; Oh & Son, 2008). Debe precisarse que, durante la etapa de vivero, se presentó una ligera infestación por hongos, probablemente del género *Fusarium*. Ésta se controló con la aplicación de Cupravit®, tanto a las plantas de fertiriego con regadera como a las de subirrigación. Se observó un mayor control en el caso de las plantas de subirrigación debido a que se trató de un sistema cerrado, en el que el producto fungicida permaneció en la solución por varias semanas. Es muy probable que este efecto haya perdurado aun en la etapa de campo y haya repercutido positivamente en la supervivencia en las plantas de fertiriego por subirrigación. Entre sustrato base utilizado durante la etapa de producción, la probabilidad de supervivencia para plantas en sustrato de aserrín, fue 76% menor que para plantas con cepellón de sustrato base de turba. El aserrín limitó el crecimiento durante la etapa de vivero y en el campo se siguió observando esta tendencia por la inmovilización de nutrientes ocasionado por los microorganismos del aserrín (Pineda-Pineda et al., 2012).



### 3.6. CONCLUSIÓN

El desempeño inicial es distinto para las plantas de fresno en contraste con las coníferas una vez en el campo. Las plantas de fresno provenientes de regadera presentan mayor altura y diámetro en el campo en contraste con las de subirrigación. En cambio, en las dos coníferas, aquellas plantas derivadas de subirrigación exhiben mayor altura y las de regadera mayor diámetro a los seis meses en el campo.

En las tres especies, las plantas producidas en sustrato base de turba muestran mayor altura y diámetro en el campo en comparación con las de aserrín.

La supervivencia es mayor para plantas de pino provenientes de subirrigación en ambos sustratos que de regadera. Las plantas con cepellón a base de turba igualmente presentan mayor supervivencia que las plantas de aserrín, a los seis meses de su establecimiento.

Entre especies, las plantas de *Pinus patula*, exhiben menor supervivencia en contraste con las de *Pinus pseudostrobus*.

### 3.7. LITERATURA CITADA

- Bayala, J., Dianda, M., Wilson, J., Ouédraogo, S. J., & Sanon, K. (2009). Predicting field performance of five irrigated tree species using seedling quality assessment in Burkina Faso, West Africa. *New Forests*, 38(3), 309–322. <https://doi.org/10.1007/s11056-009-9149-4>
- Bumgarner, M. L., Salifu, K. F., & Jacobs, D. F. (2008). Subirrigation of *Quercus rubra* seedlings: Nursery stock quality, media chemistry, and early field performance. *HortScience*, 43(7), 2179–2185. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.7.2179>
- Caron, J., Elrick, D. E., Beeson, R., & Boudreau, J. (2005). Defining Critical Capillary Rise Properties for Growing Media in Nurseries. *Soil Science Society of America Journal*, 69(3), 794–806. <https://doi.org/10.2136/sssaj2004.0108>
- Crous, J. W. (2005). Post establishment survival of *pinus patula* in mpumalanga, one year after planting. *Southern African Forestry Journal*, 205(1), 3–11. <https://doi.org/10.2989/10295920509505232>
- Davis, A. S., Pinto, J. R., & Jacobs, D. F. (2011). Early field performance of *Acacia koa* seedlings grown under subirrigation and overhead irrigation. *Native Plants Journal*, 12(2), 94–99. <https://doi.org/10.3368/npj.12.2.94>
- Davis, Anthony S., & Jacobs, D. F. (2005). Quantifying root system quality of nursery seedlings and relationship to outplanting performance. *New Forests*, 30(2–3), 295–311. <https://doi.org/10.1007/s11056-005-7480-y>
- Dey, D. C., & Parker, W. C. (1997). Morphological indicators of stock quality and field performance of red oak (*Quercus rubra* L.) seedlings underplanted in a central Ontario shelterwood. *New Forests*, 145–156.
- Dominguez-Lerena, S., Herrero Sierra, N., Carrasco Manzano, I., Ocaña Bueno, L., Peñuelas Rubira, J. L., & Mexal, J. G. (2006). Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management*, 221(1–3), 63–71. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.08.031>
- Drvodelić, D., Ugarković, D., Oršanić, M., & Paulić, V. (2016). The Impact of Drought , Normal Watering and Substrate Saturation on the Morphological and Physiological Condition of Container Seedlings of Narrow-Leaved Ash ( *Fraxinus angustifolia* Vahl ). *South-East European Forestry*, 7(2), 135–142.
- Dumroese, K., Landis, T., Pinto, J., Haase, D., Wilkinson, K., & Davis, A. (2016). Meeting Forest Restoration Challenges: Using the Target Plant Concept. *Reforesta*, 1, 37–52. <https://doi.org/10.21750/refor.1.03.3>
- Dumroese, R. K., Davis, A. S., & Jacobs, D. F. (2011). Nursery response of *Acacia koa* seedlings to container size, irrigation method, and fertilization rate. *Journal of Plant Nutrition*, 34(6), 877–887. <https://doi.org/10.1080/01904167.2011.544356>
- Duryea, M. L. (1984). Nursery Cultural Practices: Impacts on Seedling Quality. In Mary L. Duryea & T. D. Landis (Eds.), *Forest Nursery Manual Production of bareroot seedlings* (pp. 143–164). Martinus Nijhoff/ Dr W. Junk. [https://doi.org/10.1007/978-94-009-6110-4\\_15](https://doi.org/10.1007/978-94-009-6110-4_15)

- Ferrarezi, R. S., Weaver, G. M., Iersel, M. W. Van, & Testezlaf, R. (2015). Subirrigation: Historical Overview, Challenges, and Future Prospects. *HortTechnology*, 25(3), 262–276.
- Fulcher, A., & Fernandez, T. (2013). Sustainable nursery irrigation management series. *The University of Tennessee, Institute of Agriculture*, 4(W-280), 1–4.
- García, E. (2004). *Modificaciones al Sistema de clasificación climática de Köppen* (Quinta). Instituto de Geografía-UNAM. [http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo\\_siglo21/serie\\_lib/modific\\_al\\_sis.pdf](http://www.igeograf.unam.mx/sigg/utilidades/docs/pdfs/publicaciones/geo_siglo21/serie_lib/modific_al_sis.pdf)
- Gazal, R. M., & Kubiske, M. E. (2004). Influence of initial root length on physiological responses of cherrybark oak and Shumard oak seedlings to field drought conditions. *Forest Ecology and Management*, 189(1–3), 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2003.08.017>
- Green, T. H., & Mitchell, R. J. (1992). Effects of nitrogen on the response of loblolly pine to water stress I. Photosynthesis and stomatal conductance. *New Phytologist*, 122(4), 627–633. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1992.tb00090.x>
- Grossnickle, S. C., & Macdonald, J. E. (2018). Seedling Quality : History , Application , and Plant Attributes. *Forests*, 9(5), 1–23. <https://doi.org/10.3390/f9050283>
- Haase, D. L., Rose, R., & Trobaugh, J. (2006). Field performance of three stock sizes of Douglas-fir container seedlings grown with slow-release fertilizer in the nursery growing medium. *New Forests*, 31(1), 1–24. <https://doi.org/10.1007/s11056-004-5396-6>
- Jacobs, D. F., Salifu, K. F., & Seifert, J. R. (2005). Growth and nutritional response of hardwood seedlings to controlled-release fertilization at outplanting. *Forest Ecology and Management*, 214(1–3), 28–39. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.03.053>
- Jose, S., Merritt, S., & Ramsey, C. L. (2003). Growth, nutrition, photosynthesis and transpiration responses of longleaf pine seedlings to light, water and nitrogen. *Forest Ecology and Management*, 180(1–3), 335–344. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(02\)00583-2](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(02)00583-2)
- Landis, T. D., & Dumroese, R. K. (2009). Using polymer-coated controlled-release fertilizers in the nursery and after outplanting. *Forest Nursery Notes*, C, 5–12.
- Miranda, F., & Hernández-X., E. (1963). Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de La Sociedad Botánica de México*, 28, 29–179. <https://doi.org/10.17129/botsci.1084>
- Mitchell, R. G., Steenkamp, E. T., Coutinho, T. A., & Wingfield, M. J. (2011). The pitch canker fungus, *Fusarium circinatum*: Implications for South African forestry. *Southern Forests*, 73(1), 1–13. <https://doi.org/10.2989/20702620.2011.574828>
- Oh, M. M., & Son, J. E. (2008). *Phytophthora nicotianae* transmission and growth of potted kalanchoe in two recirculating subirrigation systems. *Scientia Horticulturae*, 119(1), 75–78. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2008.07.026>
- Oliet, J., Planelles, R., López Arias, M., & Artero, F. (2002). Soil water content and water relations in planted and naturally regenerated *Pinus halepensis* Mill. seedlings during the first year in semiarid conditions. *New Forests*, 23(1), 31–44. <https://doi.org/10.1023/A:1015668815037>

- Pernot, C., Thiffault, N., & DesRochers, A. (2019). Root system origin and structure influence planting shock of black spruce seedlings in boreal microsites. *Forest Ecology and Management*, 433(November 2018), 594–605. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.11.043>
- Pineda-Pineda, J., Del Castillo, F. S., Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A., & Del Carmen Moreno-Pérez, E. (2012). Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 18(1), 95–111.
- Pinto, J. R., Chandler, R. A., & Dumroese, R. K. (2008). Growth, nitrogen use efficiency, and leachate comparison of subirrigated and overhead irrigated pale purple coneflower seedlings. *HortScience*, 43(3), 897–901. <https://doi.org/10.21273/hortsci.43.3.897>
- Rattink H, 1991. Epidemiology of Fusarium crown and root rot in artificial substrate systems. *Mededelingen Van de Faculteit Landbouwwetenschappen, Rijksuniversiteit Gent* 56, 423– 30.
- Riberio, M. D., Ferrarezi, R. S., & Testezlaf, R. (2014). Assessment of subirrigation performance in eucalyptus seedling production. *HortTechnology*, 24(2), 231–237. <https://doi.org/10.21273/horttech.24.2.231>
- Rose, R., Campbell, S. J., & Landis, T. D. (1990). Target Seedling Symposium: Proceedings, combined meeting of the Western Forest Nursery Associations. *General Technical Report (GTR)*, 286.
- SAS (Statistical Analysis System). 2012. SAS 9.4. SAS Intitute. Cary, NC, USA.
- Schmal, J. L., Dumroese, R. K., Davis, A. S., Pinto, J. R., & Jacobs, D. F. (2011). Subirrigation for production of native plants in nurseries--concepts, current knowledge, and implementation. *Native Plants Journal*, 12(2), 81–93. <https://doi.org/10.3368/npj.12.2.81>
- Sun, Q., Dumroese, R. K., & Liu, Y. (2018). Container volume and subirrigation schedule influence *Quercus variabilis* seedling growth and nutrient status in the nursery and field. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 33(6), 560–567. <https://doi.org/10.1080/02827581.2018.1444787>
- Vaario, L. M., Tervonen, A., Haukioja, K., Haukioja, M., Pennanen, T., & Timonen, S. (2009). The effect of nursery substrate and fertilization on the growth and ectomycorrhizal status of containerized and outplanted seedlings of *Picea abies*. *Canadian Journal of Forest Research*, 39(1), 64–75. <https://doi.org/10.1139/X08-156>
- Zida, D., Tigabu, M., Sawadogo, L., & Odén, P. C. (2008). Initial seedling morphological characteristics and field performance of two Sudanian savanna species in relation to nursery production period and watering regimes. *Forest Ecology and Management*, 255(7), 2151–2162. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.12.029>

## CONCLUSIÓN GENERAL

Al implementar el fertiriego por subirrigación en viveros forestales, se tiene una reducción del 50% en la cantidad de agua requerida para la producción.

El consumo de fertilizante es menor en fertiriego con regadera, sin embargo, no se hace un uso eficiente de éste, lo que propicia contaminación al suelo.

El fertiriego con regadera y el sustrato base de turba producen los mayores valores para la mayoría de variables morfológicas y de calidad evaluadas en las tres especies, excepto para altura en *P. patula*.

Con el uso de turba como sustrato base, la biomasa foliar de plantas de fresno es superior en fertiriego con regadera, mientras que en acículas de pino en subirrigación.

El aserrín como sustrato base presenta mejores resultados al utilizarse en fertiriego con regadera. En plantas de pino, la mayor absorción nutrimental se observa en fertiriego por subirrigación y en plantas de fresno en fertiriego con regadera.

Las plantas de fresno provenientes de regadera, presentan mayor altura y diámetro en el campo

Las coníferas derivadas de subirrigación exhiben mayor altura y diámetro en el campo.

Las tres especies producidas en sustrato base de turba presentan mayor altura y diámetro post transplante en el campo.

La supervivencia es mayor en coníferas provenientes de subirrigación en ambos sustratos.

Las plantas con cepellón a base de turba presentan mayor supervivencia

Entre especies de pino, plantas de *P. patula* exhiben menor supervivencia en campo.