



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

## **SISTEMAS DE FERTIRRIEGO Y MEZCLAS DE SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE *Pinus montezumae* Lamb.**

FERMAN JUÁREZ MIRÓN

T E S I S  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2023



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

La presente tesis titulada: **SISTEMAS DE FERTIRRIEGO Y MEZCLAS DE SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE *Pinus montezumae* Lamb.**, realizada por el estudiante: **Ferman Juárez Mirón**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

FIRMA

  
Miguel Ángel López López

ASESOR

FIRMA

  
Jesús Jasso Mata

ASESOR

FIRMA

  
Rafael Ricardo Hernández Valera

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, junio de 2023

# SISTEMAS DE FERTIRRIEGO Y MEZCLAS DE SUSTRATOS EN LA PRODUCCIÓN DE PLANTA DE *Pinus montezumae* Lamb.

Ferman Juárez Mirón, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2023.

## RESUMEN

El manejo adecuado de agua y fertilizantes en los viveros ayuda a disminuir el impacto ambiental que se causa a consecuencia de los insumos empleados, en conjunto con el constante incremento de la demanda de planta forestal es necesario optimizar los costos de producción sin alterar la calidad de la planta. En buena medida el éxito de la planta en campo depende del manejo que se le da en vivero es importante conocer los requerimientos de la especie con la que se esté trabajando para optimizar los recursos económicos y ambientales. El presente trabajo de investigación se realizó con el objetivo de probar innovaciones para contribuir a optimizar el uso de recursos en los viveros forestales como en agua, los fertilizantes, así como probar sustratos alternativos amigable con el medio ambiente. Se diseñaron dos experimentos el primero fue un completamente al azar con un arreglo factorial 3X2 con seis tratamientos. El primer factor consistió en tres mezclas de sustrato (0, 40 y 60 % de biocarbón como complemento a la turba de musgo); el segundo factor correspondió a dos sistemas de fertirriego: inundación y regadera. El experimento se desarrolló en un ambiente semi controlado en un invernadero en el bosque San Juan de Aragón, CDMX. Se construyó un cajón de madera que fue utilizado como cama de crecimiento, en la que se colocó la planta de *Pinus montezumae*, en charolas de unicel de 77 cavidades, después de impermeabilizar el cajón con plástico de invernadero. Se evaluaron variables de crecimiento y de calidad de planta y se cuantificó la cantidad de agua y fertilizantes utilizados en cada sistema de fertirriego, durante el ciclo de producción de planta. El segundo experimento fue un completamente al azar con 4 tratamientos y cuatro repeticiones cada uno dando un total de 16 unidades experimentales. Tratamientos de acidificación del biocarbón para controlar su efecto alcalinizador en el sustrato, y permitir un mejor crecimiento de las plantas de *Pinus montezumae* Lamb. Se cuantificó la cantidad de agua que se utilizó para cada sistema de fertirriego en la producción de *Pinus montezumae* Lamb. El sistema de regadera consumió 207 % más agua comparada con el sistema de fertirriego por inundación. Con respecto al consumo de fertilizantes, la diferencia fue considerable, dado que, en algunos casos, se utilizó hasta 50% más con fertirriego con regadera en comparación con el sistema de inundación. Las mezclas de sustrato que se utilizaron tuvieron efecto en todos los tratamientos en ambos sistemas de fertirriego. El uso de 40 o 60 % de biocarbón en la mezcla de sustratos resultó negativo para el crecimiento de las plantas. La acidificación de biocarbón a diferentes tiempos permitieron identificar que las plantas de *Pinus montezumae* Lamb., se desarrolla de manera adecuada cuando esta es trasplantada de un almacigo.

**Palabras clave:** Inundación, regadera, biocarbón, vivero forestal, fertilizantes, solución nutritiva

# FERTIGATION SYSTEMS AND SUBSTRATE MIXTURES ON PRODUCTION OF *Pinus montezumae* LAMB. SEEDLINGS

Ferman Juárez Mirón, M.C.  
Colegio de Postgraduados, 2023.

## ABSTRACT

Proper management of water and fertilizers in nurseries helps reduce the environmental impact caused by the inputs used, together with the constant increase in demand for forest plants, it is necessary to optimize production costs without altering the quality of plant. To a large extent the success of the plant in the field depends on the management given to it in the nursery. It is important to know the requirements of the species with which you are working to optimize economic and environmental resources. This research work was carried out with the aim of testing innovations to help optimize the use of resources in forest nurseries such as water, fertilizers, as well as testing environmentally friendly alternative substrates. Two experiments were designed, the first was completely randomized with a 3X2 factorial arrangement with six treatments. The first factor consisted of three substrate mixes (0, 40, and 60% biochar as a supplement to peat moss); the second factor corresponded to two fertigation systems: flood and sprinkler. The experiment was carried out in a semi-controlled environment in a greenhouse in the San Juan de Aragón Forest, CDMX. A wooden box was built that was used as a growth bed, in which the *Pinus montezumae* plant was placed, in styrofoam trays with 77 cavities, after waterproofing the crate with greenhouse plastic. Plant growth and quality variables were evaluated, and the amount of water and fertilizers used in each fertigation system during the plant production cycle was quantified. The second experiment was completely randomized with 4 treatments and four repetitions each, giving a total of 16 experimental units. Biochar acidification treatments to control its alkalizing effect on the substrate and allow better growth of *Pinus montezumae* plants. The amount of water used for each fertigation system in the production of *Pinus montezumae* Lamb was quantified. The sprinkler system consumed 207% more water compared to the flood fertigation system. Regarding the consumption of fertilizers, the difference was considerable, since, in some cases, up to 50% more was used with fertigation with a sprinkler compared to the flood system. The substrate mixtures that were used had an effect in all the treatments in both fertigation systems. The use of 40 or 60% biochar in the mix of substrates was negative for plant growth. The acidification of biochar at different times allowed to identify that the *Pinus Montezumae* Lamb. it develops properly when it is transplanted from a seedbed.

**Keywords:** Flooding, watering can, biochar, forest nursery, fertilizers, nutrient solution

## **AGRADECIMIENTOS**

Al Consejo Nacional De Ciencia y Tecnología (CONACYT) por brindarme el apoyo económico durante mi estancia como estudiante.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo por haberme permitido ingresar y poder realizar mi estudio profesional.

Al postgrado en Ciencias Forestales por permitir mi ingreso y conclusión de mis estudios como Maestro en Ciencias Forestales.

Al Dr. Miguel Ángel López López por el gran apoyo brindado, así como la dedicación y guía durante todo el proceso de desarrollo del experimento y redacción de la tesis, de igual manera por los conocimientos que me ha compartido durante este tiempo.

Al Dr. Jesús Jasso Mata por el apoyo y guía brindado durante el periodo de desarrollo del experimento y redacción de la tesis,

Al Mc. Rafael Ricardo Hernández Valera por el apoyo y guía durante el desarrollo del experimento y redacción de la tesis.

A Carmen Yenitzia Chávez Carpio directora del parque San Juan de Aragón por permitir desarrollar el experimento dentro de sus instalaciones.

A leoncio Hernández Valera por el apoyo brindado durante el proceso de instalación del experimento.

A mis compañeros Eliana, Adriana, Monserrat por el apoyo y momentos de convivencia durante la estancia en la institución.

A todos los compañeros que conocí durante mi paso en esta gran institución.

## DEDICATORIA

Con mucho cariño principalmente a mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo gracias por todo papá y mamá por darme una carrera para mi futuro y por creer en mí, Aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome su amor por todo esto les agradezco de todo corazón.

A mi esposa Blanca Estela Castillo Jiménez por entenderme en todo, gracias a ella porque en todo momento fue un apoyo incondicional en mi vida por todo el apoyo, amor y motivación brindado para continuar desarrollándome profesionalmente.

A mis hijos Kevin Yahir Juárez Castillo, Kenji Yael Juárez Castillo, por entender que, durante el desarrollo de esta tesis, fue necesario sacrificar situaciones y momentos a su lado para así poder completar exitosamente mi trabajo académico. Agradezco cada una de sus sonrisas y sus muestras de cariño hacia mí. Todos mis esfuerzos han valido la pena porque han estado a mi lado.

A mis hermanos Florencio, Paulino, Guillermina, María por formar por ser parte importante y por los momentos compartidos

## CONTENIDO

RESUMEN .....	iii
ABSTRACT .....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA .....	vi
LISTAS DE CUADROS .....	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	4
Objetivo general.....	4
Específicos.....	4
Hipótesis.....	4
III. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
<i>Pinus montezumae</i> .....	5
Sustrato .....	5
Biocarbón .....	6
Vermiculita.....	7
Perlita.....	8
Peat moss o Turba.....	8
Sistema de riego .....	8
IV. MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
El estudio comprendió dos experimentos de producción de planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en etapa de vivero.....	10
Experimento 1. ....	10
Diseño del sistema de fertirriego .....	12
Biocarbón .....	14
Solución nutritiva.....	14
Etapa de almácigo.....	15
Trasplante.....	15
Variables evaluadas.....	15
Análisis estadísticos.....	17

Experimento 2 .....	17
Acidificación del biocarbón y desempeño de la planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb.....	17
<b>V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>18</b>
Experimento 1 .....	18
Porosidad de los sustratos .....	18
Efecto de los sistemas de fertirriego y biocarbón en el crecimiento de <i>Pinus</i> <i>montezumae</i> Lamb.....	19
Normalidad de las variables de respuesta.....	19
Combinación de sistemas de fertirriego y mezclas de sustratos en el crecimiento y calidad de planta .....	25
Estado nutrimental de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. ....	28
Consumo de agua .....	29
Consumo de fertilizantes .....	31
Valores de pH y CE obtenidos en el sustrato utilizado .....	32
<b>EXPERIMENTO 2.....</b>	<b>33</b>
Acidificación del biocarbón, germinación de la semilla y crecimiento de la planta .....	33
Germinación de la semilla.....	33
<b>VI. CONCLUSIÓN.....</b>	<b>37</b>
<b>VII. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>38</b>



## LISTAS DE CUADROS

Cuadro 1	Los factores y niveles probados fueron los siguientes .....	10
Cuadro 2	tratamientos probados en el experimento sobre el efecto del fertirriego y mezclas de sustrato para la producción de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en etapa de vivero en el bosque de San Juan de Aragón, CDMX. ....	11
Cuadro 3	tratamientos probados en el experimento sobre el efecto del fertirriego y mezclas de sustrato para la producción de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en etapa de vivero en el bosque de San Juan de Aragón, CDMX. ....	19
Cuadro 4	Valores de P de las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov para las variables morfológicas y de calidad de planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en la etapa de vivero. ....	20
Cuadro 5	Valores de P de las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov para las variables morfológicas y de calidad de planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en la etapa de vivero. ....	22
Cuadro 6	Valores-p correspondientes a las pruebas de Shapiro-Wilk para las variables analizadas en planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. cultivada en un sustrato 40:60, (turba:biocarbón) acidificado a diferentes tiempos. ....	35
Cuadro 7	Valores-p correspondientes a las pruebas de Shapiro-Wilk para las variables analizadas en planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. cultivada en un sustrato 40:60, (turba:biocarbón) acidificado a diferentes tiempos. ....	35

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 ubicación del área de estudio bosque San Juan de Aragón CDMX.....	11
Figura 2 Prototipo del sistema de fertirriego por inundación hasta inundación.....	13
Figura 3 Proceso de levantamiento de datos de las variables estudiadas en el experimento de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. establecido en el Bosque San Juan de Aragón, Gustavo A. Madero, CdMx. ....	16
Figura 4 Pruebas de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos de A) dos sistemas de fertirriego y B) tres proporciones de biocarbón en la mezcla de sustratos, sobre variables morfológicas y de calidad de planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en vivero. Dentro de una variable d .....	24
Figura 5 Pruebas de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) sobre los tratamientos resultantes de combinar dos sistemas de fertirriego y tres mezclas de sustratos. El T1 inundación hasta inundación y T4 con regadera se empleó una mezcla de sustrato de una proporción de 60:3.....	26
Figura 6 Gráficas de Timmer para planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. sujeto a dos sistemas de fertirriego y tres mezclas de sustratos en etapa de vivero. T1: inundación sin biocarbón ; T2: inundación con 40% de biocarbón; T3: subirrigación con 60% de biocarbón. ....	28
Figura 7 Consumo de agua en dos sistemas de fertirriego, durante el proceso de producción de planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en vivero. ....	30
Figura 8 Consumo de fertilizantes en los sistemas de fertirriego con regadera y inundación hasta inundación, para la producción de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en etapa de vivero. ....	32
Figura 9 La prueba de acidificación de biocarbón en la producción de planta en vivero de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. Fisonomía de plantas de <i>Pinus montezumae</i> Lamb., producidas en una mezcla de sustratos 40:60 (turba:biocarbón, 40:60), con diversos tiempos de acidificación. ....	34
Figura 10 Pruebas de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para las variables de respuesta en el experimento de acidificación de biocarbón y su uso como sustrato para la producción de planta de <i>Pinus montezumae</i> Lamb. en etapa de vivero. ....	36

## I. INTRODUCCIÓN

En las décadas recientes ha crecido la preocupación mundial por los temas referidos a la calidad y disponibilidad de agua. Científicos que participaron en la Conferencia Internacional sobre Agua y Medio Ambiente y la Conferencia de las Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo debatieron temas referidos a la necesidad de proteger la calidad del agua para el manejo seguro y sostenible de los recursos hídricos (FAO, 1992). Los suelos y mantos freáticos son altamente afectados en las prácticas agropecuarias; cuando no se tiene un control en la aplicación de los diferentes insumos tales como el agua, fertilizantes químicos entre otros. El uso prolongado de fertilizantes de manera excesiva en una misma área favorece la acumulación sales de minerales. Una vez que los minerales entran en contacto con el suelo afectan a los microorganismos y sus actividades, esto ocasiona la alteración de los procesos biológicos que ayudan a la fertilidad del suelo y por ende propicia un desarrollo inadecuado de los cultivos (Andrade, 2005).

En los últimos años los viveros forestales han venido tomando mayor relevancia como una alternativa para la producción de especies forestales que permitan la regeneración de espacios degradados ya sea por actividades antropogénicas, así como catástrofes naturales como huracanes, derrumbes entre otros. De la mano de la instalación de un vivero se generan acciones adversas como los desechos producidos durante en proceso de producción, tales como en la limpia y preparación de semilla, sustratos, riegos y aplicación de productos químicos (Garmendia *et al.*, 2011)

Al aumentar el contenido de nutrientes disminuye la eficiencia de absorción por las plantas y los nutrientes no utilizados quedan disponibles para los microorganismos, favoreciendo su abundancia y actividad para degradar sustratos orgánicos, lo cual impacta negativamente sobre el contenido de materia orgánica (Galantini, 2008).

Los factores antes mencionados forman parte de las causas que están originando una alteración al clima a nivel mundial; se han estado trabajando proyectos, con el objetivo de revertir los daños causados al medio ambiente; la reforestación se asume como una

alternativa para revertir los daños al ambiente, a fin de devolver a la naturaleza un poco de su estado natural (Mendoza, 2017)

Actualmente la demanda de plantas para reforestaciones ecológicas y comerciales requiere de plantas de calidad que garanticen la supervivencia. La calidad de la planta es determinante para la supervivencia y el manejo en vivero es lo que determina la calidad (Mas, 2003).

El cultivo de plantas en sustrato presenta diferencias sustanciales respecto del cultivo de plantas en pleno suelo (Abad *et al.*, 1993). Al cultivar en contenedor las características de éste resultan decisivas en el correcto crecimiento de la planta, ya que se produce una clara interacción entre las características del contenedor (altura, diámetro, etc.) y el manejo del complejo planta-sustrato. En el caso del cultivo de plantas en contenedor el volumen de sustrato es limitado y de éste, las plantas absorberán el oxígeno, agua y nutrimentos (Rodríguez, 2010).

Las plantas requieren un continuo y gran aprovisionamiento de agua para el crecimiento y otros procesos fisiológicos, como es el enfriamiento a través de la transpiración. Este líquido debe ser provisto por el sustrato. El agua líquida es retenida tanto externamente como internamente por el medio de crecimiento hasta que es requerida por la planta: externamente, en los poros relativamente pequeños entre las partículas, e internamente, en el espacio interior de materiales porosos como la turba de musgo. Debido al volumen limitado de los contenedores pequeños, el medio de crecimiento debe poseer una elevada capacidad para almacenar agua, para proveerla a las plantas entre un riego y el siguiente (Ruano, 2003).

En sistemas hidropónicos, la solución nutritiva puede circular de forma continua o intermitente. El aporte de oxígeno no es necesario, ya que la solución se encuentra en movimiento (Aquino, M. A. Z. 2015). El oxígeno es aportado por la solución nutritiva y por el aire que rodea a gran parte de las raíces, La disponibilidad del oxígeno puede variar de acuerdo con la temperatura, ya que el consumo se duplica con el aumento de 10°C, mientras que la disolución del oxígeno en la solución baja de 9.6 a 7.8 mg/L para 20 y 30°C, respectivamente (Beltrano *et al.*, 2015).

La turba de musgo es el principal sustrato utilizado en la actualidad en los viveros tecnificados de México. Este sustrato produce excelentes resultados en cuanto a calidad de planta; sin embargo, su uso incrementa considerablemente los costos de producción de planta en vivero (Hernández-Zárate *et al.*, 2014). Existen variados sustratos alternativos de menor costo, pero es importante probar sus propiedades y efectividad en la producción de planta forestal. Tal es el caso del biocarbón, que ha sido propuesto y probado por Arteaga *et al.* (2013), con buenas perspectivas.

Los recursos naturales del planeta están entrando en una fase donde los efectos por la sobre explotación se están agotando; por ello ya es predecible que en algún momento se dé el desabasto (Chang, 2001). Consecuentemente, es conveniente rediseñar nuevas técnicas para mejorar el aprovechamiento del agua en las diferentes actividades donde el agua es un indispensable.

Este proyecto se enfoca en evaluar el desarrollo de planta de *Pinus montezumae* Lamb. en etapa de vivero en un sistema de fertirriego por inundación empleando un sistema de riego cerrado. Esto significa que la solución nutritiva se recolecta y se reutiliza, para disminuir el consumo de agua y se llega al objetivo de cuantificar la cantidad de agua y fertilizantes que, utilizados en este sistema, para compararlo con un sistema tradicional (regadera). El uso de biocarbón como sustrato en la presente investigación permitió evaluar el desempeño de la de la planta de *Pinus montezumae* Lamb. en este sustrato alternativo y definir las posibilidades de su uso en viveros forestales.

## II. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

### Objetivo general

Determinar la factibilidad técnica de producir planta de *Pinus montezumae* Lamb., en un sistema hidropónico.

### Específicos

Comparar el crecimiento y calidad de planta, producida en un sistema hidropónico por inundación, contra el sistema de fertirriego por regadera.

Comparar el crecimiento y calidad de planta de *Pinus montezumae* Lamb., en tres mezclas de sustratos.

Comparar el consumo de agua y nutrimentos entre los sistemas de producción hidropónico de inundación y fertirriego con regadera.

### Hipótesis

El desarrollo de la planta de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero es similar en viveros irrigados por aspersión que en viveros con fertirriego por inundación.

La inclusión de biocarbón en la mezcla de sustrato no afecta el crecimiento y calidad de la planta de *Pinus montezumae* Lamb.

El sistema hidropónico de inundación permite disminuir el consumo de agua y nutrimentos en comparación con el sistema de fertirriego por aspersión, sin alterar las características de una planta de calidad.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

#### ***Pinus montezumae.***

Taxonomía

Nombre científico *Pinus montezumae* Lamb.

Sinonimia *Pinus ocampii* Roetzl, *Pinus rinzii* Roetzl, *Pinus lindleyana* Loud. ex Lind et Gordon, *Pinus montezumae* Lamb, *Pinus montezumae* forma macrocarpa Martínez, *Pinus montezumae* var. *mezambranus* Carvajal.

Nombre(s) común(es) Pino, ocote, pino montezuma, chalmaite blanco – Veracruz; pino real, yutnu-santu - Oaxaca); pino blanco, ocote macho

Estatus Ninguno

Origen Nativo de México, se extiende hasta Guatemala.

Forma biológica Árbol de 25 a 30 m y DN de 50 a 90 cm; con un crecimiento de rápido a moderado.

Fenología

Hojas: perennifolio.

Flores: de febrero a abril.

Frutos: la maduración de los conos generalmente ocurre 26 meses después de la polinización, de abril a junio. La apertura de los conos se ve favorecida por la ocurrencia de altas temperaturas en esa temporada. Es común que la producción de conos se concentre en “años semilleros”, los cuales se pueden presentar cada 3 a 5 años dependiendo de las condiciones climáticas (CONAFOR, 2005).

#### **Sustrato**

El sustrato es todo material sólido, natural, de síntesis o residual, mineral u orgánico, distinto del suelo *in situ*, que colocado en un contenedor en forma pura o en mezcla permite el anclaje del sistema radicular, desempeñando, por tanto, un papel de soporte para la planta (Blanc, 1987; Abad, 1991; Abad y Noguera, 1998 citado por Terés, 2001).

Las propiedades de los sustratos como medios de crecimiento son importantes para la toma de decisiones, pero no es suficiente para determinar un sustrato adecuado ya que

dependerá de diversos factores como: tipo de planta, fase del proceso productivo en el que se interviene (semillación, estaquillado, crecimiento, etc.), condiciones climatológicas, y el manejo del sustrato (Pastor, 1999).

Dentro de las características que un sustrato debe reunir para el adecuado desarrollo de la mayoría de las especies forestales se incluye la; densidad aparente (0,22 g/cm<sup>3</sup>); densidad real (1,44 g/cm<sup>3</sup>); espacio poroso total (85%): fase sólida (10-15%); agua fácilmente disponible (20-30%); contenido de aire (20-30%); agua de reserva (6-10%); PH (5,5-6,5); capacidad de intercambio catiónico 10-30 meq/100 g peso seco y contenido de sales solubles 200 ppm (2mS/cm) (FAO, 2002).

### **Biocarbón**

El biocarbón es el producto de la descomposición térmica de materiales orgánicos (biomasa) con escaso o limitado suministro de oxígeno (pirólisis), a temperaturas relativamente bajas (inferiores a los 700 °C) y que es destinado a uso agrícola, lo que hace que sea diferente al carbón usado como combustible y al carbón activado Lehmann y Joseph (2009). La International Biochar Initiative o IBI (2012) en su “Guía para la definición y pruebas para el biocarbón usado en suelo” (“Standardized Product Definition and Product Testing Guidelines for Biochar that is Used in Soil”), define al biocarbón como “un material sólido obtenido de una conversión termoquímica de biomasa en un ambiente limitado de oxígeno” (Zheng *et al.*, 2013).

Con respecto a sus propiedades físicas, el biocarbón es un sólido carbonoso, de color negro, con una superficie intrincada y desordenada, cuyas características estructurales varían por el tipo y tiempo de pirólisis. En general es amorfo según estudios de microscopía electrónica de barrido realizados por Qiu *et al.*, (2008).

El biocarbón es un material que en la actualidad es accesible, se ha estado utilizando y estudiando sus diferentes beneficios que aporta a los suelos agrícolas, a la vegetación y múltiples beneficios al medio ambiente. En los últimos tiempos ha tenido un auge importante en los sectores agrícolas, pero a pesar de todos los beneficios mencionados han sido pocas las investigaciones realizadas en la producción de planta con este material y en condiciones de invernadero o vivero (Ibarrola *et al.*, 2013).



Las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) del suelo contribuyen al total de GEI en la atmósfera; el biocarbón logra mitigar la emisión de CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en las tierras agrícolas, por su gran superficie, alta porosidad, estabilidad y la capacidad para retener cationes metálicos y minerales (Lie You, 2022).

### **Vermiculita**

Es una arcilla que tiene numerosas propiedades como ser ligera en peso y poseer una estructura en placas, lo que genera una elevada proporción superficie/volumen y por lo tanto una alta capacidad de retención de humedad. Las placas contienen numerosos sitios para retener cationes, tanto externa como internamente, lo que produce una elevada capacidad de intercambio catiónico; tal propiedad es única para los componentes de medios de crecimiento inorgánicos, que son típicamente inertes. Bunt (1988) reporta que, aunque la vermiculita aparentemente no tiene capacidad de intercambio aniónico, ésta puede adsorber fosfato en formas disponibles. La vermiculita contiene algo de potasio y de magnesio, los cuales son lentamente liberados para ser aprovechados por la planta. El pH es variable, normalmente dentro de un intervalo neutral (Landis, 2000).

Actualmente, la vermiculita es usada en los viveros forestales, mezclada con otros sustratos, generalmente orgánicos, para complementar las propiedades adecuadas requeridas en el crecimiento vegetal, que no poseen los sustratos en forma independiente. Las plantas desarrolladas en estudios recientes sobre vermiculita mezclada con sustratos orgánicos presentan buenos resultados, siendo la combinación con turba la que alcanza el mayor tamaño en todas las variables estudiadas: diámetro de cuello, altura de tallo, peso húmedo y seco de toda la planta, peso seco de la parte aérea y radical, peso seco de la raíz principal y peso seco de las raíces secundarias. Además, se han evaluado índices para determinar la calidad de la planta, mismos que han mostrado el mejor comportamiento cuando se usa vermiculita (Di Benedetto *et al.*, 2002; Olivo y Buduba, 2006).

## **Perlita**

Ésta posee numerosas características útiles que la hacen deseable como medio de crecimiento. Una de tales propiedades es su estructura de celdas bien cerradas; el agua se adhiere sólo en la superficie de las partículas y por tanto el sustrato que contenga perlita tendrá buen drenaje, además de ser ligero en peso, es rígida y no se comprime con facilidad, lo cual promueve una buena porosidad. La perlita esencialmente es infértil, casi no contiene nutrientes para las plantas y tiene una CIC mínima, el pH está en un intervalo alrededor de la neutralidad. Usualmente es agregada a componentes orgánicos, como la turba de musgo o corteza de pino, con el fin de incrementar la porosidad de aireación, lo cual es de especial importancia en contenedores de pequeño volumen como los utilizados en los viveros forestales (Nelson, 1978).

Según Kehdi (2007), la perlita se descompone muy despacio y puede ser utilizada en grandes cantidades en cultivos tradicionales e hidropónicos con riego gota a gota. Actualmente se utiliza mezclada con turba o corteza de pino compostada, con el fin de mejorar las características del sustrato.

## **Peat moss o Turba.**

La turba es una acumulación de plantas parcialmente descompuestas. A diferencia del resto de turbas, la de *Sphagnum* sp. (musgo) se puede identificar, aunque hayan pasado miles de años. Otras plantas también producen turba cuando se descomponen, pero la turba de *Sphagnum* sp. es la única que se puede encontrar hasta a 10 metros de profundidad. Su altísimo contenido en agua ácida y falta de oxígeno hace que no se descomponga tan rápidamente como el resto y que prácticamente sea estéril de bacterias y microorganismos (Hartmann, 1995).

## **Sistema de riego**

Existen varios sistemas de fertirriego; algunos de ellos son el de aspersion, por microaspersion, por goteo y por inundacion FAO, (2002). Existen diversos factores que determinan el tipo de riego a emplear, por ejemplo, el tamaño del vivero la especie, la disponibilidad de agua, el diseño del vivero, etc. Para satisfacer las necesidades de agua

de la especie principal a producir, es importante definir el sistema de riego adecuado. Para tener la calidad y cantidad del agua de cualquier tipo de vivero se requiere de un eficiente y confiable sistema de riego (Landis *et al.*, 2000).

Existen otros factores a considerar para la elección de un sistema de riego, no sólo se basa en criterios técnicos o sociales, sino también en criterios económicos y otras condiciones como la disponibilidad de agua y materiales.

#### IV. MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio comprendió dos experimentos de producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb. en etapa de vivero.

##### Experimento 1.

El experimento 1 se desarrolló bajo un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial 2X3 (dos sistemas de fertirriego y tres mezclas de sustratos); cuya combinación de los niveles produjo seis tratamientos. Los sistemas de fertirriego utilizados fueron: 1) con regadera y 2) por subirrigación hasta inundación. Las mezclas de sustrato probadas fueron: 1) Mezcla clásica Turba:perlita:vermiculita 60:30:10. 2) Mezcla alta en biocarbón en proporción (Turba:biocarbón 40:60) y 3) Mezcla baja en biocarbón (Turba:biocarbón 60:40). Se implementaron cuatro repeticiones por tratamiento, donde la unidad experimental estuvo constituida por media charola de unicel de 77 cavidades (35 celdas).

Cuadro 1 Los factores y niveles probados fueron los siguientes en el experimento en vivero de *Pinus montezumae* Lamb.

Factor	Nivel
1. Sistema de fertirriego	a. Fertirriego con regadera b. Fertirriego de inundación.
2. Sustrato	c. Turba:perlita:vermiculita 60:30:10 d. Turba: biocarbón (40:60) e. Turba: biocarbón (60:40)

Cuadro 2 tratamientos probados en el experimento sobre el efecto del fertirriego y mezclas de sustrato para la producción de *Pinus montezumae* Lamb. en etapa de vivero en el Bosque de San Juan de Aragón, CDMX.

No. De tratamientos	Fertirriego	Porcentaje de sustrato
1	Inundación	SB (SIN BIOCARBÓN)
2	Inundación	40 (BIOCARBÓN):60 (PEATMOSS)
3	Inundación	60(BICARBÓN):40 (PEATMOSS)
4	Regadera	SB (SIN BIOCARBÓN)
5	Regadera	40 (BIOCARBÓN):60 (PEATMOSS)
6	Regadera	60 (BICARBÓN):40 (PEATMOSS)

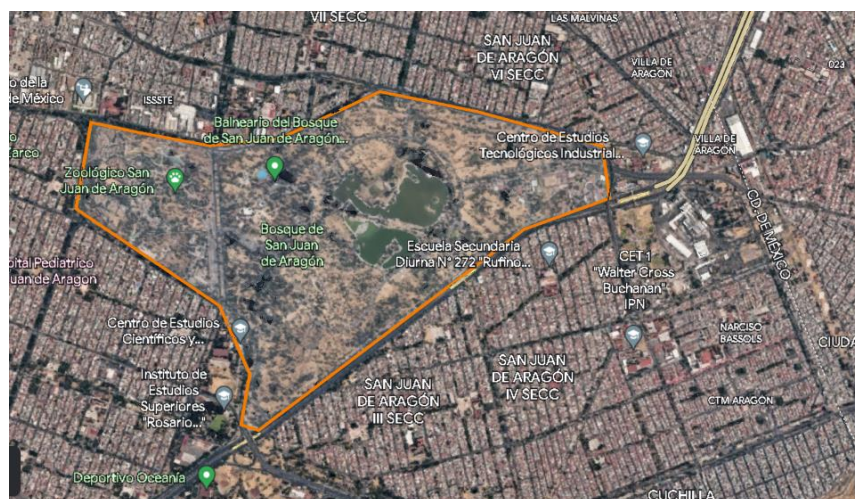


Figura 1. Área experimental, ubicada en el Bosque San Juan de Aragón, CDMX.

El experimento se ubicó en el Bosque de San Juan de Aragón en la Ciudad de México, dentro de un invernadero metálico de 30 m por 15 m. El Bosque se ubica dentro de la alcaldía Gustavo A. Madero; y está limitado por las siguientes vialidades: al norte por las Av. 412 y Av. 510, al poniente por las Av. José Loreto Fabela y Av. 508, al suroriente por la Av. 608. Figura 1 (Secretaría del Medio Ambiente, 2003).

Las propiedades físicas y químicas evaluadas en los suelos del Bosque San Juan de Aragón, CDMX, reporta la literatura que se encuentra dentro de límites favorables para soportar el desarrollo de árboles. El pH ligeramente ácido a ligeramente alcalino. La conductividad eléctrica y la concentración de sales son valores bajos y favorables, con ligeras restricciones quizás para especies sensibles. El contenido de materia orgánica

presenta niveles moderados, al igual que el carbono orgánico. La textura franca es ideal, pues teóricamente proporciona adecuados niveles de nutrimentos y retienen niveles de humedad suficientes. Los suelos no presentan marcada variabilidad horizontal como suele referirse en la literatura de suelos urbanos (Saavedra *et al* 2020).

### **Diseño del sistema de fertirriego**

El prototipo que se construyó para la implementación de un sistema de fertirriego por inundación hasta inundación fue un cajón de madera cuya medida fue de 1.90 m por 0.80 m. En este cajón se introdujeron seis charolas de unicel de 60 cm de largo por 35 cm de ancho, con un total de 77 cavidades de 175 ml por cavidad. El cajón se forró en su interior con polietileno para invernadero, para contener de manera adecuada la solución nutritiva. Antes de colocar las charolas dentro del cajón, se colocaron dos tubos en la base; esto para que las charolas no estuvieran directamente sobre el piso del cajón y así permitir el flujo adecuado de la solución nutritiva.

En la instalación del sistema de fertirriego se emplearon tubos de ½ pulgada. El flujo de abastecimiento del cajón se realizó desde la parte superior para permitir un llenado adecuado (Figura 2). Para el flujo de desagüe se utilizó un tubo de la misma medida, mismo que estuvo conectado directamente al depósito de la solución nutritiva y funcionó como sifón para el desagüe por medio de la gravedad; el método permite regular el nivel de inundación del cajón. El nivel de llenado con la solución nutritiva se diseñó para que la solución nutritiva cubriera completamente las charolas hasta el cuello del tallo de la planta y se asegurara que, una vez rebasado el nivel, la solución nutritiva fluyera por gravedad. El método de inundación ayuda a que el sustrato mantenga una concentración de sales similar a la de la solución nutritiva, ya que en un sistema tradicional de inundación (sin inundación), el riego constante con la solución nutritiva propicia la acumulación de sales minerales que en cantidades considerables afectan el desarrollo de la raíz, el desperdicio de nutrimentos y la posible intoxicación de las plantas en general (Landis, 1988). En el sistema de inundación hasta inundación, al inundarse por completo el sustrato, las sales minerales no se acumulan ya que se lixivian durante los procesos de inundación.

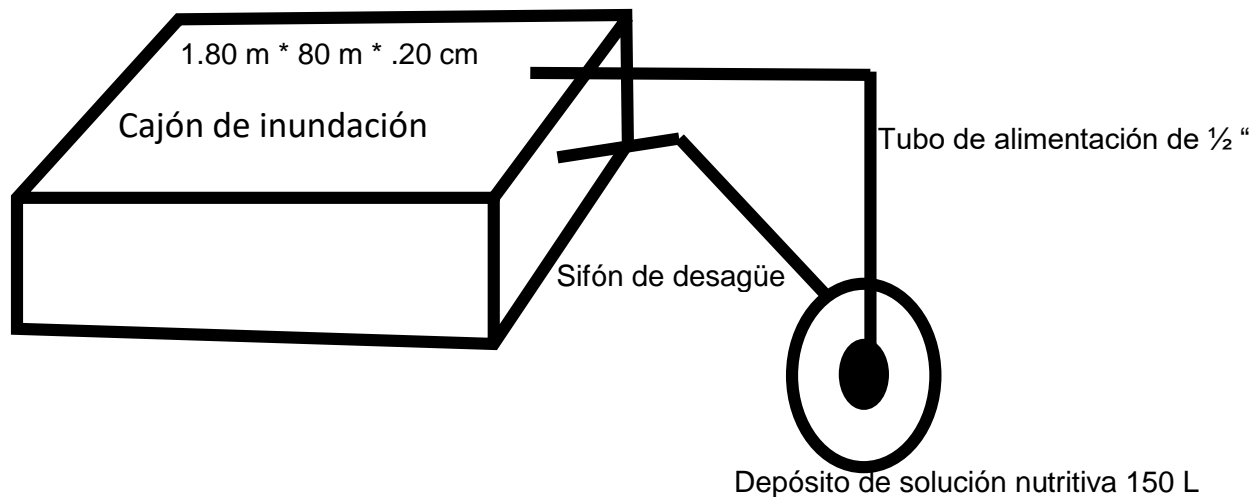


Figura 2 Prototipo del sistema de fertirriego por inundación hasta inundación.

En este sistema, la pérdida de nutrientes sólo se da por el consumo por parte de las plantas, por lo que las concentraciones iniciales de la solución nutritiva sólo se alteran por este concepto generando desbalance de las concentraciones de estos.

Para evitar el desperdicio de agua y nutrientes durante la renovación de las soluciones nutritivas, se diseñó un procedimiento para simular la acumulación de biomasa en la totalidad de plantas de inundación, ocurrida durante el periodo de 15 días, previo a la renovación de la solución nutritiva. Con base en la biomasa acumulada y la concentración foliar de cada nutriente en la especie, de acuerdo con análisis nutricionales publicados, se estimó la cantidad de nutrientes absorbidos por la totalidad de plantas de inundación, durante el período en cuestión. Las cantidades estimadas de cada nutriente fueron agregadas a la solución nutritiva para mantener las concentraciones de cada nutriente, cercanas a las indicadas por Landis *et al.* (1989).

Para el depósito de la solución nutritiva se utilizó un tinaco Rotoplas® cuya capacidad es de 450 L para tener la cantidad necesaria para cubrir el volumen del cajón e inundar las charolas de unicel con la solución nutritiva. La cantidad utilizada de solución nutritiva fue de 150 L en todo momento.

Por el objetivo y tamaño del experimento, se trató de simular, en la medida de lo posible, un sistema tecnificado. Para esto se utilizó un temporizador para programar la hora y el

día de los riegos, para el abastecimiento de solución nutritiva se utilizó una bomba de pecera con una capacidad de alcance de 4 m de altura.

### **Biocarbón**

La utilización del biocarbón en este experimento se decidió por los diversos factores benéficos que contribuyen para uso como sustrato en la producción de plantas en vivero como también por sus beneficios ambientales. El biocarbón está constituido por carbono de un 70 a 80 % el resto se compone de nitrógeno, oxígeno, hidrógeno y azufre (Lehmann *et al.*, 2011) en el experimento se decidió la utilización de este producto por sus diversas propiedades y beneficios que diversos autores mencionan. Algunos autores han concluido que debido a que tiene una gran superficie específica tiene la capacidad de sorber contaminantes del suelo y sedimentos, se menciona que tiene la capacidad de estimular la mineralización y la nitrificación (Berglund *et al.*, 2004). Otro beneficio es que el biocarbón puede permanecer enterrado en el suelo por periodos prolongados hasta de 1000 años o más (Lehmann *et al.*, 2009).

Se compraron 20 kilogramos de carbón vegetal en la comunidad de Montecillo, Texcoco. Para obtener las características deseadas como es el diámetro se le dio un proceso que consistió en molerlo de manera manual para obtener un diámetro de 0.5 cm, que fue el que se determinó. Se utilizaron dos mallas metálicas; una de un diámetro 1 cm la otra; de 0.5 cm de diámetro; así se obtuvo un tamaño homogéneo en las partículas de carbón. El biocarbón se utilizó en los tratamientos 2, 3, 5 y 6 con una proporción de 40 a 60% de acuerdo con el tratamiento.

### **Solución nutritiva**

La solución nutritiva es agua y nutrimentos esenciales en forma iónica. Para que los nutrimentos de la solución nutritiva estén disponibles para las plantas, la solución nutritiva debe ser una solución verdadera, por lo tanto; esto significa que todos los iones se deben encontrar disueltos (Steiner, 1968). Se utilizó la fórmula base de solución nutritiva recomendada por Landis *et al.* (1989), la cual considera las tres etapas de desarrollo de las plantas en vivero (iniciación, crecimiento exponencial y lignificación). El sistema de



fertirriego por inundación que se utilizó fue cerrado, pues la solución nutritiva se recicló entre el depósito (Rotoplas®) y la caja o cama de crecimiento.

Los riegos con solución nutritiva, en ambos sistemas (inundación y regadera) se aplicaron cada tercer día (un día sí y otro no).

### **Etapas de almácigo**

Para la obtención de las plantas, se recolectó la semilla de *Pinus montezumae* Lamb. en el ejido Los Romeros, Santiago Tulantepec, Hgo. La germinación se llevó a cabo en almácigo utilizando perlita al 100% como sustrato. Cuando la plántula presentó las condiciones adecuadas para ser trasplantada se pasó a charolas de unicel, donde la planta se desarrolló en etapa en vivero.

### **Trasplante**

El trasplante se realizó el viernes 26 de marzo del 2021, cuando las plántulas alcanzaron el tamaño adecuado (aproximadamente 5 cm de altura). Esto se realizó en el invernadero ubicado en el Bosque San Juan de Aragón, Gustavo A. Madero, 07969, Ciudad de México. Dado que la germinación se realizó en almácigo se tuvo la posibilidad de escoger las plántulas que tuvieron un tamaño adecuado y homogéneo, para asegurar su supervivencia. En la charola se remojó el sustrato antes y después al trasplante; posteriormente se dieron riegos constantes para evitar la deshidratación de las plantas. Para evitar la propagación o generación de hongos se utilizó el Captan®, el cual es un fungicida de uso general que pertenece a la clase de fungicidas ftalimidas. Es un polvo blanco, aunque en las muestras comerciales aparecen de color amarillo o marrón. Se utilizó 0.5 g por litro de solución nutritiva. Después del trasplante, las plantas se regaron solamente con agua; 10 días después del trasplante, se inició la aplicación de fertirriegos con la solución nutritiva en ambos sistemas de fertirriego.

### **Variables evaluadas**

Al final de la etapa, cuando se decidió concluir con la aplicación de la fórmula nutritiva de endurecimiento de las plantas, se midió el diámetro basal (DB) y altura de plantas (Alt). Se tomó una muestra aleatoria de plantas de cada unidad experimental (14 plantas).

Estas plantas se utilizaron para hacer un análisis destructivo para determinar biomásas de los compartimentos de la planta, tales como Peso Seco de Raíz (PSR), Peso Seco de Tallo (PSTa) y Peso Seco de Follaje (PSF) así como el Peso Seco de 100 acículas (PS100). Con estas variables en adición al diámetro y altura de plantas se determinaron los índices de calidad de la planta (Índice de Dickson (IDIK), relación biomasa aérea/biomasa radical (Ba/Bs) e índice de robustez (IR) Figura 3. Las plantas restantes se utilizaron para dar continuidad con la evaluación de los tratamientos en campo.

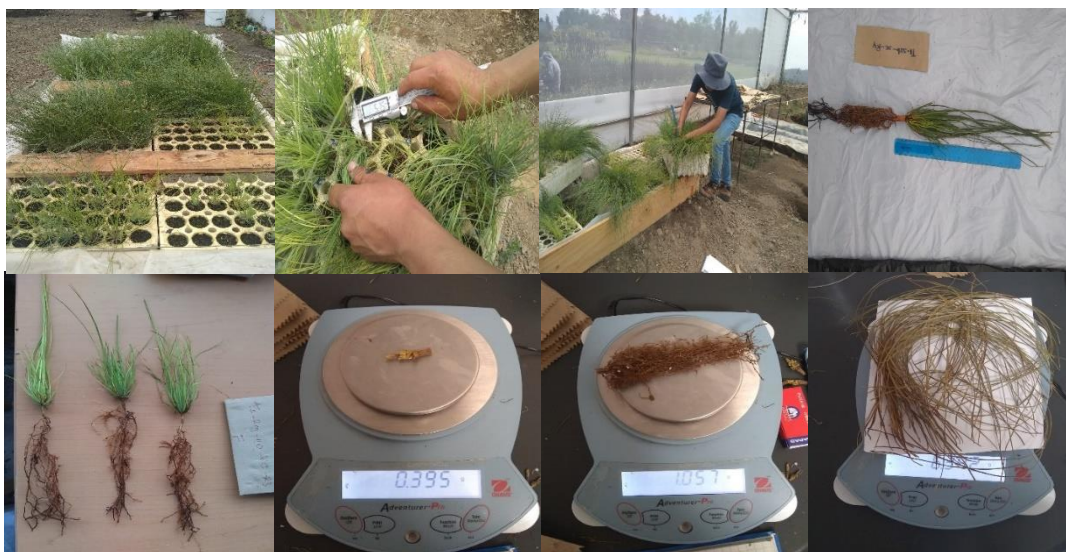


Figura 3. Proceso de levantamiento de datos de las variables estudiadas en el experimento de *Pinus montezumae* Lamb. establecido en el Bosque San Juan de Aragón, Gustavo A. Madero, CdMx.

Para la evaluación de las variables destructivas, se inició con la extracción de la planta, con todo y el cepellón, de la cavidad de la charola; posteriormente se separó el sustrato de la raíz, se seccionó la parte aérea de la parte radical, se introdujeron las partes en bolsas de papel para realizar el secado. En una estufa de secado se colocaron las muestras en las bolsas previamente etiquetadas; para obtener un peso constante se secaron a una temperatura de 70°C durante un periodo de tiempo de 48 horas. Una vez que las muestras alcanzaron un peso constante se retiraron de la estufa y con la ayuda de una balanza analítica (marca Ohaus con 1/1000 g de precisión) se pesó la parte radical. Para la parte aérea, se separó tallo y follaje y una vez que registró los datos de

cada sección se mezcló el follaje de las plantas de cada experimento; esto con el objetivo de registrar el peso seco de 100 acículas.

Tres muestras compuestas de cada tratamiento fueron enviadas para su análisis químico al Laboratorio Salvador Alcalde Blanco del Colegio de Postgraduados. En el laboratorio se hicieron determinaciones de nitrógeno, fósforo, potasio y hierro.

### **Análisis estadísticos**

Las variables evaluadas se analizaron con el software SAS 9.1 para probar las diferencias entre los factores estudiados. Al verificar la normalidad de las variables evaluadas, peso seco raíz, peso seco follaje, Ba/Bs, IR, IDICK presentaron normalidad. En el caso del peso seco de tallo se logró la normalidad con una transformación a logaritmo natural; sin embargo, el diámetro, la altura y la longitud de raíz no presentaron normalidad aun después de probar varias transformaciones. Las variables con distribución normal se analizaron mediante análisis de varianza; en caso contrario se utilizaron pruebas no paramétricas.

### **Experimento 2**

#### **Acidificación del biocarbón y desempeño de la planta de *Pinus montezumae* Lamb.**

Con el objetivo de reforzar los resultados obtenidos en el experimento principal (sistemas de fertirriego y mezclas de sustratos en la producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb.), y en virtud de que en ese experimento hubo problemas de clorosis en los tratamientos con biocarbón en los sustratos, se realizó un ensayo que consistió en probar el efecto de la acidificación del biocarbón utilizado en las mezclas. Para tal efecto, se utilizó la mezcla que contuvo el mayor porcentaje de biocarbón en el experimento principal: 60% de biocarbón 40% de turba. Antes de realizar la mezcla de sustratos, se acidificó el biocarbón utilizando ácido sulfúrico a una concentración 1-normal, con una pureza de 85%, durante diferentes tiempos.

En este ensayo de acidificación del biocarbón fueron cuatro los tratamientos que se probaron: tratamiento uno = cero minutos de acidificación (sin acidificación); tratamiento dos = 720 minutos (un día) de acidificación; Tratamiento tres = 2,160 minutos (tres días) de acidificación) y Tratamiento cuatro= 10,800 minutos (cinco días) de acidificación).

Posterior al proceso de acidificación del biocarbón se elaboraron las mezclas para realizar la siembra directa de la semilla. El experimento se estableció en un invernadero dentro de las instalaciones del Vivero del Postgrado en Ciencias Forestales del Campus Montecillo, Colegio de Postgraduados. Las coordenadas del sitio son 19° 27' 38 N., 98° 54' 11" O a una altitud de 2250. La temperatura máxima y mínima promedio 35 °C y 18 °C, respectivamente, dentro del invernadero. La humedad relativa osciló entre 25% durante el día y 70% en la noche Basave., (2021).

## **V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **Experimento 1**

#### **Porosidad de los sustratos**

El Cuadro 3 Muestra que la porosidad total (PT) de las mezclas de sustrato se ubicaron en el rango de 71.2 a 81.2 %, mientras que los rangos de la porosidad de aireación (PA) y porosidad de retención de humedad (PRH) variaron de 12.8 a 32.9 % y 38,26 a 68.3 % respectivamente.

Los valores obtenidos en las dos primeras mezclas están cercanos a las recomendadas como características ideales para un sustrato, en la tercera mezcla presenta valores elevados esto se debe al volumen alto de biocarbón utilizado.

Cuadro 3. tratamientos probados en el experimento sobre el efecto del fertirriego y mezclas de sustrato para la producción de *Pinus montezumae* Lamb. en etapa de vivero en el Bosque San Juan de Aragón, CDMX.

Mezcla		VPT ( % )	VPA ( % )	PT ( % )	PA ( % )	PRH ( % )
60-30-10	Media	162.3	25.7	81.2	12.8	68.3
	Var	22.3	4.3	5.6	1.1	11.1
40- 60	Media	168	33.7	84	16.8	67.2
	Var	4	14.3	1	3.6	1.1
60-40	Media	178	82.3	71.2	32.9	38.26
	Var	13	6.3	2.08	1.01	1.97

PT; Porosidad total: PRH; Porosidad de retención de humedad: PA; porcentaje de aeración. VPT volumen de porosidad total, VPA volumen de porosidad de aireación, PRH; porosidad de retención de humanidad.

### Características de un sustrato ideal

Densidad aparente 0.22 g/cm<sup>3</sup> - densidad real 1.44 g/cm<sup>3</sup> - espacio poroso total 85% - fase sólida 10-15% - agua fácilmente disponible 20-30% - contenido de aire 20-30% - agua de reserva 6-10% - pH 5,5-6,5 -capacidad de intercambio catiónico 10-30 meq/100 g peso seco - contenido de sales solubles 200 ppm (2mS/cm) (FAO, 2002).

### Efecto de los sistemas de fertirriego y biocarbón en el crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb.

#### Normalidad de las variables de respuesta

El Cuadro 4 muestra que algunas variables fueron transformadas para obtener la normalidad. Tal es el caso de LR, cuyos valores se elevaron al cuadrado, mientras que el PSR, PSF e IDICK se transformaron a su raíz cuadrada. El PSTa, se transformó a

logaritmo natural. Con estas transformaciones de las variables, todas ellas mostraron distribución normal, excepto la altura diámetro basal (DB).

Cuadro 4. Valores de P de las pruebas de normalidad de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov para las variables morfológicas y de calidad de planta de *Pinus montezumae* Lamb. en la etapa de vivero.

Variable de respuesta	Prueba	Valor-p
Alt (RC)	Shapiro-Wilk	Pr < W
	Kolmogorov-Smirnov	Pr > D
DB	Shapiro-Wilk	Pr < W
	Kolmogorov-Smirnov	Pr > D
LR(C)	Shapiro-Wilk	Pr < W
	Kolmogorov-Smirnov	Pr > D
PSR(RC)	Shapiro-Wilk	Pr < W
	Kolmogorov-Smirnov	Pr > D
PSF (R)	Shapiro-Wilk	Pr < W
	Kolmogorov-Smirnov	Pr > D
PSTa (Ln)	Shapiro-Wilk	Pr < W
	Kolmogorov-Smirnov	Pr > D
Ba/Bs	Shapiro-Wilk	Pr < W
	Kolmogorov-Smirnov	Pr > D
IR	Shapiro-Wilk	Pr < W
	Kolmogorov-Smirnov	Pr > D
RCIDICK	Shapiro-Wilk	Pr < W
	Kolmogorov-Smirnov	Pr > D

Alt; altura raíz cuadrada: DB; Diámetro basal: LR; longitud de raíz al cuadrado: PSR (RC); peso seco raíz (Raíz cuadrada): PSFR; peso seco follaje raíz cuadrada: logaritmo natural de biomasa tallo: Ba/Bs; relación biomasa aérea biomasa subterránea: IR; índice de robustez: recíproca de índice de calidad de Dikson.

Cuadro 5 Valores de p del análisis *Kruskal-Wallis* para la variable DB *Pinus montezumae* Lamb. en la etapa de vivero.

Fuente de variación	DB
SR	0.0606
BIOCAR	0.0003

De acuerdo con el análisis estadístico no paramétrico de *Kruskal-Wallis* el efecto del sistema de fertirriego no presentó diferencia significativa entre las variables evaluadas,

sin embargo, si presentó diferencia significativa con el efecto del biocarbón en los tratamientos probados cuadro 5.

Cuadro 6. Valores de p de los análisis de varianza de las variables morfológicas y de calidad de planta de *Pinus montezumae* Lamb. en la etapa de vivero.

Fuente de variación	ALTRC	LRAIZRC	PSR	PSTa	PSF	Ba/Bs	IR	IDICK
<b>SR</b>	0.0397	0.0004	0.0042	0.0874	0.0008	0.506	0.0094	0.0037
<b>BIOCAR</b>	<0.0001	0.1243	<.0001	<.0001	<.0001	0.0129	0.0182	<.0001
<b>SR*BIOCAR</b>	0.0615	0.0491	0.2409	0.0533	0.9192	0.1201	0.6288	0.175

ALTRC: Raíz cuadrada de la altura de planta; DB: diámetro basal; LRAIZRC: Raíz cuadrada de la longitud de raíz; Peso seco raíz: PSR; Peso seco tallo: PSTa; peso seco follaje: PSF; relación biomasa aérea/raíz: Ba/Bs; Índice de robustez: IR; Índice de Dickson: IDICK.



El Cuadro 6 muestra que hay diferencia significativa entre los sistemas de fertirriego para las variables PSR, PSF, IR, IDICK; sin embargo, no hay diferencia significativa en el caso de PSTa y Ba/Bs.

El biocarbón produjo diferencia significativa en PSR, PST, PSF y el índice de Dickson (IDICK); sin embargo, la relación Ba/Bs y el IR no se vieron afectados por este factor.

De acuerdo con la Figura 4A, el sistema de fertirriego por inundación generó valores significativamente mayores en todas las variables, excepto en PSTa y Ba/Bs, comparado con el sistema de fertirriego con regadera. La presencia de biocarbón en la mezcla de sustratos, por el contrario, indujo efectos negativos en las biomásas de los componentes de las plantas y en los índices de calidad de éstas, disminuyendo todas, conforme aumentó la concentración de biocarbón en la mezcla de sustratos (Figura 4B).

En general, es posible afirmar que el sistema de fertirriego por inundación es superior al sistema de regadera, ya que genera plantas más grandes (mayores PSR y PSF) y con mejores indicadores de calidad (IR e IDICK), en comparación con las producidas mediante el sistema de fertirriego con regadera (Figura 4A).

Sáenz *et al.* (2014), señalan que el valor del índice de robustez (IR), tal como ellos lo estimaron ( $\text{Altura/diámetro al cuello}$ ) debe ser inferior a 6 para que la planta sea de calidad adecuada. En el presente estudio, el IR se estimó en forma inversa ( $\text{Diámetro al cuello/altura}$ ), por lo que se deduce que los valores así estimados para este índice debieran ser superiores a 0.17. Con este patrón de comparación, la Figura 4A indica que la planta producida por cualquiera de los dos sistemas de fertirriego es de buena calidad (valores entre 1.95 y 2.30), siendo superior la planta producida bajo fertirriego por inundación.

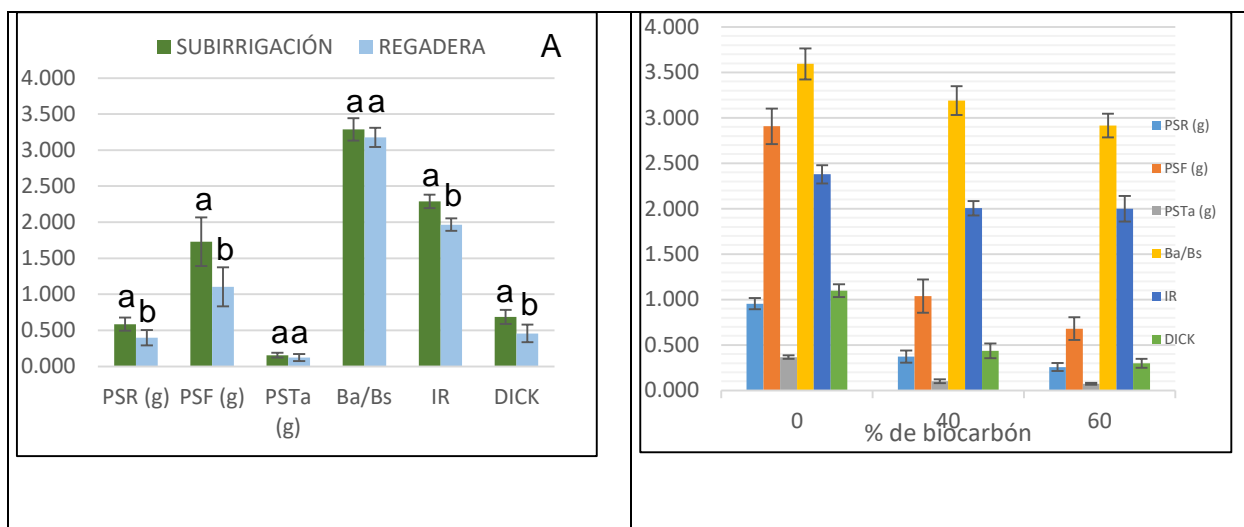


Figura 4. Pruebas de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para los efectos de A) dos sistemas de fertirriego y B) tres proporciones de biocarbón en la mezcla de sustratos, sobre variables morfológicas y de calidad de planta de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero. Dentro de una variable D.

El índice de Dickson (IDICK, Figura 4A), también indica que ambos sistemas de fertirriego produjeron planta de alta calidad, de acuerdo con los rangos establecidos por Rueda *et al.* (2012;  $IDICK \geq 0.5$ ); resultando también, de acuerdo con este indicador, planta de mayor calidad aquella producida con fertirriego por inundación.

En lo relativo a los efectos de las mezclas de sustratos probadas, la Figura 3B muestra que con excepción de la variable Ba/Bs, la presencia de biocarbón en la mezcla de sustratos, en cualquiera de las proporciones probadas, indujo menores valores que los producidos por la mezcla de sustratos sin biocarbón. El biocarbón disminuyó significativamente el valor de la variable Ba/Bs, sólo cuando su concentración en la mezcla de sustratos contuvo la mayor proporción probada (60 %) de ese material.

Durante el desarrollo del experimento se detectó que después de las inundaciones de los sustratos con la solución nutritiva, el pH de ésta se elevaba de manera consistente; efecto que se atribuyó a la presencia de biocarbón. Hernández-Hernández *et al.* (2020) aplicaron diversas dosis de residuos de carbón vegetal al suelo cultivado con caña de azúcar, encontrando que, en efecto, al aplicar dosis elevadas de biocarbón, el pH del suelo se elevó. En este caso, tal elevación resultó positiva, dado que el suelo era ácido inicialmente.

En el presente estudio, el uso de biocarbón como parte de la mezcla de sustrato resultó, en general, negativo para el desarrollo de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero, y este efecto, aparentemente se debió al impacto del biocarbón sobre el pH de la mezcla de sustratos, ya que la mayoría de las especies de coníferas están adaptadas a suelos con pH ligeramente ácidos (Gutiérrez-García *et al.*, 2015); por tanto, al establecerse en sustratos con pH alcalino, se limita su crecimiento. Salifu *et al.* (2006), determinaron que el pH del sustrato explicó el 43 y 54% de la variabilidad del peso seco de la planta y de la longitud del tallo, respectivamente.

El pH del sustrato es crítico para la disponibilidad de la mayoría de los nutrientes, pero especialmente para la de hierro (Fe), fósforo (P) y micronutrientes en general (Ferrarezi *et al.*, 2022). Cuando el pH es elevado, disminuye la disponibilidad de los mencionados nutrientes. Este efecto constituye la posible y más probable explicación a la reducción del crecimiento en sustratos con biocarbón en el presente experimento (Landis *et al.*, 2014).

Combinación de sistemas de fertirriego y mezclas de sustratos en el crecimiento y calidad de planta

La Figura 5 revela que, en términos de producción de biomasa, los mejores tratamientos son aquellos que no contienen biocarbón dentro de la composición del sustrato (Tratamientos 1 y 4).

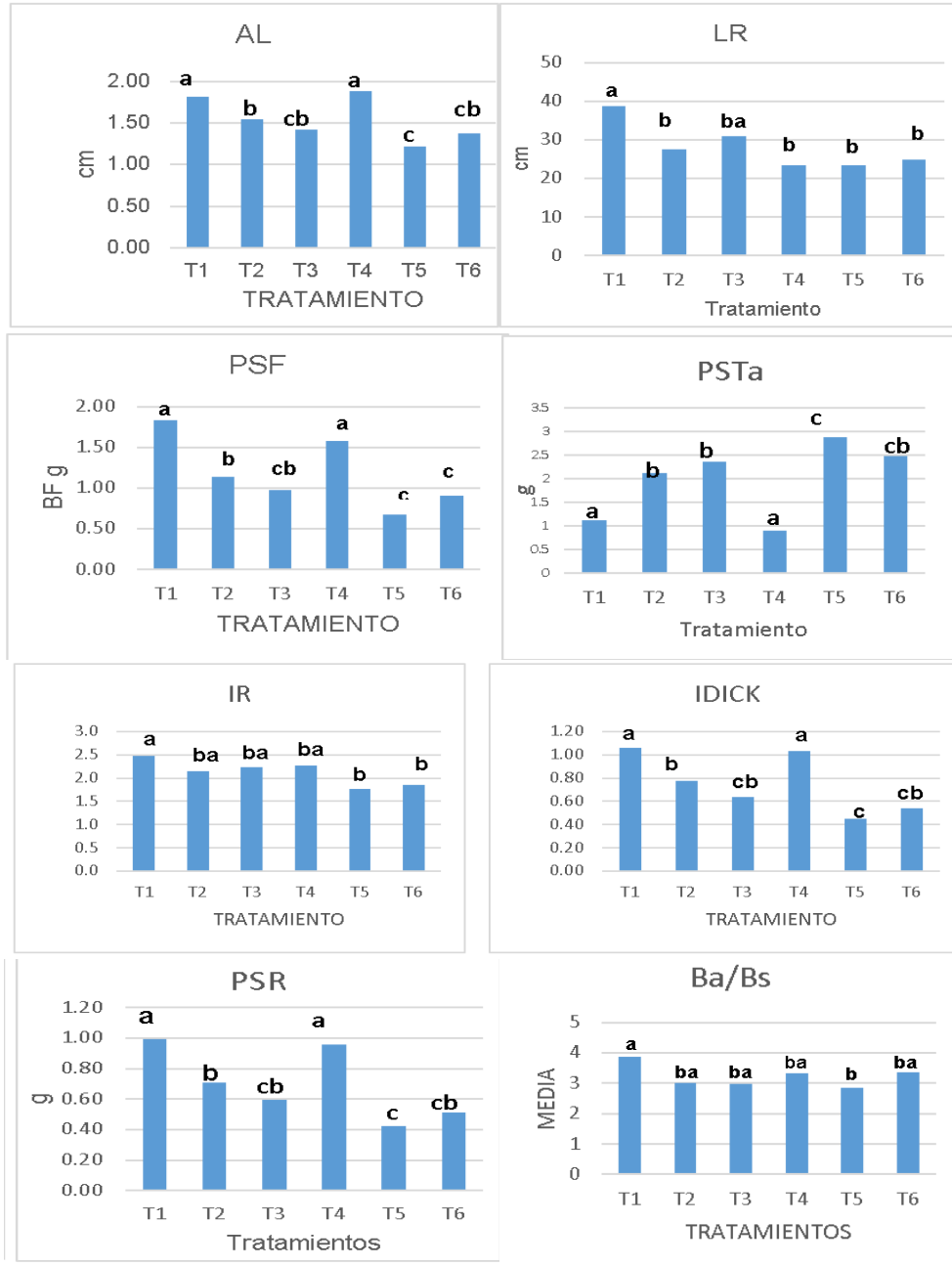


Figura 5. Pruebas de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) sobre los tratamientos resultantes de combinar dos sistemas de fertirriego y tres mezclas de sustratos. En los tratamientos T1 inundación y T4 con regadera se empleó una mezcla de sustrato de una proporción de 60:30:10.

En cuanto a los indicadores de calidad de la planta (IR e IDICK), son también los tratamientos 1 y 4 (sin biocarbón), los que presentan los valores más altos (2.55 y 2.25 para IR y 1.08 y 1.02 para IDICK, en los mismos tratamientos 1 y 4, respectivamente).

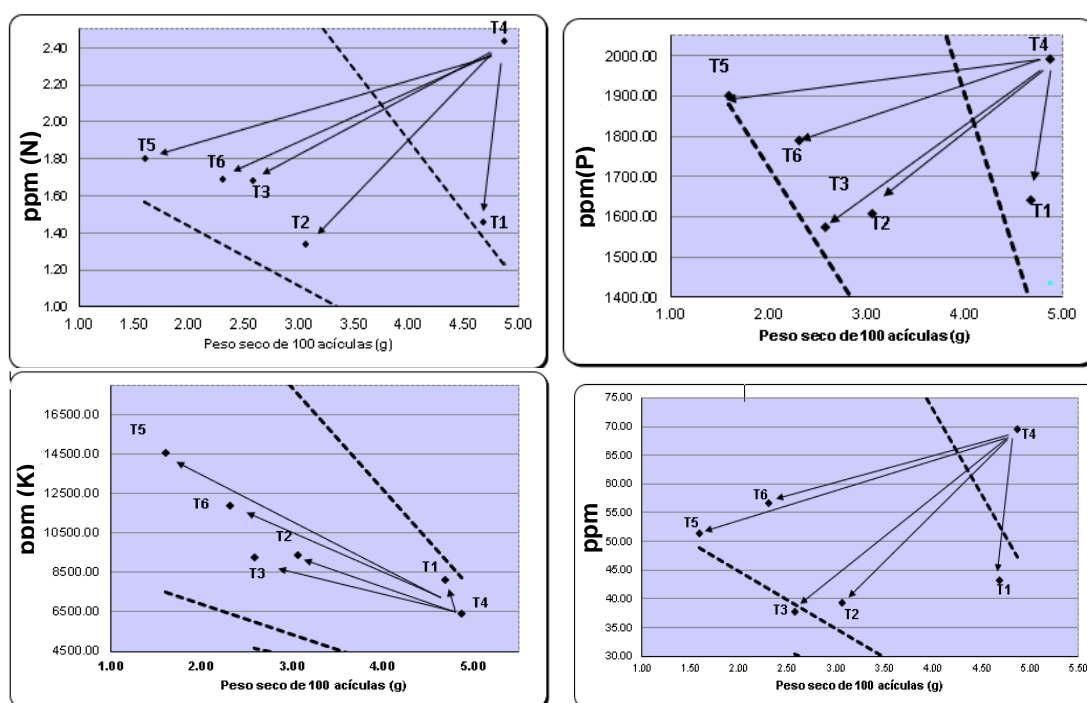
De acuerdo con la Figura 5, biocarbón tuvo un efecto considerable en el desarrollo de las plantas. Las proporciones probadas de biocarbón tuvieron un efecto negativo. Se encontró que a medida que la proporción de biocarbón fue menor en la mezcla, las plantas presentaron un mejor desarrollo. Esto concuerda con lo que plantean Buss y Masek (2014), quienes encontraron que los compuestos producidos durante la pirolisis del biocarbón tienen un efecto fitotóxico; por ende, a mayor proporción de biocarbón mayor es la probabilidad de que el biocarbón ejerza un efecto fitotóxico, no obstante que varias sustancias se han perdido durante el proceso de pirólisis. Aparte de este efecto de toxicidad, el biocarbón presenta un pH elevado que al mezclarse con otros sustratos contribuye a una alcalinización de todo el medio de crecimiento, disminuyendo la disponibilidad de la mayoría de nutrimentos para las plantas (Ferrarezi *et al.*, 2022).

Otros autores también reportan que cantidades altas de biocarbón en el sustrato de crecimiento tienen una repercusión negativa en el crecimiento y desarrollo de diferentes especies vegetales ya que éste puede alterar las condiciones del sustrato y dificultar la absorción de algunos nutrimentos (Ferrarezi *et al.*, 2022). Esto explica por qué en este experimento los tratamientos T2 (Inundación con un porcentaje de 60 biocarbón 40 peatmoss), T3 inundación (60 peat moss, 40 biocarbón) y T5 (Regadera 40 biocarbon) 60 peat moss), T6 regadera (40% peat moss 60% biocarbón) presentaron deficiencias nutrimentales, principalmente clorosis férrica (Li *et al.*, 2015) al compararlos con los tratamientos que no incluyeron biocarbón.

Las propiedades físico químicas del biocarbón pueden tener un efecto negativo o positivo sobre los microorganismos presentes en la rizosfera; esto puede explicar de igual manera que los tratamientos con biocarbón propiciaron un escaso desarrollo de la parte radicular y que no se lograra conformar el cepellón de manera adecuada, principalmente en los tratamientos 3 y 6 que tuvieron la proporción más alta de biocarbón, aunque también se menciona que el efecto a largo plazo del biocarbón, puede ser benéfico para la rizosfera (Gluszek *et al.*, 2017).

## Estado nutrimental de *Pinus montezumae* Lamb.

Los gráficos de Timmer (Figura 6), indican que los tratamientos 1 (fertirriego por inundación, con sustrato sin biocarbón) y 4 (fertirriego con regadera y sustrato sin biocarbón) generaron las acículas más grandes y tuvieron mayores disponibilidades de N, P y Fe (Figura 5A, B y D). De acuerdo con López y Alvarado (2010), los tratamientos con biocarbón en el sustrato (T2 [ inundación + 40% de biocarbón], T3 [ inundación + 60% de biocarbón], T5 [fertirriego con regadera + 40% de biocarbón] y T6 [fertirriego con regadera + 60 % de biocarbón]), tuvieron un efecto antagónico sobre las concentraciones de N, P y Fe. En otros términos, el biocarbón inhibió la absorción de estos nutrientes por parte de las plantas. Es altamente probable que la disminución de la absorción de estos nutrientes tenga relación con los elevados valores de pH que prevalecieron en los sustratos con biocarbón. Los mismos autores señalan que los vectores correspondientes a estos tratamientos indican que después de aplicados los mismos, las plantas experimentan deficiencia de esos nutrientes.



**Figura 6.** Gráficas de Timmer para planta de *Pinus montezumae* Lamb. sujeto a dos sistemas de fertirriego y tres mezclas de sustratos en etapa de vivero. T1: inundación sin biocarbón; T2: inundación con 40% de biocarbón; T3: inundación con 60% de biocarbón.

En relación con el potasio, López y Alvarado (2010) indican que de acuerdo con las tendencias de los vectores de la Figura 6C, los tratamientos con biocarbón afectaron el crecimiento de las plantas al tiempo que la disponibilidad de potasio no fue alterada; condiciones que resultaron en un efecto de concentración de K, por reducción del crecimiento. Los mencionados autores indican que las plántulas de los tratamientos T2, T3, T5 y T6 presentan un nivel de suficiencia de K.

### **Consumo de agua**

En la implementación de las actividades que se realizan en los viveros se generan una serie de aspectos e impactos ambientales, que afectan el ambiente tanto al interior como al exterior de los viveros (Bravo y Villasen 2008). Las condiciones en las que se implementó el experimento (escasez de agua de buena calidad) ameritaron el objetivo de optimizar el consumo del agua y de los nutrimentos durante el proceso de producción. En el sistema que se diseñó en este proyecto no sólo se logró reducir significativamente la cantidad de agua empleada, sino que también se logró disminuir la cantidad de los nutrimentos que se utilizaron. En la Figura 6 se indica la cantidad de agua que se empleó para la operación de los sistemas de fertirriego probados, durante un periodo de cinco meses que duró el experimento. Durante este periodo se utilizó un total de 1,125 litros de agua para el sistema de fertirriego por aspersión en contraste con el sistema de inundación, que utilizó 816 litros (ahorro de 27.5% de agua) que solamente recircularon entre el depósito y la caja de crecimiento de la planta (sistema cerrado), lo que evitó pérdidas significativas de agua (Van Os, 1999; Incrocci *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2008). Los únicos conceptos por los que hubo pérdida de agua en el sistema de fertirriego por inundación fueron el proceso de transpiración de las plantas y el proceso de evaporación desde las superficies de la solución nutritiva y del sustrato, después de cada inundación.

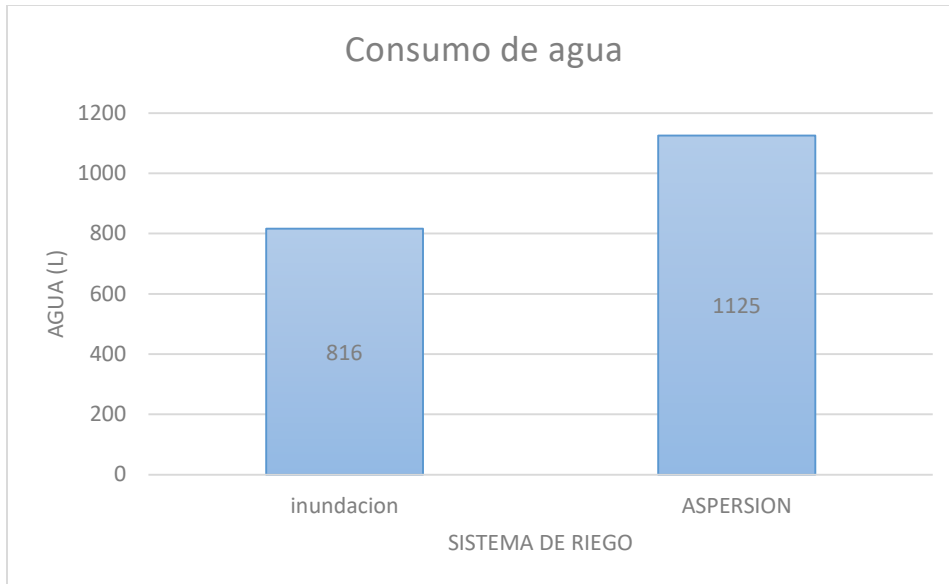


Figura 7. Consumo de agua en dos sistemas de fertirriego, durante el proceso de producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero.

En el sistema de fertirriego por inundación se utilizaron 816 L de agua para la operación del sistema; de esta cantidad de agua, 450 L se utilizaron al momento de preparar las soluciones nutritivas de iniciación, crecimiento rápido y lignificación (150 L en cada etapa). Los 366 L restantes corresponden a las cantidades de agua que después de cada fertirriego se perdieron por absorción/transpiración y evaporación. Este monto representó 4.88 L/fertirriego, en promedio. Dado que las soluciones nutritivas desechadas al cambiar las formulaciones correspondientes a las etapas de desarrollo inicial, de crecimiento rápido y de lignificación, se reutilizaron para el fertirriego de cultivos de hortalizas (tomate rojo y calabaza), pudiera considerarse que esos 450 L de agua no se perdieron en el proceso de producción de la planta de *P. montezumae*, sino durante el proceso de producción de hortalizas, de tal manera que las pérdidas reales de agua en el sistema de inundación, ascendieron solamente a 366 L. En consecuencia, el sistema de regadera consumió 207% más agua comparado con el sistema de fertirriego por inundación. Este valor es similar al reportado por Ramírez *et al.* (2022; 217%) con un sistema similar de fertirriego por inundación.



## Consumo de fertilizantes

La Figura 8 muestra la masa de cada material fertilizante, consumida a lo largo del ciclo de producción de la planta de *Pinus montezumae* Lamb en dos sistemas de fertirriego. Invariablemente, el sistema de fertirriego con regadera consumió más de dos veces la cantidad de fertilizante, comparado con el sistema de inundación.

La fertilización química es una de las prácticas agropecuarias y forestales que ocasionan altos niveles de contaminación. Su utilización implica riesgos ambientales por la lixiviación hacia las aguas subterráneas, cuando se combina con malas prácticas de riego (Cárdenas-Navarro *et al.*, 2004). La Figura 8 muestra que, aunque en el sistema de fertirriego por inundación no se deja de utilizar fertilizantes químicos, su consumo sí se ve disminuido considerablemente.

En un estudio realizado en viveros de Finlandia, Juntunen (2002) determinó que anualmente, los viveros aplicaron entre 160 y 230 Kg de N y 70 a 100 Kg de P por hectárea. En el presente estudio, el sistema de inundación utilizó 237 Kg de N y 488 Kg de P por hectárea. Estos valores son mayores a los reportados por Juntunen (2002); sin embargo, debe considerarse que, en el sistema de inundación, estos nutrimentos se aplicaron para que estuvieran disponibles en la solución nutritiva, misma que al final de cada etapa del proceso de producción (iniciación, crecimiento rápido y lignificación), las soluciones nutritivas se recuperaron y reutilizaron para fertirriego de hortalizas (tomate rojo y calabaza) cultivadas en suelo. Por lo anterior, pudiera considerarse que el consumo de nutrimentos por parte de *P. montezumae* Lamb, durante la fase de vivero,

fue mínimo e incluyó solamente los nutrientes absorbidos por las plantas de pino.

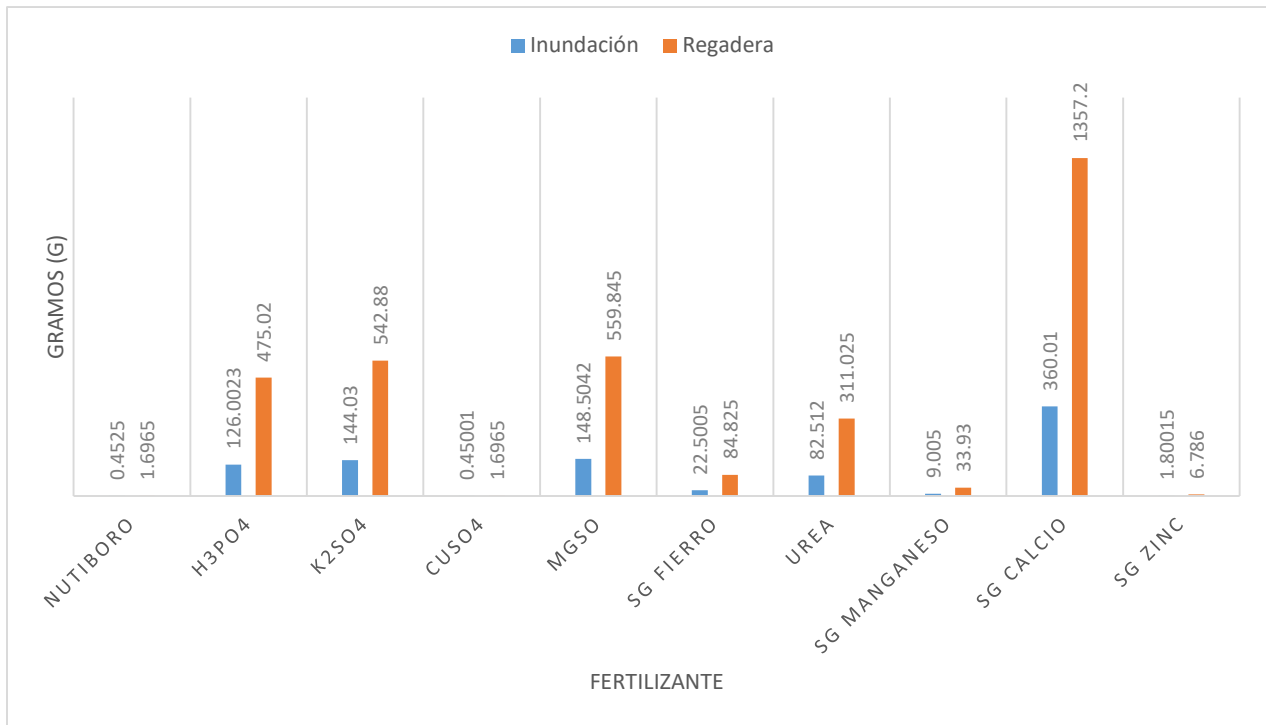


Figura 8. Consumo de fertilizantes en los sistemas de fertirriego con regadera e inundación, para la producción de *Pinus montezumae* Lamb. en etapa de vivero.

Nutriboro<sup>®</sup>, Ac. Forfórico, MgSO<sub>4</sub>; sulfato de potasio, CuSO<sub>4</sub>; sulfato de cobre, Urea, SG=SAGAQUEL<sup>®</sup> (Los sagaqueles son fertilizantes foliares y radiculares líquidos multiquelutados de fierro, zinc, magnesio, boro y manganeso.)

### Valores de pH y CE obtenidos en el sustrato utilizado

Para mantener un sistema de inundación en condiciones adecuadas se requiere de supervisión constante y su pronta atención, existen diversos factores que influyen en las composiciones químicas de la solución nutritiva (SN), tales como factores ambientales entre otros factores, para los sistemas hidropónicos como los cerrados. El sustrato que se esté manejando influye de manera directa en el pH y CE (Nélio 2006). El proceso y la procedencia de los sustratos es determinante con los niveles de pH. En el presente proyecto, se registró un pH promedio de 7.5 en la solución nutritiva por ello se ajustó a 5 durante todo el periodo de riegos. Esto sucedió en el caso del sistema hidropónico, pues en el sistema de regadera no se tuvo mayor dificultad pues el pH se mantuvo en un nivel bajo puesto que la solución nutritiva solamente se utilizaba una vez. En el sistema

hidropónico estaba recirculando por ello era necesario evaluar constantemente los niveles de pH y CE. En este sistema se presentó el problema del pH, se incrementó a niveles altos pues se llegó a registrar valores hasta de 8.1; con este valor tan alto o con valores de pH inferiores a cinco pueden aparecer síntomas de deficiencia de N, K, Ca, Mg y B. Con valores superiores de seis se producen problemas de disponibilidad de Fe, P, Mn, Zn y Cu (Burés, 1997).

En los primeros riegos que se realizaron en ambos sistemas, se presentó el problema de deficiencia férrica en los tratamientos que contenían biocarbón, esto también puede deberse por los porcentajes de mezcla utilizados. Hay trabajos donde se ha mencionado que cantidades excesivas de biocarbón podrían tener un efecto tóxico sobre el crecimiento de las plántulas (Buss y Masek, 2014). Esto puede explicar por qué en este proyecto los tratamientos con biocarbón presentaron problemas, pues la mezcla se evaluó hasta con 60 por ciento de biocarbón y de igual manera presentó problemas de alcalinidad, causando efecto negativo por concentración excesiva de biocarbón en el sustrato, lo cual se ha reflejado en disminución del crecimiento de diferentes especies vegetales (Li *et al.*, 2015).

## EXPERIMENTO 2

### **Acidificación del biocarbón, germinación de la semilla y crecimiento de la planta**

#### **Germinación de la semilla**

La germinación de la semilla se vio afectada por los tratamientos de acidificación del biocarbón. La mayor germinación (100%) se registró en las unidades experimentales que no recibieron acidificación del biocarbón. De la semilla sembrada en los tubetes cuyo biocarbón se acidificó por un día (24 h), la germinación fue muy baja (20%), pero en los tubetes con biocarbón acidificado por tres o cinco días, no hubo germinación. Los valores de pH de lixiviados de los tubetes con biocarbón acidificado fueron del orden de 2.3 a 2.8 y los de conductividad eléctrica fueron muy elevados (hasta 4.59 mS cm<sup>-1</sup>).

Turner *et al.* (1988) estudiaron la germinación de *Paulownia tomentosa* (Thund.) Steud. bajo varios regímenes de pH del suelo y encontraron que con un pH inferior a 4.0, no hubo germinación de las semillas, mientras que con valores de 4.5, la germinación fue reducida significativamente, comparada con la ocurrida con valores de 5.5 a 6.5.

Una vez que se alteran esas propiedades como el pH, se modifica las condiciones requeridas para que la semilla germine; por ello, en este ensayo, al acidificar un componente de la mezcla del sustrato se alteró el pH y la conductividad eléctrica (CE). Se recomienda que el valor de CE no exceda  $3 \text{ dS m}^{-1}$  (Warncke, 1988) concluyen que la salinidad excesiva o la presencia de sustancias tóxicas como los ácidos y los fenoles entre otros, pueden inhibir o retrasar la germinación.



Figura 9.. Fisonomía de plantas de *Pinus montezumae* Lamb. producidas en una mezcla de sustratos 40:60 (turba:biocarbón, 40:60), con diversos tiempos de acidificación. T=Tratamiento; Tpo0= tiempo cero de acidificación (sin acidificación); Tpo1= Tiempo uno (720 minutos o un día); Tpo2= Tiempo dos (2,160 minutos o tres días); Tpo3= Tiempo 3 (10,800 minutos o cinco días).

En relación con el crecimiento de las plantas sujetas a tratamientos de acidificación del biocarbón, las pruebas de Shapiro-Wilk, indicaron que, las variables de respuesta estudiadas (Diámetro Basal [DB], Longitud de Raíz [LR], Peso Seco de Follaje [PSF], Pesos Seco Total [PST], Relación Biomasa aérea/ Biomasa Subterránea [Ba/Bs]) presentaron distribución normal. El DB adoptó distribución normal después de elevar sus valores al cuadrado.

Cuadro 7. Valores-p correspondientes a las pruebas de Shapiro-Wilk para las variables analizadas en planta de *Pinus montezumae* Lamb. cultivada en un sustrato 40:60, (turba:biocarbón), acidificado a diferentes tiempos.

Variable	Valor de p
DB	0.1518
LR	0.2391
PSF	0.2134
PSR	0.0668
PST	0.1613
RAR	0.9702

DB: Diámetro basal; LR: longitud de raíz; PSF: peso seco raíz; PSR: peso seco raíz; PSTa: peso seco tallo; Ba/Bs; relación biomasa aérea biomasa subterránea.

Cuadro 8. Valores-p correspondientes al análisis de varianza para las variables analizadas en planta de *Pinus montezumae* Lamb. cultivada en un sustrato 40:60, (turba:biocarbón), acidificado a diferentes tiempos.

Variable	F	Pr > F
DB	11.52	0.0028
LR	6.15	0.0179
PSA	14.69	0.0013
PSR	15.49	0.0011
PSTa	15.7	0.001
Ba/Bs	3.4	0.0738

DB: Diámetro basal; LR: longitud de raíz; PSA: peso seco aéreo; PSR: peso seco raíz; PSTa: peso seco tallo; Ba/Bs; relación biomasa aérea biomasa subterránea.

Al presentar una distribución normal en todas las variables se realizó el análisis de varianza, para la variable DB, PSA, PSR, se indica que existe una diferencia significativa entre los tratamientos evaluados sin embargo para las variables LR) y Ba/Bs no presentaron diferencias significativas entre tratamientos.

Las pruebas de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) muestran que con excepción de la variable Ba/Bs, las variables de respuesta fueron afectadas por los tratamientos de acidificación del biocarbón utilizado en la mezcla de sustratos para la producción de la planta de *Pinus montezumae* Lamb. La acidificación del biocarbón utilizado en la mezcla de sustratos, independientemente de los tiempos de acidificación, resultaron adecuados para el

crecimiento de *P. montezumae* Lamb., ya que fueron superiores que el tratamiento sin acidificación (tiempo 0 de acidificación). Las plantas crecidas en biocarbón acidificado (media de los tres tiempos de acidificación), presentaron un DB 492% superior que el de las plantas con biocarbón sin acidificar. Porcentajes de crecimiento similares, mostraron las variables PSR, PSA y PST (478, 333 y 429%, respectivamente). Aunque la longitud de raíz se vio menos afectada por los tratamientos de acidificación, el efecto de estos tratamientos fue estadísticamente significativo.

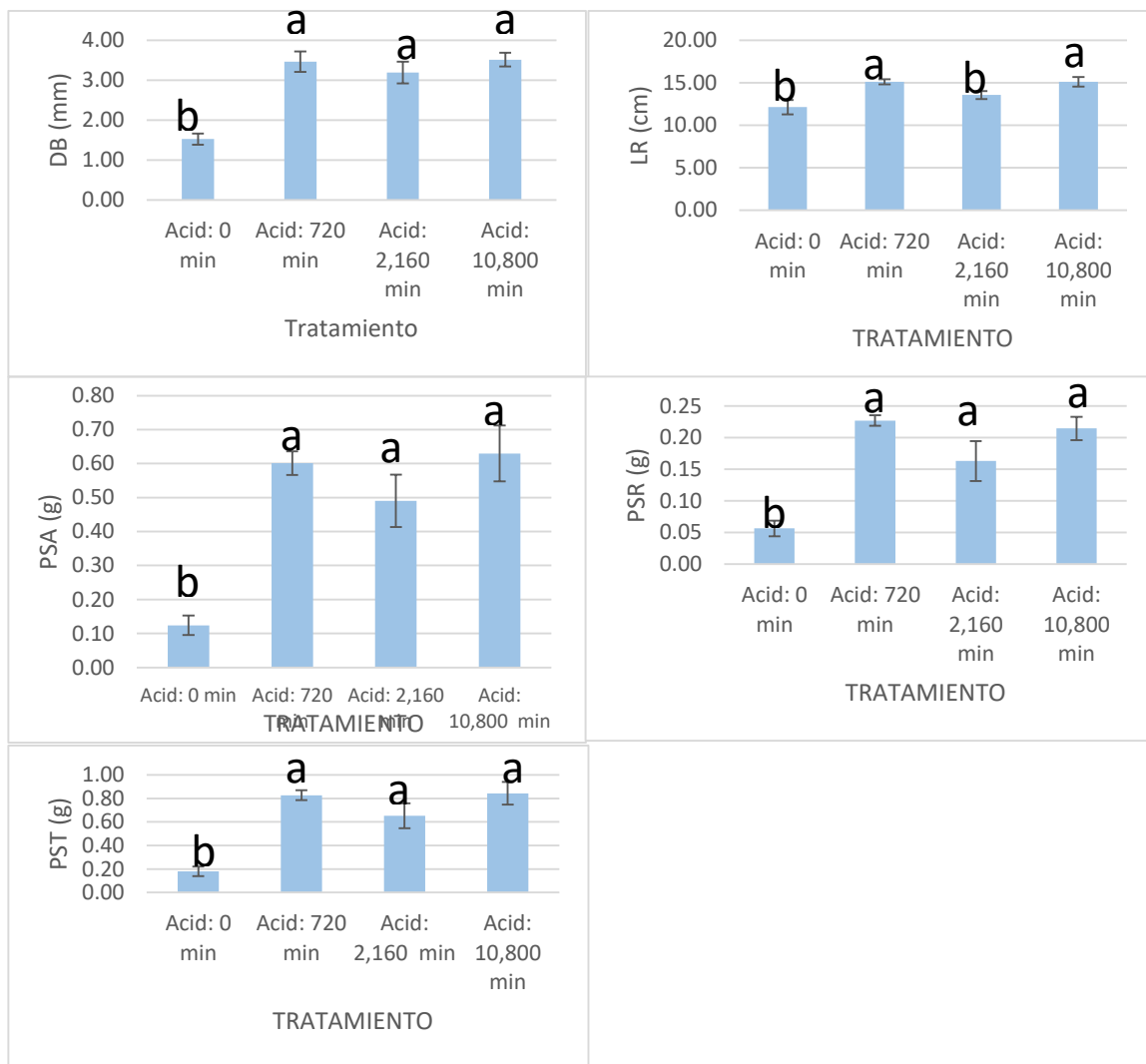


Figura 10. Pruebas de Tukey ( $\alpha=0.05$ ) para las variables de respuesta en el experimento de acidificación de biocarbón y su uso como sustrato para la producción de planta de *Pinus montezumae* Lamb., en etapa de vivero. DB: diámetro basal (milímetros); LR: longitud de raíz (centímetros); PSR: peso se de raíz (gramos); PSA: peso seco aéreo; PST: peso seco total (gramos): Ba/Bs relación biomasa aérea biomasa raíz.

Dado que los tiempos de acidificación no tuvieron efectos significativos entre ellos (Tratamientos 2, 3 y 4) en ninguna de las variables de respuesta, en cuanto al crecimiento de las plantas, pero sí inhibieron en la germinación de la semilla, se recomienda probar menores tiempos de acidificación, combinados con menores concentraciones del ácido sulfúrico. Dado que la germinación es afectada por la condición ácida del sustrato, al implementar este proceso de acidificación, debe germinarse la semilla en almácigo para luego trasplantar en el sustrato acidificado.

## VI. CONCLUSIÓN

La planta de *Pinus montezumae* Lamb se desarrolla adecuadamente en ambos sistemas de fertirriego: por inundación o por aspersión con regadera. La inclusión de biocarbón en la mezcla de sustrato eleva el pH de éste y afecta negativamente el crecimiento y calidad de la planta.

La producción de biomasa de raíz, tallo y follaje es reducida por la presencia de biocarbón en la mezcla de sustratos. En cambio, el índice de Dickson y la relación Ba/Bs no son afectadas.

La acidificación del biocarbón con ácido sulfúrico, antes de realizar la mezcla de sustratos, es una práctica que aumenta la factibilidad del uso de biocarbón en la mezcla de sustratos para producción de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero.

Se concluye que el sistema de fertirriego por inundación es superior al sistema de regadera, ya que genera plantas más grandes (mayores PSR y PSF) y con mejores indicadores de calidad (IR y DICK), en comparación con las producidas mediante el sistema de fertirriego con regadera

## VII. LITERATURA CITADA

- Abad, M., P. F. Martínez, M.D. Martínez, y J. Martínez. 1993. Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Actas Hort.* 11: 141-154.
- Arteaga C. Y., G. Geada L., M. Alonso L., Y. García Q., I. C. Castillo M. y R. Carballo A. 2013. *Revista Latinoamericana de Recursos Naturales.* 9(2): 184-192.
- Aquino, M. A. Z. (2015). Manual de hidroponía. Mexico: instituto de biología, UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Distrito Federal, p. 42. [https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual\\_de\\_hidroponia.pdf](https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/232367/Manual_de_hidroponia.pdf)
- Basave, E. (2021). Practicas de viveros enfocadas a producir plantas de calidad en especies forestales nativas de la selva baja caducifolia. Tesis de doctorado , Colegio de Patgraduados Campus Montecillo, Estado de Mexico.
- Beltrano. J.; Gimenez, O. D. (2015). Cultivo en Hidroponía. Buenos Aires Argentina: Editorial de la Universidad de La Plata 47 N° 380 / La Plata B1900AJP / Buenos Aires, Argentina.
- Bunt, A. 1988. Media and mixes for container grown plants. Boston: Unwin Hyman. 309 p.
- Buss, W.; Masek, O. 2014. Mobile organic compounds in biochar - a potential source of contamination - phytotoxic effects on cress seed (*Lepidium sativum*) germination. *J Environmental Management* 137: 111-119.
- CONAFOR. 2005. Programa Nacional de reforestación. Comisión Nacional Forestal-Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales. México, D.F., México. [http://www.conafor.gob.mx/programas\\_nacionales\\_forestales/pronare](http://www.conafor.gob.mx/programas_nacionales_forestales/pronare)
- Chang, Man Yu, 2001, "La economía ambiental", en Pierri, Naina y Guillermo Foladori, ¿Sustentabilidad? Desacuerdos sobre el desarrollo sustentable, Uruguay, Baltgráfica, pp.165-178.
- Di Benedetto, A; Klasman, R, Boschi, C. 2002. Evaluación de la formulación de tres sustratos en base al uso de turba fueguina para *Impatiens walleriana*. *Agro sur* 30 (2): 35-42.
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). 2002. El Cultivo Protegido en Clima Mediterráneo. (en <http://www.fao.org/docrep/005/s8630s/s8630s00.htm>).
- Ferrarezi, R.S., X. Lin, A. C. Gonzalez-Neira, F. Tabay-Zambon, H. Hu, X. Wang, J-H. Huang y G. Fan. 2022. Substrate pH influences the nutrient absorption and rhizosphere microbiome of huanglongbing-affected grapefruit plants. *Front. Plant Sci.* 13:856937. doi: 10.3389/fpls.2022.856937



- Gutiérrez-García, J.V., D. A. Rodríguez-Trejo., A. Villanueva-Morales, S. García-Díaz, J. L. Romo-Lozano. Calidad del agua en la producción de *Pinus cembroides* Zucc. En vivero. *Agrociencia* [en línea]. 2015, 49(2): 205-219 [fecha de Consulta 22 de Marzo de 2023]. ISSN: 1405-3195. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30236851008>
- Gluszek, S.; Sas, L.P.; Sumorok, B.; Kozera, R. 2017. Biochar-Rhizosphere Interactions—a Review. *Polish journal of Microbiology* 66(2): 151-161.
- Hartmann, H. T. 1995, *Propagación de Plantas, Principios y Prácticas*. Editorial CECSA, pp. 44-45, 53-54 México DF, México.
- Hernández-Hernández, M., D. Palma-López, S. Salgado-García, D. J. Palma-Cancino, J. A. Rincón-Ramírez, C. I. Hidalgo-Moreno y H. Cuanalo-de la Cerda. 2020. Carbón vegetal como mejorador de un Acrisol cultivado con caña de azúcar (*Saccharum* spp.). *Agroproductividad* 13(5): 35-41. <https://doi.org/10.32854/agrop.vi.1607>
- Hernández-Zárate, L., A. Aldrete, V. M. Ordaz-Chaparro, J. López-Upton y M. Á. López-López. 2014. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. en vivero influenciado por diferentes mezclas de sustratos. *Agrociencia* 48: 627-637.
- Helliwell, R. 2016. Effect of biochar on plant growth. *Arboricultural Journal* 37(4): 238-242.
- Ibarrola, R.; Evar, B. y Reay, D. 2013. Comercialización de Biocarbón (biochar) en México. Definición del contexto para un programa de investigación multidisciplinario. (Ed.). Universidad Edimburgo, Escocia. 28 p. <http://rembio.org.mx/wp-content/uploads/2014/10/Comercializacion-de-Biochar-en-Mexico.pdf>.
- Incrocci, L.; Malorgio, F.; Della B. A. and Pardossi, A. 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Italy. Scientia Horticulturae*. 107(4): 365-372.
- Kehdi, N. 2007. La búsqueda de un sustrato adecuado. *Spanabis* 8: 13- 17.
- Landis, T.D.; Tinus, R.W.; McDonald, S.E.; Barnett, J.P. 1989. Mineral nutrients and fertilization, Vol. 4. *The Container Tree Nursery Manual Agric. Handbk*. 674. Washington, D.C.: U.S. Department of Agriculture. Forest Service.
- Landis, T. 2000. *Manual de Viveros para la producción de Especies Forestales en Contenedor. Contenedores y Medios de Crecimiento*. Departamento de Agricultura de Estados Unidos. Oregon, E.U.A. 52 p.
- Landis, T.D., Tinus, R.W., MacDonald, S.E., Barnett, J.P., Nisley, R.G., Rodríguez, D.T., Sánchez, R.V., Aldana, R.B. 2000. *Manual de viveros para la producción de especies forestales en contenedor*. (en [http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/manual\\_prod\\_planta\\_forestal\\_contenedor\\_volumen1\\_cap4.pdf](http://servicios.educarm.es/templates/portal/ficheros/websDinamicas/20/manual_prod_planta_forestal_contenedor_volumen1_cap4.pdf)).

- Landis, T. D., D. F. Jacobs, K. M. Wilkinson y T. Luna. 2014. In Tropical Nursery Manual: A Guide to Starting and Operating a Nursery for Native and Traditional Plants. Agriculture Handbook 732; Wilkinson, K.M., T. M. Landis, D. L. Haase, B. F. Daley, R. K. Dumroese (Eds). U.S. Department of Agriculture, Forest Service: Washington, DC, USA, 2014; pp. 101–212.
- Lehmann J, Rillig MC, Thies J, Masiello CA, Hockaday WC, Crowley D (2011) Biochar effects on soil biota – A review. *Soil Biology and Biochemistry* 43: 1812-1836. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.04.022>.
- Lehmann, J. and S. Joseph. 2009. Biochar for environmental management. Science and technology. Earthscan. UK-USA.
- Li, Y.; You, S. (2022). Biochar soil application: soil improvement and pollution remediation. In: Tsang, Daniel C.W.; Ok Yong S. (eds). Agriculture for Achieving Sustainable Development Goals. Ed. Academic Press. p. 97-102. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85343-9.00004-5>.
- Li, Y.; Shen, F.; Guo, H.; Wang, Z.; Yang, G.; Wang, L.; Zhang, Y.; Zeng, Y.; Deng, S. 2015. Phytotoxicity assessment on corn stover biochar, derived from fast pyrolysis, based on seed germination, early growth, and potential plant cell damage. *Environmental Science and Pollution Research* 22(12): 9534-43.
- López-Lopez, M. A., Y Alvarado – López, J. (2010). interpretación de monogramas de análisis de vectores para diagnostico nutrimental de especies forestales. *Madera y Bosques*, 16 (1), 99-108. <http://dio.org/10.21829/myb.1611182>
- Mas, P. J. 2003. Guía práctica para la producción de planta en un vivero. Boletín Técnico Número 5, Volumen 1. Comisión Forestal del Estado. Morelia, Michoacán, México. 37 p.
- Mendoza, A. (2017). Reforestación con el Mijao para el Fortalecimiento de la Biodiversidad. *Revista Cientific*, 2(4), 11-25, e-ISSN: 2542-2987. Recuperado de: <https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2017.2.4.1.11-25>
- Nelson, P. 1978. Greenhouse operation and management. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, Inc. 598 p.
- Olivo, V. y Buduba, C. 2006. Influencia de seis sustratos en el crecimiento de *Pinus ponderosa* producido en contenedores bajo condiciones de invernáculo. *Bosque* 27 (3): 267-271.
- Pastor, J. N. (1999). Utilización de sustratos en viveros. *Tierra*, 17 (3), pp. 231- 235.
- Park, J. H., Lamb, D., Paneerselvam, P., Choppala, G., Bolan, N. y Chung, J.-W. (2011). Role of organic amendments on enhanced bioremediation of heavy metal(loid) contaminated soils. *Journal of Hazardous Materials*, 185(2-3), 549–574. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.09.082>.

- Pérez, A., Céspedes, C., & Núñez, P. (2008). Caracterización física-química y biológica de enmiendas orgánicas aplicadas en la producción de cultivos en República Dominicana. *Revista de la ciencia del suelo y nutrición vegetal*. 8(4), 10-29. doi: 10.4067/S0718-27912008000300002.
- Qiu, S., A. J. McComb, and R. W. Bell. 2008. Ratios of C, N and P in soil water direct microbial immobilization–mineralization and N availability in nutrient amended sandy soils in southwestern Australia. *Agric. Ecosyst. Environ.* 127: 93-99.
- Ramírez G.K., M. A. López L., V. M. CETINA A. y L. MOHEDANO C. A prototype for a forest nursery with fertigation by sub-irrigation. *Rev. Mex. de Cienc. Forestales* [online]. 2022, vol.13 (74): 174-185. [citado 2023-03-24]. Disponible en: <[http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322022000600174&lng=es&nrm=iso](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322022000600174&lng=es&nrm=iso)>. Epub 09-Dic-2022. ISSN 2007-1132. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i74.1195>.
- Rodríguez, L. R. (2010). Manual de Prácticas de Viveros Forestales. Primera Edición. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Cuidado Editorial: Omar Hebertt, <https://www.uaeh.edu.mx/>, 6-8.
- Ruano, M., J.R 2003. Viveros forestales cultivo en brinzales forestales en envase, sustrato o medio de cultivo. S. A. Mundi-Prensa Libros. ISBN: 9788484760825. España pp. 126-143.
- Rueda S. A., J. D. Benavides S., J. Á. Prieto-Ruiz, J. T. Sáenz R., G. Orozco-Gutiérrez, y A. Molina C. 2012. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 3(14): 69-82. Recuperado en 22 de marzo de 2023, de [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-11322012000600006&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-11322012000600006&lng=es&tlng=es).
- Sáenz R.J. T., H. J. Muñoz F., C.M.A. Pérez D., A. Rueda S. y J. Hernández R. Calidad de planta de tres especies de pino en vivero “Morelia”, Estado de Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales* 5(26): 98-111.
- Salifu, K. F., M. A. Nicodemus, D. F. Jacobs y A. S. Davis. 2006. Evaluating chemical índices of growing media for nursery production of *Quercus rubra* seedlings. *HortScience* 41(5): 1342-1346.
- Steiner A. A. (1984) The Universal Nutrient Solution. Proceeding Sixth International Congress on Soilless Culture. Wageningen. The Netherlands. pp:633-650.
- Taveira, A. 2005. Fibra de coco: Una nueva alternativa para la formación de plantas. *Revista Brasileira de Reproducción de Plantas* 28 (5): 275 – 277.
- Turner, D. G., R. R. Lau y D. R. Young. 1988. Efecto of acidity on germination and seedling growth of *Paulownia tomentosa*. *Journal of Applied Ecology* 25, 561-567.

Warncke, D. D. 1988. Recommended test procedure for greenhouse growth media. pp. 34-37, In: Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region. Bulletin 499. North Dakota Agricultural Experiment Station. Fargo, ND