

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Aprovechamiento de Agua Residual en la Producción de Plántula de Pino
(*Pinus cembroides* Zucc.) en Sustratos Hidropónicos

Por:

ÁNGEL PICHARDO ARRIAGA

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO FORESTAL

Saltillo, Coahuila México

Diciembre del 2012

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO FORESTAL

Aprovechamiento de Agua Residual en la Producción de Plántula de Pino (*Pinus
cembroides* Zucc.) en Sustratos Hidropónicos

Por:

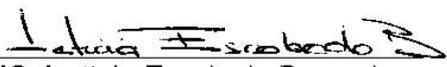
ÁNGEL PICHARDO ARRIAGA

Tesis

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

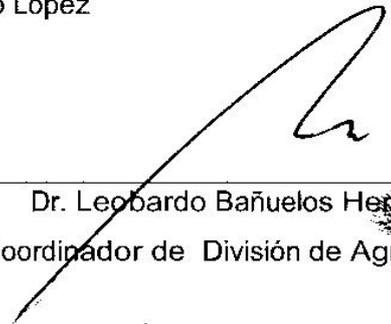
INGENIERO FORESTAL

Aprobada


MC. Leticia Escobedo Bocardo
Asesor Principal

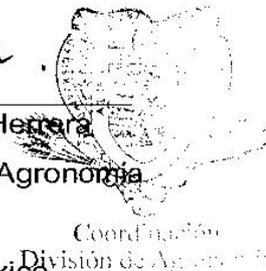

Dr. Ricardo Requejo López
Coasesor


Ing. Sergio Braham Sabag
Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera
Coordinador de División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre del 2012



AGRADECIMIENTOS

A mi familia por el apoyo brindado durante toda una vida, por ser la fuerza para culminar todos mis sueños.

A la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), por el apoyo y todas las facilidades durante la realización del presente trabajo.

Al Dr. Ricardo Requejo López, por su invaluable amistad, confianza, paciencia, apoyo; y por compartir sus amplios conocimientos.

Al Dr. Emilio Rascón Alvarado por la orientación brindada durante esta investigación.

A la MC Leticia Escobedo Bocardo, gracias por su paciencia, su trato amable, comentarios y su colaboración en la realización de este trabajo.

A mis amigos y compañeros de la carrera de Ing. Forestal; Artemio, Lizy, Gerardo (Conan), Estela, Gerardo Ramos, Laura, Coyote, Fidel Maximino, entre otros que me faltó mencionar gracias por el apoyo y por su amistad durante mi estancia en la UAAAN.

A Minerva Santiago, gracias por todos tus comentarios, sugerencias, apoyo y comprensión para la realización del presente trabajo.

DEDICATORIA

A dios por haberme bendecido con la vida, la fortaleza, salud y capacidad para lograr esta meta.

Con cariño, amor y respecto a mis padres; Ángel Pichardo Herrera y Ma. Olga Leticia Arriaga por darme la oportunidad de crecer en la vida, por su confianza depositada en mí, por sus momentos de felicidad, por todos esos esfuerzos para darme lo mejor, por todos aquellos sacrificios de parte suya, desvelos y preocupaciones que pasaron pensando en mí.

Para alguien muy especial: Minerva Santiago, por compartir todos estos años apoyándome en todas las cosas sin ponerme condiciones, porque sin tu ayuda en tantos trabajos y situaciones no habría podido seguir adelante, por estar conmigo en las buenas y en las malas ofreciéndome su amor y cariño.

A mi pequeño niño Ricardo Pichardo Santiago por su compañía, por ser una personita muy especial en mi vida, por llenarla de alegría y por todo el cariño que siempre me regala.

A mis hermanas; Verónica, Elvira y Lorena por brindarme siempre su apoyo incondicional y con mucho cariño comparto con ustedes este esfuerzo y logro.

A todas aquellas personas que me brindaron su apoyo en todo momento y que pusieron su granito de arena para que yo llegara hasta estas instancias.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA	II
ÍNDICE DE CONTENIDO	III
ÍNDICE DE CUADROS	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	VIII
I. INTRODUCCIÓN	1
Objetivos.....	2
Hipótesis	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
Definición de Hidroponía.....	3
Ventajas y Desventajas del Sistema Hidropónico.....	4
Importancia del Agua Residual	6
Planta de Calidad.....	6
La Solución Nutritiva	7
Definición de Sustrato.....	9
Caracterización de Sustratos.....	10
Sustratos Empleados en Hidroponía	12
Características del Pino	14
Capacidad de Regeneración Natural	16
Trabajos Afines	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
Ubicación del Experimento	18
Superficie Experimental	18

Formulación de las Mezclas	18
Preparación de las Soluciones Nutritivas.....	21
Formulación de la Solución Nutritiva Ideal DE 100%.....	21
Preparación de la Pila Hidropónica.....	27
Producción de Plántula	27
Diseño de los Tratamientos	29
Diseño Experimental.....	30
Variables Agronómicas Evaluadas	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
Formulación de las Mezclas	33
Variables Evaluadas al Final de la Investigación	34
V. CONCLUSIONES	42
VI. RECOMENDACIONES	43
VII. LITERATURA CITADA.....	44

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1 Formulación de la solución nutritiva para pino	22
Cuadro 3.2 Valores de micro- elementos empleados en la solución nutritiva para pino.....	22
Cuadro 3.3 Diseño de la solución nutritiva en aniones y cationes para pino	22
Cuadro 3.4 Cantidad de fertilizantes (macro y meso-elementos) empleados en la preparación de 100 litros de solución nutritiva para pino.	23
Cuadro 3.5 Cantidad de fertilizantes para los micro-elementos empleados en la preparación de 100 litros de solución nutritiva para pino.	23
Cuadro 3.6 Cantidad de macro, meso y micro-elementos empleados en la preparación de 100 litros de la solución nutritiva al 25% para pino	25
Cuadro 3.7 Cantidad de macro, meso y micro-elementos empleados en la preparación de 100 litros de la solución nutritiva al 50% para pino	26
Cuadro 3.8 Cantidad de macro, meso y micro-elementos empleados en la preparación de 100 litros de la solución nutritiva al 75% para pino	26
Cuadro 3.9. Lista de tratamientos para la producción de plántula de pino	29
Cuadro 4.1 Promedios de las propiedades físicas de los sustratos.....	33
Cuadro 4.2 Mezclas de los diferentes sustratos	33
Cuadro 4.3 Cuadrado medio y prueba de F de los análisis de varianza para pino establecido en sustratos hidropónicos.	34
Cuadro 4.4 Prueba de Tukey para altura de la planta en centímetros (ALTP) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones	35
Cuadro 4.5 Prueba de Tukey para diámetro del tallo en milímetros (DT) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones	36
Cuadro 4.6 Prueba de Tukey para longitud de raíz en centímetros(LR) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones.....	37
Cuadro 4.7 Prueba de Tukey para peso fresco de follaje en gramos (PFF) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones	38

Cuadro 4.8 Prueba de Tukey para peso fresco de raíz en gramos (PFR) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones	39
Cuadro 4.9 Prueba de Tukey para peso seco de follaje en gramos (PSF) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones	40
Cuadro 4.10 Prueba de Tukey para peso seco de raíz en gramos (PSR) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones	41

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Porómetros con muestras de sustrato.	20
Figura 3.2 Cubierta plástica y malla sombra como protección contra los rayos solares.	27
Figura 3.3 Pileta para la solución nutritiva.	28
Figura 3.4 Charolas en flotación.	28
Figura 3.5 Emergencia de las plántulas de pino.	28
Figura 3.6 Medición de altura en pino.	30
Figura 3.7 Vernier digital utilizado para la medición del diámetro del tallo.	30
Figura 3.8 Medición de longitud de raíz.	31
Figura 3.9 Balanza digital utilizada para pesar el follaje fresco.	31
Figura 3.10 Balanza digital utilizada para pesar la raíz.	32
Figura 3.11 Estufa utilizada para secar el follaje, raíz.	32
Figura 3.12 Bolsas de papel utilizadas para colocar los follajes y las raíces.	32

RESUMEN

La fertilización es una práctica indispensable para mejorar la calidad y productividad forestal (Fritz-Helmut, 1991). La mayor parte de los trabajos realizados en hidroponía se utilizan en la producción de hortalizas diversas; sin embargo, existen trabajos (aunque escasos) en especies forestales que reflejan la importancia de la hidroponía como herramienta base en el estudio de los requerimientos nutrimentales de especies forestales. El experimento se llevó a cabo en el invernadero del departamento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro con la finalidad de determinar el balance óptimo de suministro de fertilización de sales minerales con líquido de lombriz y para ello se utilizaron cuatro soluciones 1) 100% Líquido de lombriz, 2) 75% líquido de lombriz + 25% sales minerales. 3) 50% líquido de lombriz + 50% sales minerales, 4) 25% líquido de lombriz + 75% sales minerales para producir plántulas de pino, además se probaron tres mezclas de sustratos: 1) 41% Vermiculita + 30% Peat moss + 29% perlita. 2) 50% Perlita + 50% Peat moss, 3) 100% Perlita que se caracterizaron individualmente en el laboratorio de fertilidad de suelos de la UAAAN en base a la medición de la porosidad total, capacidad de aireación, capacidad de retención de agua, densidad aparente y densidad real. Una vez caracterizados se procedió a realizar la mezcla según el método de optimización de mezclas que describe Requejo (2008). Se trabajó en una cama de siembra de 10 m² y en ella se colocó un plástico de polietileno con la finalidad de habilitar un depósito que sirvió como pila hidropónica. En charolas que contenían las diferentes mezclas de sustratos se sembraron semillas de pino, las cuales se pusieron a flotar en el depósito, cada una con su respectiva solución. Se utilizaron seis repeticiones en donde cada planta constituyó una repetición. Las plántulas con más desarrollo fueron aquellas que se produjeron en la solución con 100% de líquido de lombriz y en la mezcla de sustrato que contenía 50% Peat moss + 50% Perlita.

Palabras clave: Mezcla de sustratos, sales minerales, pino, líquido de lombriz.

I. INTRODUCCIÓN

Los programas actuales de reforestación, con fines ecológicos, así como el establecimiento de plantaciones forestales comerciales, demandan planta de calidad que garantice su supervivencia, ya que según estimaciones realizadas por Bello y Cibrián, (2000), la supervivencia es apenas de 43%, atribuyéndose a factores no considerados en la plantación, como calidad de la planta, trasplante y manejo inadecuados, condiciones del sitio (acidez o alcalinidad de suelo, sequía, heladas).

Dentro de estos factores, la calidad de la planta es determinante en la supervivencia de la plantación y dicha calidad depende del manejo que se le haya brindado en la fase de vivero.

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

Un programa de fertilización debe mantener soluciones balanceadas de los nutrimentos y adecuarlas en el ciclo de crecimiento. Los requerimientos nutrimentales varían según la especie forestal y es esencial su conocimiento para el diseño y aplicación de soluciones nutritivas.

El suministro de estos debe diseñarse con base a pruebas experimentales que combinen los niveles óptimos de abastecimiento nutrimental. En el presente trabajo se evaluó el suministro de distintos balances de fertilización mediante el riego por capilaridad utilizando diferentes sustratos en el crecimiento de *Pinus cembroides* Zucc; con los objetivos e hipótesis siguientes:

Objetivos

Evaluar soluciones nutritivas a base de sales minerales, líquido de lombriz y la mezcla de líquido de lombriz con sales minerales en agua residual sobre el crecimiento de plántulas de pino.

Evaluar la influencia del tipo de sustrato en el cultivo hidropónico para la producción de plántula de pino.

Hipótesis

Debido al efecto potenciador de la nutrición del líquido de lombriz, las plántulas desarrolladas en solución nutritiva a base de sales minerales y este componente orgánico tendrán el mejor comportamiento.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

Definición de Hidroponía

Aunque la definición del término hidroponía se refiere al cultivo en agua, el término se aplica también al sistema de cultivo que se dá en ausencia de suelo y empleando material sólido, mineral u orgánico carente de nutrimentos, así como medio de soporte para las plantas, pero se provee en el agua de riego los nutrimentos que precisan éstas para su adecuado desarrollo.

En 1699 John Woodward descubrió que no solo el agua sino también el suelo proveían las sustancias nutritivas a las plantas; sin embargo, fue hasta los 1800's, con los avances en la química, que se pudo ahondar en la naturaleza de dichas sustancias nutritivas aislándolas como minerales.

En 1804, de Saussure expuso el principio de que las plantas están compuestas por elementos químicos obtenidos del agua, suelo y aire, y en 1851 Boussingault comprobó este principio.

En ese siglo, lograron el cultivo de plantas en soluciones de agua que contenían solo minerales determinados con anterioridad; así, fue que surgió lo que se conoce como nutricultura (cultivo nutrimental), estas primeras investigaciones demostraron que se podía conseguir un crecimiento normal de las plantas sumergiendo sus raíces en una solución que tuviese sales de N, P, K, Ca, Mg, S, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo, Cl, elementos químicos esenciales conocidos actualmente como nutrimentos.

La mayor parte de los trabajos realizados en hidroponía corresponden a la producción de hortalizas diversas; sin embargo, existen trabajos (aunque escasos) en especies forestales que reflejan la importancia de la hidroponía como herramienta base en el estudio de los requerimientos nutrimentales.

El uso de la hidroponía en experimentos de abastecimiento nutrimental garantiza que la respuesta a evaluar será, en efecto, producto de las soluciones nutritivas aplicadas, por lo que la confiabilidad en los resultados obtenidos, al determinar una dosis óptima, serán confiables.

Ventajas y Desventajas del Sistema Hidropónico

El sistema de producción, a través de cultivos hidropónicos, como cualquier otro presenta ventajas y desventajas.

Ventajas

- Balance ideal de aire, agua y nutrientes, es posible mantener el rango óptimo requerido por los cultivos.
- Totalmente libre de malezas.
- Humedad uniforme en comparación con el suelo.
- Tiene un excelente drenaje.
- Mejor control de las condiciones fitosanitarias
- Permite una densidad de población mayor, ya que los nutrientes no son los limitantes.
- Se puede corregir la deficiencia de nutrientes más rápido en el sistema de hidroponía que el suelo.
- Mayor calidad del producto, consecuentemente mayor uniformidad, peso color y limpieza sanitaria.

- Perfecto control del pH, con sustratos inertes es muy fácil y barato ajustar y mantener el pH a un nivel deseado.
- Mayor precocidad en los cultivos.
- Posibilidad de usar mano de obra no calificada.
- Se puede cultivar repetidamente o en serie programando la misma especie de plantas.
- No depende tanto de los fenómenos meteorológicos ya que normalmente los cultivos en hidroponía se protegen contra los vientos fuertes, las granizadas, las altas y bajas temperaturas, sequías, etc.
- Uniformidad en los cultivos.
- El uso de materiales nativos y/o de desechos (paja de trigo, olote, aserrín).
- El uso de pesticida es mínimo.
- Tanto agua como fertilizantes se puede aplicar simultáneamente de acuerdo a las condiciones del cultivo.
- Casi no hay gasto en maquinaria agrícola, ya que no se requiere tractor, arado u otros implementos semejantes. (Howard, 2006).

Desventajas

Las mayores desventajas de los cultivos hidropónicos son los elevados costos de capital inicial, así como algunas enfermedades causadas por hongos como Fusarium y Verticillium, las cuales pueden extenderse rápidamente a través de este sistema y la aparición de problemas nutricionales complejos.

Desbalances nutricionales causan inmediato efecto en el cultivo; al no existir suelo se pierde la capacidad buffer de este frente a excesos o alteraciones en el suministro de nutrientes, es por ello que de forma inmediata se presentan los síntomas tanto de excesos como de déficits nutricionales.

Otras desventajas son:

- Analizar el agua para preparar la solución.
- Mantener el pH de la solución en el rango requerido por el cultivo.
- Mantener el riguroso control de la solución.
- Requiere un abastecimiento continuo de agua.
- Se debe proporcionar la temperatura adecuada de la solución y evitar cambios bruscos de la misma.

La mayoría de esas desventajas pueden solucionarse, los costos de capital y la complejidad de trabajo de este sistema pueden ser reducidos utilizando nuevos métodos hidropónicos más simples que puedan adecuarse a las condiciones económicas del productor. (Howard, 2006).

Importancia del Agua Residual

El agua dulce es un recurso vital, pero cada día es más escaso. Esta escasez es originada por el crecimiento demográfico, la urbanización y la industrialización asociada a nuevas demandas potenciales sobre los recursos hídricos existentes, a los que se suman los conflictos asociados a los cambios climáticos, de ahí que el reúso creciente de aguas residuales para la agricultura, la acuicultura, la recarga de aguas subterráneas y otros usos se planifique y se incremente paulatinamente. (UNESCO, 2003).

Planta de Calidad

Para garantizar una adecuada supervivencia al momento de establecer una plantación se precisa contar con planta de calidad. Que es aquella que posee ciertas propiedades morfológicas y fisiológicas que le permitan establecerse, crecer y desarrollarse vigorosamente en el sitio de la plantación.

Los atributos para evaluar la calidad de las plantas se dividen básicamente en morfológicos y fisiológicos. Entre los atributos morfológicos se encuentran los siguientes: forma de la parte aérea, diámetro, forma de la raíz, nivel de micorrización, biomasa y yema apical; algunos de estos atributos se emplean en la determinación de índices morfológicos, que no son sino relaciones numéricas entre indicadores individuales que también brindan información sobre la condición de la planta (Rodríguez, 2008)

Los atributos fisiológicos a considerar en una planta de calidad incluyen; concentración de carbohidrato y su distribución en los distintos órganos de la planta (tallo, rama, hojas, raíz principal, y raíces laterales y finas), concentración de nutrimentos en el follaje, tensión hídrica estado de desarrollo de las yemas y nivel de fitohormonas entre otros (Rodríguez, 2008)

La Solución Nutritiva

El agua es el principal elemento que interviene en el crecimiento. Pero la porción mayor, generalmente el 90% de la materia seca de casi todas las plantas, está constituida por tres elementos químicos: carbono, oxígeno, e hidrógeno. La solución nutritiva es el conjunto de elementos nutritivos requeridos por las plantas, disueltos en agua. (Huterwal, 1983).

La solución de los nutrientes se ha venido expresando de varias maneras, tales como gramos por litro, miligramos, equivalentes por litro, átomos, microgramos, soluciones molares y partes por millón, siendo los últimos los tres más usados. (Solano, 1985; citado por Cano, 1997).

No existe una solución nutritiva única, por lo que se ha determinado que cualquier solución bien equilibrada puede proporcionar un desarrollo satisfactorio a la planta; la respuesta óptima dependerá de la especie o variedad, de su estado de desarrollo, del órgano de la planta si es hoja, fruto o tubérculo, de la estación del año y del clima. La solución nutritiva está constituida por dos elementos: agua y nutrientes.

Agua. Es el elemento más importante y esencial del sistema hidropónico y el diluyente universal por excelencia y proporciona además algunos elementos que deben considerarse para elaborar la solución, por lo que es necesario conocer las características químicas del agua como el pH, conductividad eléctrica, contenido de sales y sustancias tóxicas. Con base a lo anterior se puede utilizar agua de lluvia, río, pozo, presa o potable (Lara, 1999).

Nutrientes. De los 92 elementos naturales conocidos, solamente 17 se consideran esenciales para el desarrollo de las plantas, los cuales se clasifican en macronutrientes por que son requeridos en mayor cantidad por las plantas y los micronutrientes, elementos traza o menores, los cuales son requeridos en menor cantidad (Lara, 1999).

La preparación de soluciones nutritivas puede dividirse en dos pasos generales:

1.- Adición de los macroelementos.

2.- Adición de los microelementos (Ellis, 1958; citado por Arévalo, 1997).

Para la adición de los macroelementos se utilizan generalmente tres métodos:

- a) Método de la solución madre. Las sales a usar se disuelven en agua para hacer una solución concentrada, esta solución se va diluyendo a medida que se vaya a emplear.

- b) Método de las sales en seco. Las sales en seco son añadidas directamente al agua. Después de que las cantidades de sales son pesadas, se añaden separadamente al agua en el depósito.
- c) Método de las sales mezcladas en seco. Las sales son mezcladas juntas en forma seca como un fertilizante comercial, y después son añadidas al agua.

Definición de Sustrato

Es un material capaz de sustituir al suelo agrícola y proporcionar condiciones adecuadas para el desarrollo de las plantas; se trata de un medio sólido inerte que debe cumplir una doble función.

1.- Anclar y sostener a la planta. Proteger a las raíces de la luz y facilitarles la respiración.

2.- Retener el agua y

los nutrientes que las plantas necesitan para su crecimiento.

Debido a que el sustrato a utilizar en ocasiones no reúne todas las características necesarias que lo hagan apto para el cultivo, es necesario mezclar diferentes materiales que aporten lo que les falta a otros, siendo estas características las siguientes;

- Retener humedad
- Permitir una buena aireación
- Tener buena estabilidad física
- Ser inerte química y biológicamente
- Tener un buen drenaje
- Capilaridad
- De bajo costo

Los sustratos están constituidos por mezclas de partículas de diferentes tamaños, desde muy pequeños hasta muy grandes, dependiendo de múltiples factores: el origen y la naturaleza de los componentes, el sistema de recolección empleado o las condiciones de trituración y tamizado. Existe, por tanto una distribución del tamaño de partículas (Ansorena, 1994 citado por Baldomero, 2007).

Caracterización de Sustratos

- a) Propiedades físicas: elevada retención de agua fácilmente disponible, suficiente suministro de aire, distribución del tamaño de las partículas adecuado para que mantenga las condiciones anteriores, baja densidad aparente, elevada porosidad total y estructura estable que impida la contracción del sustrato.
- b) Propiedades químicas: baja o suficiente capacidad de intercambio catiónico, en función de la fertilización aportada, suficiente nivel de nutrientes asimilables, baja salinidad, elevada capacidad tampón y pH ligeramente ácido y mínima velocidad de descomposición.
- c) Otras propiedades: libres de semillas de malas hierbas, nemátodos, hongos, otros patógenos y sustancias fitotóxicas, reproducibilidad y bajo coste, fácil de manejar, rehumectar y desinfectar y resistencia a cambios físicos, químicos y ambientales extremos.

Porosidad y Densidad

El volumen de fases líquida y gaseosa, o el de esta última si el sustrato está seco definen la porosidad o el espacio de poros. La porosidad de un medio de cultivo es el porcentaje de su volumen que no se encuentra ocupado por fase sólida, es decir, el cociente entre el volumen de poros y el volumen total

que el medio ocupa en el contenedor. También se denomina Espacio Poroso Total (EPT) o cantidad de poros (Masaguer y Cruz 2007).

Debido a la existencia de poros cerrados, solo una parte de la porosidad total será efectiva disponible para las raíces de la planta. La perlita es un ejemplo de material en el que, a causa de la existencia de poros cerrados, la porosidad efectiva es inferior a la total (Masaguer y Cruz 2007).

Densidad Aparente

La densidad aparente (D_a) se define como la relación entre la masa de las partículas y el volumen aparente que estas ocupan, es decir, considerando el volumen poroso existente entre las mismas. Se expresa generalmente en g/cm^3 o Kg/m^3 .

El conocimiento de la densidad aparente es importante, no solo porque permite calcular la porosidad, sino que además, proporciona, por si misma diversa información útil: cantidad de sólido contenido en un volumen de un sustrato comparado a granel, preparación de mezclas, ejecución del análisis químico en base a volumen. (Ansorena, 1994; citado por Baldomero, 2007).

Densidad Real.

La densidad real o de partículas es la relación entre la masa de las partículas del sustrato y el volumen de sólidos, sin considerar los poros y huecos (Martínez, 1992). Este valor depende del material y, a diferencia de la densidad aparente, es independiente del grado de compactación y del tamaño de partículas. (Ansorena, 1994; citado por Baldomero, 2007).

Capilaridad

Esta propiedad, consiste en la capacidad que tiene un sustrato para absorber agua a través de los microporos y de transportarla en todas las direcciones. La más crítica de las direcciones es la vertical, ya que en ella se realiza el transporte de agua en contra de la gravedad. Por tal motivo se denomina capilaridad ascensional (Resh, 1997)

Drenaje

Todo tipo de recipiente y de sustrato que se esté utilizando, deberá permitir un buen drenaje. Cuando una planta requiere mayor cantidad de agua, se proporciona más cantidad de riegos, pero nunca se debe inundar el sustrato con el fin de ahorrar riegos, ya que esto va contra la disponibilidad de oxígeno. (Resh, 1997).

Sustratos Empleados en Hidroponía

Perlita. Es el nombre genérico de un mineral volcánico, que al ser sometido a elevadas temperaturas, en el rango de 800° c, se expande hasta 20 veces su volumen original, dando lugar a un material inerte y extremadamente ligero. Le permite retener hasta 5 veces su propio peso en líquidos, que pueden ser agua, fertilizantes, fungicidas o herbicidas y otros productos utilizados en el crecimiento de las plantas. De todos los materiales utilizados para el cultivo sin suelo, la perlita mineral expandida es el más importante de todos en tanto por el volumen actual como su trayectoria futura. Así mismo, posee ciertas características especiales, que son;

- Substrato con absorción uniforme.
- Químicamente inerte y libre de sales.
- 100% estéril.
- Ultraligero.
- Distribución de partícula controlada en planta.
- Durable, se puede reciclar.
- Inorgánico.
- Bastante capacidad de retención de agua y nutrientes.

http://www.sabsa.mx/descargas/mezclas_profesionales/INFORMACIONPERLIT_A.pdf

Vermiculita. Es el nombre genérico de un mineral de la familia de las micas, compuesto por silicatos de aluminio, magnesio y hierro. Su estructura es laminar conteniendo algo de agua. Al elevar rápidamente la temperatura de la vermiculita se genera una expansión conocida como exfoliación, resultando un producto con reflejos metálicos, de color pardo, con baja densidad aparente y elevada porosidad.

- Es muy liviana, pesando entre 60 y 140 kilos por metro cúbico, según granulometrías.
- pH neutro (7,2).
- Libre de plagas, enfermedades y malezas.
- Incorporada en sustratos favorece la buena aireación y absorbe grandes cantidades de agua.
- Su brillo metálico aumenta la reflexión de la luz, lo que es importante en invernaderos y sombreaderos.

Usos

- Como sustrato de cultivo y propagación de todo tipo de plantas por su neutralidad, buena aireación y alta capacidad de retención de agua.
- En ensayos de germinación de semillas por su sanidad.
- Cultivos hidropónicos.
- Apropiaada para mezclar con arena en cultivo y propagación de cactus y plantas suculentas.
- En plantas que pasan un tiempo en bolsas o maceteros que deben trasladarse, debido a su capacidad de retención de humedad, porosidad y leve peso.

<http://plantayflor.blogspot.mx/p/la-perlita-es-un-cristal-natural.html>

Características del Pino

Descripción

Árbol perennifolio de 5 a 10 m, y hasta 15 m de altura, con diámetros de 30 a 70 cm. Es de tronco corto y ramas ascendentes, delgadas y distribuidas irregularmente en el tallo. Su copa es redondeada y abierta en individuos maduros; piramidales en individuos jóvenes. Las hojas están en fascículos de 2 a 3 y mide entre 2.5 y 10 cm de largo.

Es una especie de lento crecimiento. Las flores aparecen de marzo a abril; los conos son subglobosos, de 5 a 6 cm de ancho, aislados o en grupos de 5, color café-rojizo; abren de noviembre a diciembre, mientras la producción de semilla es cada 5 o 6 años, las cuales son color café o negruzcas. Especie de alto potencial adaptativo, resistente a heladas, sequías y temperaturas elevadas.

<http://www.edomex.gob.mx/portal>

Importancia económica

En las condiciones económicas tan difíciles que se viven en estos días, el *Pinus cembroides* Zucc adquiere una importancia cada vez más relevante, como el pino piñonero cuya semilla genera una alta actividad comercial en amplias zonas rurales del país, especialmente en las de clima semiárido. Su recolección abastece más del 90% del mercado nacional, su colecta y venta, proporcionan ingresos a una numerosa cantidad de familias.

Aunque no es muy común, su madera suave y de veteado agradable llega a utilizarse en la fabricación de muebles rústicos; también se ha sugerido su uso, en proyectos de recuperación de suelos, en huertos familiares e incluso en la reforestación urbana.

Usos

Su madera se emplea para construcción rural, postes, muebles rústicos e instrumentos musicales. También se usa como leña, carbón, y pulpa para papel. La resina se utiliza como materia prima en impermeabilizantes y como pegamento casero, también se extrae aceite de pino y alquitrán. Especie de importancia económica por su semilla “piñón” abasteciendo poco más del 90% de los piñones conocidos en el mercado.

<http://www.edomex.gob.mx/portal>

Capacidad de Regeneración Natural

El pino piñonero se reproduce naturalmente por semilla, sin embargo, para producir mejores plantas en viveros, se deben seleccionar áreas semilleros, para la recolección de la semilla de los mejores árboles. El crecimiento en repoblaciones naturales de pino piñonero es más lento que cuando se lleva a cabo a través de plantaciones.

La capacidad invasora y colonizadora en áreas con vegetación original disturbada es baja, por lo que requiere de acciones que favorezcan su desarrollo.

Distribución Geográfica

Pinus cembroides Zucc. presenta la distribución más amplia: en México desde Coahuila, Nuevo León, Chihuahua y Sonora, hasta los estados de Puebla y Tlaxcala, y también en los extremos norte y sur de Baja California

Entre todos los piñoneros el *Pinus cembroides* Zucc. destaca por tener la distribución geográfica más amplia. En estos bosques se presentan con frecuencia especies de las zonas áridas y del bosque templado húmedo, en concordancia con su carácter, confirmando la afirmación de formación transicional.

Trabajos Afines

González (2001) realizó un estudio sobre el efecto de tres tratamientos de dosis de fertilizante (N, P, K) en plántulas de dos especies de pino piñonero en condiciones de invernadero, donde aplicó diferentes concentraciones de nitrógeno, fósforo y potasio (N, P, K) para la producción de planta de *Pinus nelsonii* Shaw y *Pinus cembroides* Zucc en envase de polietileno negro bajo condiciones de invernadero. En este trabajo determinó que en *Pinus cembroides* únicamente se encontraron diferencias para la variable altura de la planta alcanzando su mayor desarrollo con el tratamiento con nitrato de amonio, NH_4NO_3 con 15.35 cm de altura.

García (2001) hizo un experimento sobre el efecto de tres tratamientos de fertilización sobre tres especies de pino en etapa de vivero bajo condiciones de invernadero, donde evaluó el crecimiento de las especies de *Pinus pinceana* Gord., *Pinus cembroides* Zucc y *Pinus pseudostrobus* Lindl., durante la etapa de vivero, utilizando tres tratamientos con tres dosis de fertilización cada uno.

El autor encontró que a la edad de 9 meses, las plántulas de las especies estudiadas apenas comienzan a manifestar la respuesta a la fertilización.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del Experimento

Este experimento se llevó a cabo en los terrenos de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” (UAAAN), ubicada a 7 km al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila, México, con una altitud de 1743 msnm. La temperatura media anual es de 19.8 °C con una máxima en los días más cálidos de 35 °C y en invierno llega a bajar hasta -10°C.

Superficie Experimental

Se trabajó en una cama de siembra de 10 m², en ella se colocó un plástico polietileno con la finalidad de habilitar un depósito que sirvió como pila hidropónica.

Formulación de las Mezclas

En el laboratorio de Fertilidad de Suelos de la UAAAN se caracterizaron individualmente los sustratos Peat moss, Perlita y Vermiculita. La granulometría consistió en establecer las proporciones de entre 2 y 1 mm.

La medición de la porosidad total, capacidad de aireación y retención de agua se llevó a cabo con porómetros construido por (Requejo, 2008), que son cilindros o secciones de tubo de plástico de tres pulgadas de diámetro, volumen de 350 cc que en uno de los extremos tiene una tapa plástica con cuatro orificios de 5 mm en forma equidistante a lo largo de su borde perimetral y se utilizó el siguiente protocolo.

1. Colocar dentro de los porómetros las mezclas de sustratos previamente tamizados a 2 milímetros, cuidando su perfecto asentamiento al dejarlos caer en 5 oportunidades desde 10 cm de altura sobre una tela que amortigüe la caída.

2. Colocar por 24 horas en un recipiente con agua cuyo nivel alcance justo debajo del borde superior de un anillo removible, provocando así el humedecimiento de la muestra desde los orificios del fondo, con esto se expulsa el aire por la parte superior.
3. Quitar dicho anillo removible.
4. Enrasar con una espátula y cubrir el extremo expuesto de la muestra.
5. Colocar de nuevo en agua, esta vez sumergiéndolo completamente por 30 minutos hasta lograr la saturación total de las muestras.
6. Extraer los porómetros del agua tapando los orificios del fondo con una goma.
7. Colocar cada porómetro en posición vertical en un matraz sobre una gradilla.
8. Medir el volumen de agua (V_a) que drene en un tiempo de 10 minutos.
9. Extraer las muestras húmedas para medir su peso (PH).
10. Colocar las muestras en una estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ para obtener el peso seco (PS).



Figura 3.1 Porómetros con muestras de sustrato.

Se realizaron los siguientes cálculos para las determinaciones de las propiedades físicas de las muestras: Espacio poroso total (EPT), Capacidad de aireación (CA), Retención de agua (RA), Densidad aparente (DA) y Densidad real (DR). Donde P_a corresponde al Peso específico del agua y V_c al volumen del cilindro.

Formulas Utilizadas

$$EPT(\%) = \frac{V_a + \frac{PH - PS}{P_a}}{V_c} \times 100$$

$$CA(\%) = \frac{V_a}{V_c} \times 100$$

$$RA(\%) = \frac{PH - PS}{V_c} \times 100$$

$$DA(Mg/m^3) = \frac{PS}{V_c}$$

$$DR(Mg/m^3) = \frac{DA}{1 - \frac{EPT}{100}}$$

Una vez caracterizados los sustratos de forma individual, se realizaron problemas de programación lineal como lo describe Requejo, (2008) para obtener así las mezclas optimizadas de sustratos.

Preparación de las Soluciones Nutritivas

Se prepararon cuatro soluciones nutritivas: líquido de lombriz al 100%, 75% líquido de lombriz + 25% solución nutritiva ideal, 50% líquido de lombriz + 50% solución nutritiva ideal, 25% líquido de lombriz + 75% solución nutritiva ideal.

El líquido de lombriz se adquirió en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Gerencia de empresas universitarias. Información y ventas sección agrotecnia (844 411 03 51/411 03 52). Calzada Antonio Narro No. 1923 Buenavista, Saltillo, Coahuila, C. P 25315. El agua residual se colectó en la Planta Tratadora ubicada en la Escuela Forestal Ing. José Ángel de la Cruz Campa de Saltillo, Coahuila.

Formulación de la Solución Nutritiva Ideal de 100%

Primeramente se preparó la solución nutritiva ideal al 100% porque aunque este tratamiento no se usó sirvió como base ya que de aquí se sacaron los porcentajes para preparar las distintas soluciones en sus diferentes concentraciones.

La solución madre se preparó considerando lo siguiente; macro y meso-elementos en base a la solución ideal del cultivo menos la concentración de los elementos que aportó el agua residual (Cuadro 3.1). En el Cuadro 3.2 Se aprecian los valores de micro-elementos aportados en la nutrición del cultivo. El diseño de la solución en cuanto al contenido de cationes y aniones se presenta en el Cuadro 3.3.

Cuadro 3.1 Formulación de la solución nutritiva para pino

Macro-elementos	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺
Agua residual (Aporte)	0.31	0.04	2.4	2.40	-	-	4.0	2.75
Solución ideal (Requerida)	2.59	0.96	1.9	-	1.0	0.5	1.2	0.60
Aporte previsto	2.29	1.00	-	1.79	1.0	0.5	-	-

Las unidades están en Meq/L.

Cuadro 3.2 Valores de micro- elementos empleados en la solución nutritiva para pino

Micro-elementos en (unidades mg/L)				
Fe	Mn	Zn	B	Cu
5	0.34	0.05	0.52	0.02

Cuadro 3.3 Diseño de la solución nutritiva en aniones y cationes para pino

Meq/L	NH ₄	K	Ca	Mg	H	Total
NO ₃	-	0.5	-	-	1.79	2.29
H ₂ PO ₄	1.0	-	-	-	-	1.00
SO ₄	-	-	-	-	-	-
Total	1.0	0.5	-	-	1.79	-

Los Cuadros 3.4 y 3.5 ilustran la cantidad de fertilizantes que aportan los macro elementos, y micro-elementos utilizados para preparar 100 litros de la solución nutritiva para pino.

Cuadro 3.4 Cantidad de fertilizantes (macro y meso-elementos) empleados en la preparación de 100 litros de solución nutritiva para pino

Fertilizantes	Adición para 1L	Gramos para 100 litros
Nitrato de potasio: KNO_3	0.050 g	5.00 g
Fosfato de amonio: $NH_4H_2PO_4$	0.120 g	12.00 g
Acido nítrico: HNO_3	0.107 ml	10.74 ml

Cuadro 3.5 Cantidad de fertilizantes para los micro-elementos empleados en la preparación de 100 litros de solución nutritiva para pino

Fuentes de nutrientes	Calculo	Gramos para 100 litros
Quelato de hierro	$[5*(100/9)/1000]$	5.55 g
Quelato de cobre	$[0.02*(100/9)/1000]$	0.02 g
Quelato de zinc	$[0.05*(100/9)/1000]$	0.05 g
Sulfato de manganeso	$[0.34*(233/54.94)/1000]$	0.14 g
Acido bórico	$[0.52*(61.81/10.81)/1000]$	0.29 g

Formulación de la solución nutritiva a base de líquido de lombriz al 100%

Un litro de líquido de lombriz contiene los siguientes porcentajes de potasio, nitrógeno y fosforo.

K= 1.99%

N=1.255%

P= 0.25%

Se tomó como base el potasio porque es el que está en mayor concentración.

1%_____10000 ppm

1.99%_____x= 19900 ppm de K

$$Meq/L = \frac{ppm}{(pe)}$$

pe= peso equivalente de K⁺

M. atómica del K

$$Meq/L = \frac{19900}{39} = 510.25 \text{ Meq/L}$$

El ideal para conformar la solución es 0.5 Meq/L.

1 litro de lombriz _____510.25 Meq/L de K

X_____0.5 Meq/L

X = 0.00098 Litros de líquido de lombriz

Este resultado se redondeó a 0.001L

0.5 Meq/L se encuentran en 0.001L de líquido de lombriz. Se prepararon 100 litros de solución en cada tratamiento a evaluar.

Por lo tanto, 0.001 x 100 litros de agua= 0.1 litros de líquido de lombriz aforados a 100 litros y conformar así la solución orgánica.

Formulación de la solución nutritiva 75% líquido de lombriz + 25% de solución nutritiva ideal

La formulación de solución nutritiva 75% líquido de lombriz + 25% de la solución nutritiva ideal para 100 litros de agua se preparó con 0.075 litros de líquido de lombriz más el 25% de la disolución nutritiva ideal química como lo muestra el Cuadro 3.6.

Cuadro 3.6 Cantidad de macro, meso y micro-elementos empleados en la preparación de 100 litros de la solución nutritiva al 25% para pino

Fertilizantes gramos		Micro-elementos gramos	
KNO ₃	1.25 g	Fe	1.375 g
		Zn	0.013 g
	3.00 g	Mn	0.035 g
NH ₄ H ₂ PO ₄			
		B	0.070 g
HNO ₃	2.68 ml	Cu	0.005 g

Formulación de la solución nutritiva 50% líquido de lombriz + 50% de solución nutritiva ideal

La formulación de solución nutritiva 50% líquido de lombriz + 50% de la solución nutritiva ideal para 100 litros de agua se preparó con 0.05 litros de

líquido de lombriz más el 50% de la disolución nutritiva ideal química como lo muestra el Cuadro 3.7.

Cuadro 3.7 Cantidad de macro, meso y micro-elementos empleados en la preparación de 100 litros de la solución nutritiva al 50% para pino

Fertilizantes gramos		Micro-elementos gramos	
KNO ₃	2.50 g	Fe	2.750 g
		Zn	0.027 g
	6.00 g	Mn	0.070 g
NH ₄ H ₂ PO ₄			
HNO ₃	5.35 ml	B	0.145 g
		Cu	0.010 g

Formulación de la solución nutritiva 25% líquido de lombriz + 75% de solución nutritiva ideal

La formulación de solución nutritiva 25% líquido de lombriz + 75% de la solución nutritiva ideal para 100 litros de agua se preparó con 0.025 litros de líquido de lombriz más el 75% de la disolución nutritiva ideal química como lo muestra el Cuadro 3.8.

Cuadro 3.8 Cantidad de macro, meso y micro-elementos empleados en la preparación de 100 litros de la solución nutritiva al 75% para pino

Fertilizantes gramos		Micro-elementos gramos	
KNO ₃	3.75 g	Fe	4.125 g
		Zn	0.041 g
	9 g	Mn	0.105 g
NH ₄ H ₂ PO ₄			
HNO ₃	8.025 ml	B	0.217 g
		Cu	0.015 g

Preparación de la Pila Hidropónica

El suelo se preparó realizando una nivelación del sitio donde se ubicó el polietileno que sirvió como pileta para contener el agua. Se utilizaron ladrillos que sirvieron como división para contener las diferentes soluciones manejadas. Se colocó una cubierta plástica de polietileno y sobre ella una malla sombra para proteger las plántulas de los rayos solares.



Figura 3.2 Cubierta plástica y malla sombra como protección contra los rayos solares.

Producción de Plántula

El sustrato Peat moss se saturó antes de la siembra, esto para minimizar el contenido de sales que presenta.

Después de 24 horas se sembraron semillas de pino en charolas de germinación, cada una según la mezcla de sustrato que le correspondía. Se colocó una semilla por cavidad y se depositó a 0.5 cm de profundidad.

El depósito contenía tres divisiones, cada una con capacidad de 20 litros con las soluciones respectivas. Figura 3.3.

Las charolas de germinación se pusieron a flotar en el depósito que se construyó como puede observarse en la Figura 3.4.



Figura 3.3 Pileta para la solución nutritiva.



Figura 3.4 Charolas en flotación.

Las plantas emergieron aproximadamente a los 16 días después de la siembra. (Figura 3.5)



Figura 3.5 Emergencia de las plántulas de pino.

Diseño de los Tratamientos

El Cuadro 3.9 Muestra la lista de los sustratos de acuerdo a la solución nutritiva, en un diseño completamente al azar con seis repeticiones, donde cada planta constituyó una repetición.

Cuadro 3.9. Lista de tratamientos para la producción de plántula de pino.

Mezcla de sustratos	Soluciones nutritivas
Vermiculita + Peat moss + Perlita	Líquido de lombriz al 100%
Vermiculita + Peat moss + Perlita	75% líquido de lombriz + 25% solución nutritiva ideal
Vermiculita + Peat moss + Perlita	50% líquido de lombriz + 50% solución nutritiva ideal
Vermiculita + Peat moss + Perlita	25% líquido de lombriz + 75% solución nutritiva ideal
Perlita + Peat moss	Líquido de lombriz al 100%
Perlita + Peat moss	75% líquido de lombriz + 25% solución nutritiva ideal
Perlita + Peat moss	50% líquido de lombriz + 50% solución nutritiva ideal
Perlita + Peat moss	25% líquido de lombriz + 75% solución nutritiva ideal
Perlita	Líquido de lombriz al 100%
Perlita	75% líquido de lombriz + 25% solución nutritiva ideal
Perlita	50% líquido de lombriz + 50% solución nutritiva ideal
Perlita	25% líquido de lombriz + 75% solución nutritiva ideal

Diseño Experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con arreglo factorial A x B en el que A corresponde a cuatro soluciones nutritivas, B a tres mezclas de sustratos, se manejaron seis repeticiones.

Variables Agronómicas Evaluadas

- Altura (ALTP) se consideró la altura de la planta desde el cuello de la raíz hasta la parte superior de la planta. Se midió con una regla de 30 cm. (Figura 3.6)



Figura 3.6 Medición de altura en pino.

- Diámetro del tallo (DT) se tomó como punto de referencia para medir el diámetro del tallo mediante un vernier digital el primer entrenudo de la planta reportándose en milímetros. (Figura 3.7)



Figura 3.7 Vernier digital utilizado para la medición del diámetro del tallo.

- Longitud de raíz (LR) se determinó desde el cuello de la raíz hasta la parte inferior de la misma, se utilizó una regla de 30 cm. (Figura 3.8)



Figura 3.8 Medición de longitud de raíz.

- Peso fresco de follaje (PFF) se pesó cada planta al final del experimento, en una balanza digital. (Figura 3.9)



Figura 3.9 Balanza digital utilizada para pesar el follaje fresco.

- Peso fresco de raíz (PFR) las raíces fueron lavadas, para eliminar los residuos de suelo, y luego secadas con toallas de papel absorbente con el fin de eliminar el exceso de agua. Finalmente, cada una de las raíces fue pesada en una balanza digital. (Figura 3.10)



Figura 3.10 Balanza digital utilizada para pesar la raíz.

- Peso seco de follaje (PSF) después de obtener el peso fresco, se colocó cada planta en bolsitas y posteriormente en botes. Se llevaron a una estufa de secado a una temperatura de 105 °C, por 24 h, para obtener finalmente su peso seco. (Figura 3.11)



Figura 3.11 Estufa utilizada para secar el follaje, raíz.

- Peso seco de raíz (PSR) después de obtener el peso fresco, se colocó cada raíz en bolsitas y posteriormente en botes. Se llevaron a una estufa de secado a una temperatura de 105 °C, por 24 h, para obtener finalmente su peso seco. (Figura 3.11)



Figura 3.12 Bolsas de papel utilizadas para colocar los follajes y las raíces.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Formulación de las Mezclas

La formulación de las mezclas se trabajó con las determinaciones generadas por los porómetros. En el Cuadro 4.1. Se presentan los valores promedio para las propiedades físicas de los sustratos, EPT= Espacio Poroso total, CA= Capacidad de Aireación, RA= Retención de Agua, DA= Densidad Aparente, DR= Densidad Real.

Cuadro 4.1 Promedios de las propiedades físicas de los sustratos

SUSTRATO	EPT (%)	CA (%)	RA (%)	DA (Mg/m ³)	DR (Mg/m ³)
Peat moss	64.73	20.09	44.63	0.07	0.20
Perlita	60.47	14.00	46.47	0.11	0.28
Vermiculita	66.16	26.66	39.49	0.12	0.37

EPT= Espacio Poroso total, CA= Capacidad de Aireación, RA= Retención de Agua, DA= Densidad Aparente, DR= Densidad Real.

El Cuadro 4.2 Corresponde a las mezclas de sustratos que garantizan la distribución de la humedad. Se empleó el programa de optimización QSB propuesto por Yih (2003) y descrito detalladamente por Requejo (2008) para su elección.

Cuadro 4.2 Mezclas de los diferentes sustratos

Número	Mezcla de los sustratos
1	Vermiculita 41% + Peat moss 30% + Perlita 29%
2	Perlita 50% + Peat moss 50%
3	Perlita 100%

Variables Evaluadas al Final de la Investigación

En el Cuadro 4.3 Se presenta el análisis de varianza para altura de la planta (ALTP), diámetro del tallo (DT), longitud de raíz (LR), peso fresco del follaje (PFF), peso fresco de raíz (PFR), peso seco del follaje (PSF), y peso seco de raíz (PSR); en plántula de pino producido en sustratos hidropónicos. Se puede observar que la mayoría de las variables evaluadas fueron altamente significativas en las diferentes soluciones y mezclas de sustratos que se utilizaron en el experimento. No se encontró significancia para longitud de raíz (LR), altura de la planta (ALTP) y peso seco de raíz (PSR) en ambos factores. Estos resultados coinciden con Santiago, (2011) quien concluye que una raíz que encuentra en su crecimiento cantidades necesarias de nutrientes, no tiene necesidad de incrementar su longitud de búsqueda y en consecuencia su crecimiento es limitado afectando de manera directa el crecimiento de la planta.

Cuadro 4.3 Cuadrados medios y prueba de F de los análisis de varianza para pino establecido en sustratos hidropónicos

FV	GL	ALTP	DT	LR
SOLUCION	3	0.425 ^{NS}	0.155 **	80.032 **
SUSTRATO	2	8.878 **	0.243 **	7.541 ^{NS}

FV	GL	PFF	PFR	PSF	PSR
SOLUCION	3	0.062 **	102.284 **	0.006 **	0.001 ^{NS}
SUSTRATO	2	0.128 **	98.480 **	0.005 **	0.001 ^{NS}

FV=Fuente de variación, SOL= Soluciones, SUST= Sustrato, GL= Grados de libertad, NS= no significativo, **= altamente significativo.

Altura de la planta (ALTP)

Para la variable altura de la planta (ALTP) en las diferentes soluciones utilizadas, puede observarse que no hubo diferencia, en las mezclas de sustratos puede observarse que la mezcla 1 (41% Vermiculita + 30% Peat moss + 29% Perlita) y la 2 (50% Perlita + 50% Peat moss) tuvieron el mismo comportamiento, la mezcla 3 (100% Perlita) tuvo el valor más bajo, probablemente debido a las diferencias del tamaño de las partículas de los sustratos.

Cuadro 4.4 Prueba de Tukey para altura de la planta en centímetros (ALTP) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones

#	SOLUCIONES	MEZCLA DE SUSTRATOS
1	5.811 a	6.3250 a
2	6.0111 a	6.2625 a
3	6.1278 a	5.2417 b
4	5.8222 a	

Estos resultados coinciden con (García, 2001) quien hizo un experimento sobre el efecto de tres dosis de fertilización sobre tres especies de pino, donde evaluó el crecimiento de las especies de *Pinus pinceana* Gord., *Pinus cembroides* Zucc y *Pinus pseudostrobus* Lindl., durante la etapa de vivero, utilizando tres tratamientos con tres dosis de fertilización cada uno.

El autor encontró que a la edad de 9 meses, las plántulas de las especies estudiadas apenas comienzan a manifestar la respuesta a la fertilización, esto ocurrió porque solo utilizó N, P, K, ya que el exceso o carencia de uno u otro nutrimento afecta el rendimiento.

Diámetro del tallo (DT)

El Cuadro 4.5 Corresponde a la prueba de medias para la variable diámetro del tallo (DT), en ella puede observarse que hubo diferencias estadísticas en las diferentes soluciones utilizadas obteniendo un mayor diámetro en la solución 1 (100% líquido de lombriz). Urrestarazu (2005), indica que una concentración alta de elementos en la solución nutritiva puede afectar seriamente algunos órganos de la planta, casi siempre aumentando el grosor o diámetro y disminuyendo la altura, lo cual representa la disminución de la producción, pero se aumenta la calidad, esto es muy común en tomate hidropónico.

En las mezclas de sustratos puede observarse que la mezcla 1 (41% Vermiculita + 30% Peat moss + 29% Perlita) y la 2 (50% Perlita + 50% Peat moss) tuvieron el mismo comportamiento, la mezcla 3 (100% Perlita) tuvo el valor más bajo, probablemente a las diferencias del tamaño de las partículas de los sustratos. Rodríguez (1997) señala que un mayor diámetro tiene áreas altas de floema, las cuales propician mayores tasas de traslocación de asimilados, facilitando así el crecimiento.

Cuadro 4.5 Prueba de Tukey para diámetro del tallo en milímetros (DT) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones

#	SOLUCIONES	MEZCLA DE SUSTRATOS
1	1.6317 a	1.5967 a
2	1.5650 ab	1.6146 a
3	1.5789 ab	1.4321 b
4	1.4156 b	

Longitud de raíz (LR)

El Cuadro 4.6 Para comparación de medias de la variable longitud de raíz muestra la mayor longitud se obtuvo en la solución 1 (100% líquido de lombriz) y el que tuvo la menor longitud fue la solución 3 (50% líquido de lombriz + 50% Solución nutritiva ideal). Vásquez, (2008) encontró resultados inversos concluyendo que la concentración de nutrientes en las soluciones presentaron una relación directa con el sistema radicular influyendo en la absorción de los nutrimentos y por consecuencia generando raíces en porcentajes similares.

Las mezclas de sustratos no presentaron variación, es decir, no llegaron a ser diferentes estadísticamente. Según Baldomero (2007) se explica el mayor valor por ser una mezcla con adecuada porosidad y densidad aparente, características que no permiten la compactación.

Cuadro 4.6 Prueba de Tukey para longitud de raíz en centímetros (LR) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones.

#	SOLUCIONES	MEZCLA DE SUSTRATOS
1	16.0278 a	13.8333 a
2	12.4333 b	13.0958 a
3	11.0278 b	12.7333 a
4	13.3944 ab	

Peso fresco de follaje (PFF)

La prueba de medias para la variable Peso fresco de follaje se presenta en el Cuadro 4.7, en él se muestra que la solución 2 (75% líquido de lombriz + 25% solución nutritiva ideal) y la solución 1 (100% líquido de lombriz) fueron las mejores. Según resultados encontrados por Valadez (2011) esta variable está relacionada con las dos primeras altura de la planta (ALTP) y diámetro del tallo (DT), obteniendo resultados similares.

Las mezclas de sustrato que generaron los mayores valores para peso fresco de follaje fueron la 2 (50% Perlita + 50% Peat moss) y 1 (41% Vermiculita + 30% Peat moss + 29% Perlita), mientras que el sustrato con menor promedio fue el 3 (100% perlita) con un valor de 0.38 según resultados encontrados por Esquivel, (2001) quien evaluó las diferentes características de sustratos, concluyó que abastecer el buen crecimiento de las plantas afecta de manera directa el peso fresco total de las mismas.

Cuadro 4.7 Prueba de Tukey para peso fresco de follaje en gramos (PFF) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones

#	SOLUCIONES	MEZCLA DE SUSTRATOS
1	0.5083 a	0.4942 a
2	0.5239 a	0.5296 a
3	0.4578 ab	0.3892 b
4	0.3939 b	

Peso fresco de raíz (PFR)

En el Cuadro 4.8 Para la variable Peso fresco de raíz se observa que la solución 1(100% líquido de lombriz) obtuvo mayores resultados con un promedio de 0.49, la solución que resultó menor fue la 4 (25% líquido de lombriz + 75% solución nutritiva ideal) con un promedio de 0.12 siendo estadísticamente igual a la 2 (75% líquido de lombriz + 25% solución nutritiva ideal) y 3 (50% líquido de lombriz + 50% solución nutritiva ideal). Estos resultados coinciden con los encontrados por Valadez, (2011) quien concluye que el líquido de lombriz en combinación con sales minerales, resulta ser un excelente activador de la nutrición vegetal.

La mezcla de sustrato 3 (100% perlita) fue superior con un promedio de 0.36. Probablemente se debe a que en este sustrato se generaron más raíces adventicias y como consecuencia dando un mayor peso fresco de raíces.

Cuadro 4.8 Prueba de Tukey para peso fresco de raíz en gramos (PFR) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones

#	SOLUCIONES	MEZCLA DE SUSTRATOS
1	0.4915 a	0.1467 b
2	0.1717 b	0.1933 b
3	0.1483 b	0.3670 a

Peso seco de follaje (PSF)

El Cuadro 4.9 Para la variable Peso seco de follaje muestra que las soluciones que presentaron mayor peso fueron la 1(100% líquido de lombriz) y 2 (75% líquido de lombriz + 25% solución nutritiva ideal), la solución que presentó los menores valores fue la 4 (25% líquido de lombriz + 75% solución nutritiva ideal). Según resultados encontrados por Esquivel, (2001) quien evaluó las diferentes características de sustratos, concluyó que abastecer el buen crecimiento de las plantas afecta de manera directa el peso fresco total de las mismas.

Las mezclas de sustratos no presentaron variación entre ellos, es decir no llegaron a ser diferentes estadísticamente. Esta variable está relacionada con la variable de peso fresco de follaje generando resultados similares.

Cuadro 4.9 Prueba de Tukey para peso seco de follaje en gramos (PSF) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones

#	SOLUCIONES	MEZCLA DE SUSTRATOS
1	0.1317 a	0.1204 a
2	0.1261 a	0.1242 a
3	0.1089 ab	0.0983 a
4	0.0906 b	

Peso seco de raíz (PSR)

En el Cuadro 4.10 Para la variable peso seco de raíz las soluciones el mayor valor obtenido fue en la solución 1 (100% líquido de lombriz), aunque si hubo variación estos no llegaron a ser diferentes estadísticamente. Santiago, (2011) quien comparó fertilizantes inorgánicos y orgánominerales, concluyendo que el tamaño de la raíz es importante para el crecimiento de la materia verde y seca , es decir, que a medida que crece la raíz también crece la biomasa, como consecuencia de la actividad radicular, por eso es fundamental tener una raíz grande y ramificada.

Las mezclas de sustratos fueron estadísticamente iguales. Según Valadez (2011), el peso seco de raíz esta correlacionado con la variable anterior de peso fresco de raíz, obteniendo el mismo comportamiento.

Cuadro 4.10 Prueba de Tukey para peso seco de raíz en gramos (PSR) en las diferentes mezclas de sustratos y soluciones

#	SOLUCIONES	MEZCLA DE SUSTRATOS
1	0.0283 a	0.0250 a
2	0.0261 a	0.0275 a
3	0.0222 a	0.2290 a

V. CONCLUSIONES

Las soluciones nutritivas influyeron significativamente en la mayor expresión de diámetro del tallo, longitud de raíz, peso fresco del follaje, peso fresco de la raíz y peso seco de follaje

La solución 1 (100% líquido de lombriz) favoreció el diámetro del tallo, longitud de la raíz y peso fresco de raíz de las plántulas de pino.

Las soluciones 1 (100% líquido de lombriz) y 2 (75% líquido de lombriz + 25% solución nutritiva ideal) generaron los mejores valores para peso fresco de follaje y peso seco de follaje de las plántulas de pino:

La altura y el peso seco de la raíz no presentaron diferencias en cuanto a las soluciones nutritivas probadas.

Las mezclas de sustratos 1 (41% Vermiculita + 30% Peat moss + 29% Perlita) y 2 (50% Perlita + 50% Peat moss) generaron los valores más altos de diámetro del tallo, altura y peso fresco del follaje.

La mezcla de sustratos 3 (100% Perlita) fue la mejor para peso fresco de raíz longitud de la raíz, peso seco del follaje y peso seco de raíz.

Las mezclas de sustratos no presentaron diferencias para las variables de longitud de raíz, peso fresco del follaje y peso seco de la raíz de plántulas de pino.

VI. RECOMENDACIONES

Se recomienda que el tiempo de duración del experimento sea más largo para obtener resultados más completos, debido al lento crecimiento de la especie.

Darle seguimiento a este trabajo para saber las respuestas que puedan tener las plantas más adelante al quedar establecidas en campo.

El testigo debe de producirse de manera tradicional y así compararlo con los tratamientos establecidos en sustratos hidropónicos.

Debe de realizarse un análisis económico para ver si es rentable pasar de la producción tradicional a producirlo en sustratos hidropónicos.

VII. LITERATURA CITADA

Aguilar R., M; Vidales F., I.; Muñoz F., H. j.; Toledo B., R; Hernández L., M. A. y Tapia V., L. M. 2004. Hidroponía aplicada en tomate como alternativa sustentable en la comunidad indígena de nuevo san juan Parangaricutiro, Michoacán. Primera edición, impreso en México.

Arévalo, N. E. 1997. Evaluación de cuatro sustratos en hidroponía bajo el sistema vertical, con tomate (*Lycopersicon esculentum Mill*). Tesis. Licenciatura. Uaaan. Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Baldomero H. Z. N. 2007. Producción de tomate (*Lycopersicum esculentum Mill*) hidropónico con sustrato, bajo invernadero. Tesis. Maestría Instituto Politécnico Nacional. Santa cruz xoxocotlan, Oaxaca, México.

Bello, L. A. y Cibrián, T. J. 2000. Evaluación técnica de la reforestación 1998. Resumen del 1er. Congreso nacional de reforestación, colegio de Postgraduados, Méx.

Cadahia, L. C. (1998). Fertirrigacion. Cultivos hortícolas y ornamentales. Editorial multi-prensa. Madrid España

Cano P. 1997. Evaluación de cuatro sustratos en hidroponía bajo el sistema vertical con el cultivo del chile (*Capsicum annuum* L.). Tesis. Licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo Coahuila, México.

Esquivel, T. S. 2001. Características y usos de los principales sustratos utilizados en los cultivos sin suelo. Tesis. Licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo. Mexico.

Fritz- Helmut, E. 1991. Forest fertilización- present state and history with special reference South German conditions. Fertilizer research.

García G, S. (2001). Efecto de tres tratamientos de fertilización sobre tres especies de pino en etapa de vivero bajo condiciones de invernadero. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. 58 p.

Gonzales L, A. (2001). Efecto de tres secuencias de dosis en fertilizante (N, P, K,) en plántulas de dos especies de pinos piñoneros en condiciones de invernadero. Tesis profesional. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coah. 37 p.

Howard, M. R. 2006. Cultivos hidropónicos. Ediciones Mundi Prensa, Madrid, Barcelona.

Huterwal, G. O. 1983. Hidroponía. Cultivo de plantas sin tierra. Editorial albatros. Buenos aires, argentina.

Islas, L. V. H. 2008. Crecimiento de plántulas de biznaga (*Echinocactus grusonii* Hildman) con diferentes sustratos y soluciones nutritivas. Tesis Profesional. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. Tulancingo de Bravo, Hidalgo. Mexico.

Lara, H. A., 1999. Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Información científica y tecnológica. Vol. 17, No. 003. UACH, MEXICO, PP 221-229.

Martínez, S. M. 1992. Evaluación de mezclas de sustratos y sus componentes en flor de nochebuena (*Euphorbia pulcherrima Hill*) Tesis de licenciatura. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma de Chapingo. Chapingo, Mexico. 106 p.

Masaguer y cruz, 2007. Avances en sustratos para cultivos hortícolas: caracterización y manejo. 4ª curso internacional de actualización en horticultura protegida. Universidad politécnica de Madrid (España).44p.

Requejo, L. R. (2008). Acondicionamiento nutricional de plántulas y optimización de sustratos en tomate (*Lycopersicum esculentum mill.*) bajo invernadero. Tesis de doctorado.

Resh, H. (1997). Cultivos hidropónicos. Nuevas técnicas de Producción. Editorial Mundi prensa. Madrid. España.

Rodríguez, R. R. 1997. Cultivo moderno del tomate. Segunda Edición. Mundi-Prensa. Madrid, España.

Rodriguez, T. D. A. 2008. Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi Prensa. Mexico. 156.

Santiago, R. J. 2011. Respuesta del cilantro (*Cosiandrum sativum L.*) al uso de fertilizantes inorgánicos y organominerales. Tesis. Licenciatura. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila.

UNESCO. 2003 Agua para todos, agua para la vida. Resumen. Informe de las Naciones Unidas para el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo.

Urrestarazu, G. M. 2005. Manual de cultivos sin suelo. Ed. Mundi- prensa. España.

Valadez, S. F. 2011. Aprovechamiento de agua de lluvia e la producción hidropónica de lechuga (*Lactusa sativa L.*) Tesis. Licenciatura. Universidad Autonoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coah. Mexico.

Vásquez, V. L. 2008. Efecto de soluciones nutritivas y sombreo en la producción y calidad del berro (*Nsturtium officinale R.*) hidropónico en la sierra norte de Oaxaca. Tesis. Maestría. Centro Interdisciplinario de Investigacion para el Desarrollo Integral Regional. Santa Cruz Xoxocotlan, Oaxaca.

Yih- Lon Ch. 2003. Win – QSB. Versión 1.0 Jhon Wiley and Sons USA

Sitios de internet

http://www.sabsa.mx/descargas/mezclas_profesionales/INFORMACIONPERLIT A.pdf

(Consultada el 14 de mayo del 2012)

<http://plantayflor.blogspot.mx/p/la-perlita-es-un-cristal-natural.html>

(Consultada el 14 de mayo del 2012)

<http://www.edomex.gob.mx/portal/page/portal/probosque/restauracion/fichas-arboles/cembroides>

(Consultada el 14 de mayo del 2012)