



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**COMPLEJO REGIONAL NORTE, SEDE TETELA DE O.
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**EVALUACIÓN DE CALIDAD DE PLANTA DE *Pinus patula* Schl. et
Cham. EN CONDICIONES DE VIVERO CON APLICACIÓN DE
MICROORGANISMOS DE MONTAÑA**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**PRESENTA:
JESÚS LEONARDO NAVA RUEDA**

**DIRECTOR DE TESIS:
M. C. VERÓNICA TORRES VALENCIA**

TETELA DE OCAMPO, PUEBLA, MAYO DE 2024



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

**COMPLEJO REGIONAL NORTE, SEDE TETELA DE O.
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**EVALUACIÓN DE CALIDAD DE PLANTA DE *Pinus patula* Schl. et
Cham. EN CONDICIONES DE VIVERO CON APLICACIÓN DE
MICROORGANISMOS DE MONTAÑA**

**TESIS PROFESIONAL
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROFORESTAL**

**PRESENTA:
JESÚS LEONARDO NAVA RUEDA**

**DIRECTORA DE TESIS:
ING. VERÓNICA TORRES VALENCIA**

**ASESORAS
M. C. ELIZABETH GONZÁLEZ GARCÍA
M. C. ROSARIO HERNÁNDEZ TAPIA**

TETELA DE OCAMPO, PUEBLA, MAYO DE 2024

La presente tesis titulada: **Evaluación de calidad de planta de *Pinus patula* Schl. et Cham. en condiciones de vivero con aplicación de microorganismos de montaña.** Realizada por el alumno **Jesús Leonardo Nava Rueda**, ha sido revisada y aprobada por el siguiente consejo particular, para obtener el título de:

**LICENCIADO EN INGENIERÍA AGROFORESTAL
COMPLEJO REGIONAL NORTE, SEDE TETELA DE OCAMPO**

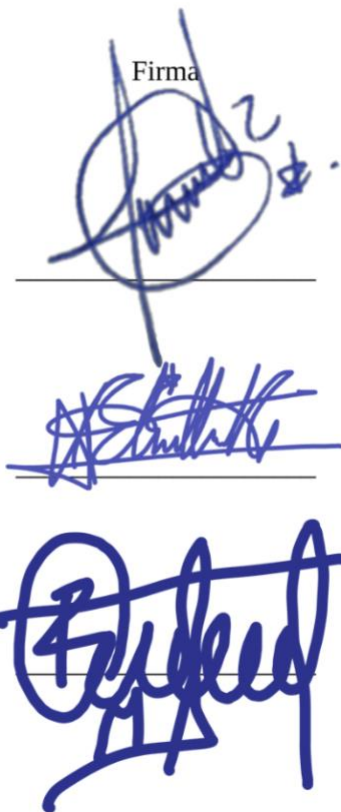
Consejo particular integrado por:

Directora: Ing. Verónica Torres Valencia

Asesora: M. C. Elizabeth González García

Asesora: M. C. María del Rosario Hernández Tapia

Firma





Tetela de Ocampo, Puebla, noviembre de 2023

El presente trabajo fue financiado por recursos propios en colaboración con Corraextla
Productores Agrícolas S. P. R. de R. L.


DEDICATORIAS


A mi familia que me ha apoyado, impulsado y motivado para continuar con mi vida académica y de superación personal.

A mi madre porque desde muy pequeño me enseñó a enfrentar todo tipo de situaciones, buenas o no tan buenas y que a pesar de las adversidades siempre puedes levantarte para seguir sonriendo, cantando, bailando y viviendo .


A mi padre por confiar en mí y en mis decisiones a pesar de que ambos tenemos formas tan diferentes de pensar, pero un carácter igual de complicado, sé que no ha sido fácil lidiar conmigo .


A mis dos hermanos, con los que aprendí el significado de compartir, apoyar, confiar y amar.


A mi hermano mayor (käik) porque desde niños ha sido uno de los pilares más importantes en mi vida, por cuidarme y siempre estar para mí incluso cuando tiene más complicaciones que yo .

A mi hermanito, otro pilar muy importante para mí, que me ha enseñado que todo lo que hago puede ser visto con admiración o preocupación... eso me impulsó a ser más responsable y mejor persona .

A dos de mis mejores amigos de la vida con los que viví de mis mejores momentos de la época universitaria y con quienes aprendí que la familia no es forzosamente de sangre.

Peñaldo, que con su amistad me ha ayudado a levantarme en momentos difíciles, mi compa de emprendimientos que me enseñó a dejar la hueva un poquito a un lado para trabajar en actividades que me apasionan .

Juanco con quién confirmé que la amistad es más importante que cualquier cosa, por ser una de las que más aprecio y apoyo moral me brindó para concluir con esta etapa, gracias por confiar y quedarte .

A mi niño interior que desde niño siempre quiso “hacer cosas de científicos”, estudiar “los bichos” o entender cómo funciona su entorno y sentirse libre haciendo lo que le gusta. Porque nos lo merecemos y porque ahora somos una persona más valiente, más capaz... más feliz .

AGRADECIMIENTOS

Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP) por permitirme crecer y aprender en sus instalaciones con algunos de los mejores catedráticos.

A las tres profesoras que me acompañan en este proceso, por compartir conmigo y mis compañeros tres de las cosas más valiosas que existen: conocimiento, tiempo y experiencia.

A la Maestra Vero por despertar en mí esa pasión por el lado mágico de la carrera que se esconde en la agricultura orgánica.

A la maestra Eli por hacerme ver que las ciencias exactas en mi área no son tan complicadas como creí.

A la Maestra Rosario por demostrarme que la gentileza, el humanismo y el profesionalismo van siempre de la mano.

CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS.....	i
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ii
RESUMEN.....	iii
SUMARY.....	iv
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	4
Objetivos generales.....	4
Objetivos específicos.....	4
III. HIPÓTESIS.....	5
Hipótesis general.....	5
Hipótesis específicas.....	5
VI. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
4.1. Situación forestal en México.....	6
4.2. Microorganismos de montaña.....	7
4.3. <i>Pinus patula</i> Scheid ex Schltl.....	8
4.4. Calidad de planta.....	8
4.5. Sustratos y fertilización en viveros.....	8
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
5.1 Localización y área de estudio.....	10
5.2 Tratamientos.....	11
5.3 Diseño experimental.....	12
5.4 variables.....	14
5.5 material biológico.....	15
5.5.1 Semillas.....	15
5.5.2 Microorganismos de montaña.....	15
5.6 Germinación de plántula y trasplante.....	16
5.6.1 almácigo.....	16
5.6.2 Sustrato general.....	18
5.6.3 Inoculación de fase sólida.....	19
5.6.4 Trasplante.....	22
Análisis estadístico.....	23
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	24

6.1 Primer momento 93 días post trasplante	25
6.1.1 Altura	25
6.1.2 Diámetro de tallo a la altura de cuello	27
6.2 Segundo momento 196 días post trasplante.....	29
6.2.1 Altura	29
6.2.2 Diámetro de tallo a la altura de cuello	31
6.3 Tercer momento 282 días post trasplante	33
6.3.1 Altura	33
6.3.2 Diámetro de tallo a la altura de cuello	36
6.4 Índice de robustez o coeficiente de esbeltez	38
6.5 Índice de calidad de Dickson	39
6.6 Biomasa aérea	40
6.7 Biomasa radicular	41
<i>VII. CONCLUSIONES</i>	42
<i>VIII. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS</i>	46
<i>IX. ANEXOS</i>	51

ÍNDICE DE CUADROS

<i>Cuadro 1. Dosificación porcentual de tratamientos por volumen de microorganismos benéficos de montaña inoculados al sustrato.</i>	<i>12</i>
<i>Cuadro 2: Dosificación de microorganismos de montaña por tratamiento según los porcentajes requeridos.</i>	<i>21</i>
<i>Cuadro 3. Recomendaciones para una planta de calidad de especies no cespitosas según CONAFOR (2023).....</i>	<i>24</i>
<i>Cuadro 4. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 93 días del experimento en la variable altura.</i>	<i>25</i>
<i>Cuadro 5. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 93 días del experimento para la variable DT.</i>	<i>27</i>
<i>Cuadro 6. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 196 días del experimento para la variable altura.</i>	<i>29</i>
<i>Cuadro 7. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 196 días del experimento en la variable DT.</i>	<i>31</i>
<i>Cuadro 8. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 282 días del experimento para la variable altura.</i>	<i>33</i>
<i>Cuadro 9. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 196 días del experimento en la variable DT.</i>	<i>36</i>
<i>Cuadro 10. Determinación de calidad de planta según el índice de robustez o esbeltez.....</i>	<i>38</i>
<i>Cuadro 11. clasificación de calidad de planta por su índice de calidad de Dickson.</i>	<i>39</i>

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1. Localización de área de estudio con representación de su distribución climática, INEGI (2010).</i>	10
<i>Figura 2. Croquis de diseño experimental y distribución de tratamientos</i>	13
<i>Figura 3. Representación y dimensiones de cajón para almácigo</i>	16
<i>Figura 4. Plántulas de Pinus patula con 28 días de edad</i>	17
<i>Figura 5. Producción artesanal de sustrato base mediante la metodología de Corralextla</i>	19
<i>Figura 6. Transformación de volumen (170 ml.) a peso de sustrato y microorganismos previo a la formulación de tratamientos.</i>	20
<i>Figura 7. Plántulas de Pinus Patula en solución de agua con sales cuaternarias y enraizador previo al trasplante.</i>	22
<i>Figura 8. Diagrama de caja de la variable altura de planta (AP) en el primer periodo de evaluación.</i>	26
<i>Figura 9. Diagrama de caja de la variable diámetro de tallo a la altura de cuello (DT) en el primer periodo de evaluación.</i>	28
<i>Figura 10. Diagrama de caja de la variable altura en el segundo periodo de evaluación.</i>	30
<i>Figura 11. Diagrama de caja de la variable diámetro a la altura del cuello en el segundo periodo de evaluación.</i>	32
<i>Figura 12. Diagrama de caja de la variable altura en el tercer periodo de evaluación.</i>	34
<i>Figura 13. Relación de similitud de comportamiento entre las dosificaciones iguales de microorganismos de montaña.</i>	35
<i>Figura 14. Diagrama de caja de la variable diámetro a la altura del cuello en el tercer periodo de evaluación.</i>	37
<i>Figura 15. Gráfica de barras de la relación del peso húmedo y seco de la biomasa aérea.</i>	40
<i>Figura 16. Gráfica de barras de la relación del peso húmedo y seco de la biomasa radicular.</i>	41
<i>Figura 17. Altura promedio de los tratamientos a lo largo de los tres periodos de observación.</i>	43

EVALUACIÓN DE CALIDAD DE PLANTA DE *Pinus patula* Schl. et Cham. EN CONDICIONES DE VIVERO CON APLICACIÓN DE MICROORGANISMOS DE MONTAÑA

RESUMEN

La calidad de planta es un parámetro definido por las características fisiológicas y morfológicas de una planta. En viveros forestales se utiliza como un indicador que define qué tan apta es una planta para sobrevivir en campo después de su trasplante.

Se evaluó la calidad de planta de *Pinus patula* Schl. et Cham. en el ciclo de producción 2022-2023 del vivero agroforestal de Corralextla Productores Agrícolas S. P. R. de R. L. donde se utilizó la fertilización convencional del vivero como testigo y para contrastar se establecieron 6 tratamientos con aplicación de microorganismos de montaña en dos modalidades; en la primera de ellas se utilizaron tres dosificaciones de inoculante sólido de MM sustituyendo 03%, 10% y 20% del volumen de la formulación de sustrato base utilizado en la metodología del vivero, para la segunda modalidad se utilizaron los mismos porcentajes de inoculante sólido cuya diferenciación consistió en la aplicación de microorganismos de montaña en fase líquida como un promotor de actividad microbiana.

Se utilizó un diseño de bloques completamente al azar, las plantas fueron evaluadas en tres momentos diferentes a lo largo de 9 meses, el factor climático tuvo una fuerte repercusión en los primeros 6 meses de producción, en el tercer periodo se observaron las mayores diferencias, siendo T2 (10% inoculante sólido) de mejores características entre sus repeticiones. El tratamiento testigo fue uno de los más deficientes por lo que se determina que es posible emplear microorganismos de montaña como una alternativa orgánica en el apartado nutricional de la producción de plantas forestales en viveros forestales.

Palabras clave: índice de calidad de Dickson, calidad de planta, índice de robustez.

EVALUATION OF PLANT QUALITY OF *Pinus patula* Schl. et Cham. IN NURSERIES CONDITIONS WITH APPLICATIONS OF MOUNTAIN MICROORGANISMS

SUMMARY

Plant quality is a parameter defined by physiological and morphological characteristics of a plant. In tree nurseries, it is used as an indicator that determines how suitable a plant is for surviving in field after transplantation.

The plant quality of *Pinus patula* Schl. Et. Cham. Was evaluated in the 2022-2023 production cycle of the agroforestry nursery of Corraletla Productores Agrícolas S. P. R. de R. L. Conventional nursery fertilization was used as control treatment, to compare, 6 treatments with mountain microorganisms were established in two modalities. In one hand three dosages of solid inoculant of MM was used replacing 03%, 10% and 20% of the volume of base substrate formulation from nursery methodology, in the other hand, the same percentages of solid inoculant were used, whose differentiation consisted in application of mountain microorganisms in liquid phase as a promoter of microbial activity.

The plants were evaluated at three different times over a period of 9 months in a complete randomized block design, The weather had a strong impact in the first 6 months of production. The greatest differences were observed in the third period, being T2 (10% solid inoculant) the one with the best characteristics among its repetitions. Control treatment was one of the most deficient, indicating that is possible to use as an organic nutritional alternative on plant production in forest nurseries.

Key words: Dickson quality index, plant quality, robustness index.

I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años la actividad forestal mexicana se ha visto modificada dando atención principalmente en la restauración de bosques a través de la reforestación (Orozco Gutiérrez *et al.*, 2010), de Jesús Albino *et al* (2021) comenta que la producción en vivero de plantas de buena calidad se ha vuelto más importante con el paso del tiempo. Situación que puede deberse al potencial que tienen los viveros como actividad económica poco explotada aún en determinadas regiones.

Inicialmente la producción intensiva de México utilizó como materia prima para sus sustratos materiales importados de otros países, pero, con el paso del tiempo se comenzó a optar por opciones más locales y económicas como musgos, cortezas de árboles y material residual de cultivos agroindustriales como la caña de azúcar, agave y coco (Aguilera Rodríguez *et al.*, 2016).

Cuando se sabe que las semillas son de buena procedencia se asegura en gran medida el éxito de la nueva producción. A pesar de ello; la nutrición es uno de los procesos más importantes a realizar para que el material genético desarrolle de la mejor manera su respectivo fenotipo.

Los fertilizantes empleados en la producción de plantas forestales en vivero representan una gran inversión para el proceso, pues, para una buena nutrición en un sustrato inerte se utilizan productos de lenta liberación mezclados directamente en el sustrato. Además de ello es necesario complementar con aplicaciones periódicas de fertilizantes solubles vía riego y aspersión.

Debido a que todas las ciencias, incluyendo las agrícolas, forestales y pecuarias con el paso del tiempo siguen experimentando progresos tecnológicos (Pastor Sáez 1999) los productores cada vez van teniendo más información y herramientas a su disposición que les permiten conocer, comparar y optar por nuevas alternativas para los materiales de los sustratos, existe un

porcentaje de esa población que busca otras opciones más económicas para suplir el apartado nutricional.

Una de las mejores alternativas para mantener un balance nutrimental constante de las plantas es la incorporación de fertilizantes encapsulados de lenta liberación en el sustrato, aunque aún es una alternativa costosa a la que no todos los productores tienen acceso.

Particularmente los microorganismos benéficos se han comenzado a ver como una alternativa en la agricultura por sus beneficios ya que son capaces de solubilizar, fijar y movilizar los nutrientes del suelo haciéndolos de más fácil asimilación para las plantas (Martínez Cano y Soto Zarazúa 2022).

Los microorganismos de montaña están constituidos principalmente por colonias de hongos, levaduras y bacterias (Campo Martínez *et al.*, 2014), tienen la ventaja de encontrarse de manera natural en el suelo de todo tipo de ecosistemas y regiones, lo que representa una ventaja pues están prácticamente al alcance de todos los productores. Rodríguez Trejo (2008) menciona que un ejemplo claro de su buen funcionamiento es la popularidad del uso de micorrizas en los sistemas de producción de especies forestales en condiciones de vivero.

Esta investigación tiene como propósito incursionar con métodos de la agricultura orgánica aplicándolos a la producción de plantas forestales en charola dentro de un vivero inoculando microorganismos de montaña al sustrato y midiendo su efectividad mediante la evaluación de calidad de planta de *Pinus patula* L.

Planteamiento de problema

El tipo de contenedor, la selección de semilla, el riego, los sustratos y el manejo integrado de fertilización son factores variables que según la especie deben ser tomados en cuenta para la producción de plantas en vivero (Gutiérrez García *et al.*, 2016).

La industria forestal en México es uno de los causantes más grandes de la pérdida de áreas forestales en el país, esto es un dato preocupante porque Gutiérrez Flores (2007) afirma que México es uno de los países que pierde más cobertura vegetal cada año.

Los protocolos de efectividad para una plantación forestal comercial indican que los productores están obligados a reforestar sus predios después de haberlos aprovechado, pero, a pesar de que la mayoría de ellos sí realiza estas prácticas se siguen reduciendo las superficies arboladas, esto se debe a que aproximadamente el 50% de las plantas mueren después de su plantación en campo. (Magaña *et al.*, 2007).

Una buena calidad de planta asegura la supervivencia de las especies en campo después de ser establecidas (O'Reilly, *et al.*, 2002), este es un parámetro que se define por las características físicas de las plantas como altura, diámetro de tallo, pesos húmedos y secos, entre otros. Adicionalmente, una planta con buenas características de calidad es más estética visualmente por lo que su comercialización es más rápida.

II. OBJETIVOS

Objetivo general

Describir la influencia que tiene la inoculación de microorganismos de montaña en el sustrato sobre la calidad de planta de *Pinus patula* Schl. et Cham. en condiciones de vivero mediante la evaluación de sus características morfológicas y fisiológicas en diferentes etapas de los primeros meses de producción.

Objetivos específicos

Determinar si es posible utilizar los microorganismos de montaña en el apartado nutricional de las plantas y obtener plantas de buena calidad en viveros forestales de regiones templadas.

Evaluar la eficiencia de los microorganismos sólidos por sí solos y su combinación con microorganismos en fase líquida.

Encontrar la dosificación más efectiva de microorganismos benéficos de montaña inoculados al sustrato para lograr una buena calidad de planta.

III. HIPÓTESIS

Hipótesis general

Los microorganismos de montaña tendrán un efecto positivo sobre las características de crecimiento y desarrollo de las plantas de *Pinus patula* L. debido a que por su naturaleza el inóculo está conformado por bacterias nitrificantes, acidolácticas, micorrizas, levaduras y otros hongos.

Hipótesis específicas

- a) La calidad de planta de los individuos sometidos a los tratamientos con la inoculación de microorganismos de montaña igualará o mejorará los estándares de calidad en comparación con los tratamientos convencionales del vivero.
- b) La aplicación de microorganismos de montaña en fase líquida es necesaria para activar y complementar la actividad microbiana del inóculo sólido.

VI. REVISIÓN DE LITERATURA

4.1. Situación forestal en México

A pesar de los esfuerzos en impulsar el crecimiento y desarrollo forestal del país; las superficies arboladas siguen decreciendo rápidamente, pues en menos de 30 años ya se ha perdido más del 50% de la superficie arbolada en México, según SEMARNAT (2015) para finales del 2015 la superficie forestal de México era de 55.3 millones de hectáreas, incluyendo selvas y bosques, a diferencia de los estudios realizados por en aquel entonces SEMARNAP (1999) que describió una superficie de 141.7 millones de hectáreas en total para finales del siglo pasado.

Moctezuma López y Galicia (2018) comentan que una de las principales razones por las que esto sucede se debe a que no se impulsa al sector forestal en general como una fuente de empleo digna ya que a las personas que habitan estas regiones no se les capacita como silvicultores, por lo que lejos de verlo como una fuente de ingresos se mira como una superficie inprovechable. Este contexto en parte tiene una relación directa con que la mayoría de los 12 millones que habitan estas regiones viven en condiciones de pobreza o pobreza extrema.

La mayor parte de producción nacional de madera se divide en dos principales géneros, Pinus y Quercus, que representan el 80% y 5% respectivamente (CONAFOR, 2015). Entendiendo así que esa madera es colectada principalmente en sistemas de producción como plantaciones forestales comerciales y sistemas agroforestales que se encuentran ubicadas en regiones con clima templado, bosque mesófilo de montaña y zonas tropicales, tal como lo confirma Moreno Calles *et al*, (2013).

A pesar de que en la Sierra Norte de Puebla ya es posible visibilizar e identificar cada vez más el trabajo que realizan los silvicultores; sigue siendo un reto promover la importancia de preservar y recuperar las superficies arboladas de la región con un manejo adecuado y asesoría integral a los silvicultores.

Por ello es importante continuar con la generación de nuevos conocimientos con tecnologías sencillas transferibles al manejo y cuidado de los diversos ecosistemas forestales, tal como también opina Zamora-Martínez (2016).

4.2. Microorganismos de montaña

La introducción de microorganismos asociados a plantas se ha postulado como una propuesta para potenciar la productividad agrícola (Acuña *et al.*, 2004). Los microorganismos de montaña están conformados por “consorcios microbianos” estos son vistos como una forma de preservar y aprovechar la diversidad microbiana natural proveniente de los bosques, mediante su reproducción artesanal para ser utilizados posteriormente en unidades de producción agrícola (Castro Barquero *et al.*, 2015). Esta tecnología ha sido descrita desde la década de los 80 's (Mayera *et al.*, 2010).

Existen dos grandes grupos donde se enlistan los microorganismos; procarionte y eucarionte (Morales Santos, 2021), en el primer grupo se encuentran bacterias principalmente y en el segundo hongos, algas y protozoarios, todos estos microorganismos permiten que los ecosistemas funcionen de manera correcta (Montaño Arias *et al.*, 2010).

Los microorganismos de montaña son organismos vivos adaptados a condiciones edáficas de alta montaña, están conformados principalmente por poblaciones hongos, bacterias, actinomicetos, levaduras y un pequeño porcentaje de microalgas (Camacho *et al.*, 2018).

Para obtener relaciones positivas entre planta y microorganismos deben utilizarse inoculantes sobre las semillas y/o el sustrato (García de Salamone., 2011). Un método para asegurar el éxito del uso de microorganismos en el sector agrícola y en este caso; el sector forestal es recomendable realizar la colecta de la cepa en un sitio perteneciente a la misma región.

El contenido de materia orgánica almacenada en el suelo depende directamente de dos factores; el aporte de materiales orgánicos y la descomposición microbiana de la misma (Pozuelo González, 1991). La degradación de cualquier estructura orgánica es prácticamente inevitable con el paso del tiempo, sin importar que los materiales sean distintos ya que los microorganismos se encargan de degradarlos a estructuras más simples.

4.3. *Pinus patula* Scheid ex Schldl

El *Pinus patula* es una especie endémica de México, Rivera Rodríguez *et al* (2016) comenta que es considerada como una de las coníferas de mayor importancia de la nación, Escamilla Hernández (2020) describe debido a sus múltiples beneficios es usada popularmente en programas de reforestación y la industria maderera. Es un árbol perennifolio con alturas de 30 a 35 metros, el diámetro normal de su fuste es de 50 a 90 centímetros (CONAFOR/CONABIO). Tolome Alba (2004) describe que su distribución natural en el país se encuentra principalmente en los estados de Hidalgo, Puebla, Tlaxcala, Veracruz y parte de la región norte de Oaxaca.

4.4. Calidad de planta

Los tratamientos y cuidados que se le dan a las semillas y plantas para que tengan una buena germinación y un crecimiento adecuado conforman el proceso de producción (Muñoz Flores *et al.*, 2015). En el vivero las plantas reciben cuidados y manejo específicos para cada cultivo con el fin de asegurar su supervivencia en su lugar definitivo de trasplante (Benítez *et al.*, 2002).

Dickson (1960) fue una de las primeras personas en proponer una metodología para determinar la calidad de las plantas forestales a partir de sus características físicas y morfológicas con un modelo que requiere de muestreos destructivos donde la altura, el diámetro, y el peso seco de la planta diseccionada son los componentes necesarios para calcularla.

Según Navarro *et al* (2006) la calidad de planta se ha definido como concepto a partir de la idea de que las producciones de cualquier planta en forma de bloque o cultivo deben superar exitosamente su fase de establecimiento a corto plazo. De ahí la importancia de gestionar correctamente las labores englobadas en el manejo de los viveros.

4.5. Sustratos y fertilización en viveros

El sustrato es el medio en el que se las plantas desarrollan sus primeras etapas (Maldonado-Benítez *et al.*, 2011), por lo que es una base fundamental para las plantas en los viveros porque repercute en el sistema radicular y la parte aérea tanto fisiológica como anatómicamente (Hernández Zarate *et al.*, 2014), por lo tanto, afectan la nutrición y calidad de la planta (Sandoval Méndez 2000).

Un buen sustrato favorece un buen desarrollo del sistema radicular para mejorar la calidad de planta y a su vez su supervivencia en campo (Stewart y Bernier 1995), por otro lado los fertilizantes deben ser añadidos directamente al sustrato en forma de productos granulados de liberación controlada (González Orosco *et al.*, 2018), otro método para asegurar una buena fertilización es aplicarla continuamente por medio de irrigación, a pesar de que supone aplicaciones más laboriosas sigue siendo uno de los métodos más utilizados en la región debido a la complejidad para adquirir otros fertilizantes.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización y área de estudio

El experimento se realizó en las instalaciones del Vivero Agroforestal de Corralextla Productores Agrícolas S. P. R. de R. L. Ubicado en el Municipio de Zacatlán, Puebla, México, con las siguientes coordenadas 19°56 '03.7 "N 97°57' 59.5"W (CNES, 2020).

En esta región la temperatura media anual oscila entre 12° y 18° C, las precipitaciones son en verano y se registran entre 2,000 mm² y 700 mm² (Castillo Román, 2012) por lo que su clasificación climática según E. García (2004) por su adaptación a la metodología de Köppen corresponde a C (w).

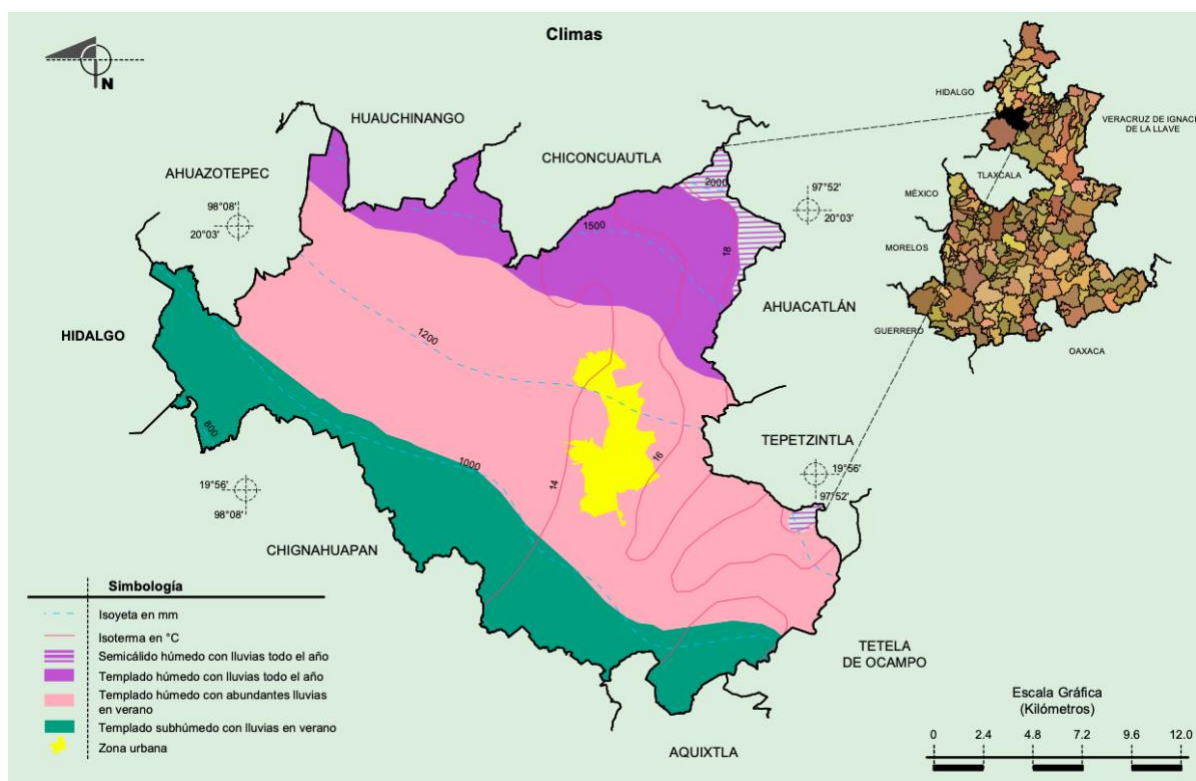


Figura 1. Localización de área de estudio con representación de su distribución climática, INEGI (2010).

5.2 Tratamientos

Se utilizaron seis tratamientos más un testigo, tres de los tratamientos constaron de diferentes dosificaciones de inoculante sólido (3%, 10%, y 20%), los otros tres fueron elaborados con los mismos porcentajes de MM sólidos cada uno, su diferenciación fue la aplicación de microorganismos de montaña en fase líquida mediante aspersiones semanales con la finalidad de evaluarlos como un promotor y activador de actividad microbiana, su concentración fue de 10% sobre volumen de agua. A continuación, se enlistan los tratamientos con sus respectivas dosis:

T_t = 0% | fertilización convencional del Vivero Agroforestal de Corralextla S. P. R. de R. L.

T₁ = 03% de Moos sólidos

T₂ = 10% de Moos sólidos

T₃ = 20% de Moos sólidos

T₄ = 03% de Moos sólidos + Moos líquidos

T₅ = 10% de Moos sólidos + Moos líquidos

T₆ = 20% de Moos sólidos + Moos líquidos.

Como los porcentajes de inoculante sólido requeridos son tres diferentes lo primero que se realizó fue medir la capacidad de almacenamiento total que tienen las charolas para determinar los porcentajes en volumen (20% | 10% | 03%), que posteriormente fueron sustituidos por microorganismos de montaña en fase sólida.

Las charolas forestales utilizadas en esta investigación tienen una capacidad de 170 ml por tubete/cavidad y cada una posee 77 cavidades por lo que su volumen total de almacenamiento

es de 13,090 ml. En la siguiente tabla se representa el volumen de sustrato base que fue necesario sustituir por inoculante sólido para cada tratamiento.

Cuadro 1. Dosificación porcentual de tratamientos por volumen de microorganismos benéficos de montaña inoculados al sustrato.

	Capacidad de charola	Volumen de sustrato base	Porcentaje sustituido	Microorganismos fase sólida
T_T	13,090 ml	13,090 ml	0 %	0 ml
T₁ y T₄	13,090 ml	10,472 ml	03 %	393 ml
T₂ y T₅	13,090 ml	11,781 ml	10 %	1,309 ml
T₃ y T₆	13,090 ml	12,697 ml	20%	2,618 ml

5.3 Diseño experimental

Para evaluar las diferencias de eficiencia entre los tratamientos se utilizó un diseño completamente al azar. Todos los tratamientos constan de siete charolas que fueron consideradas como repeticiones y cada repetición estuvo conformada por 77 unidades, por lo que la población experimental total fue de 3,773 plantas.

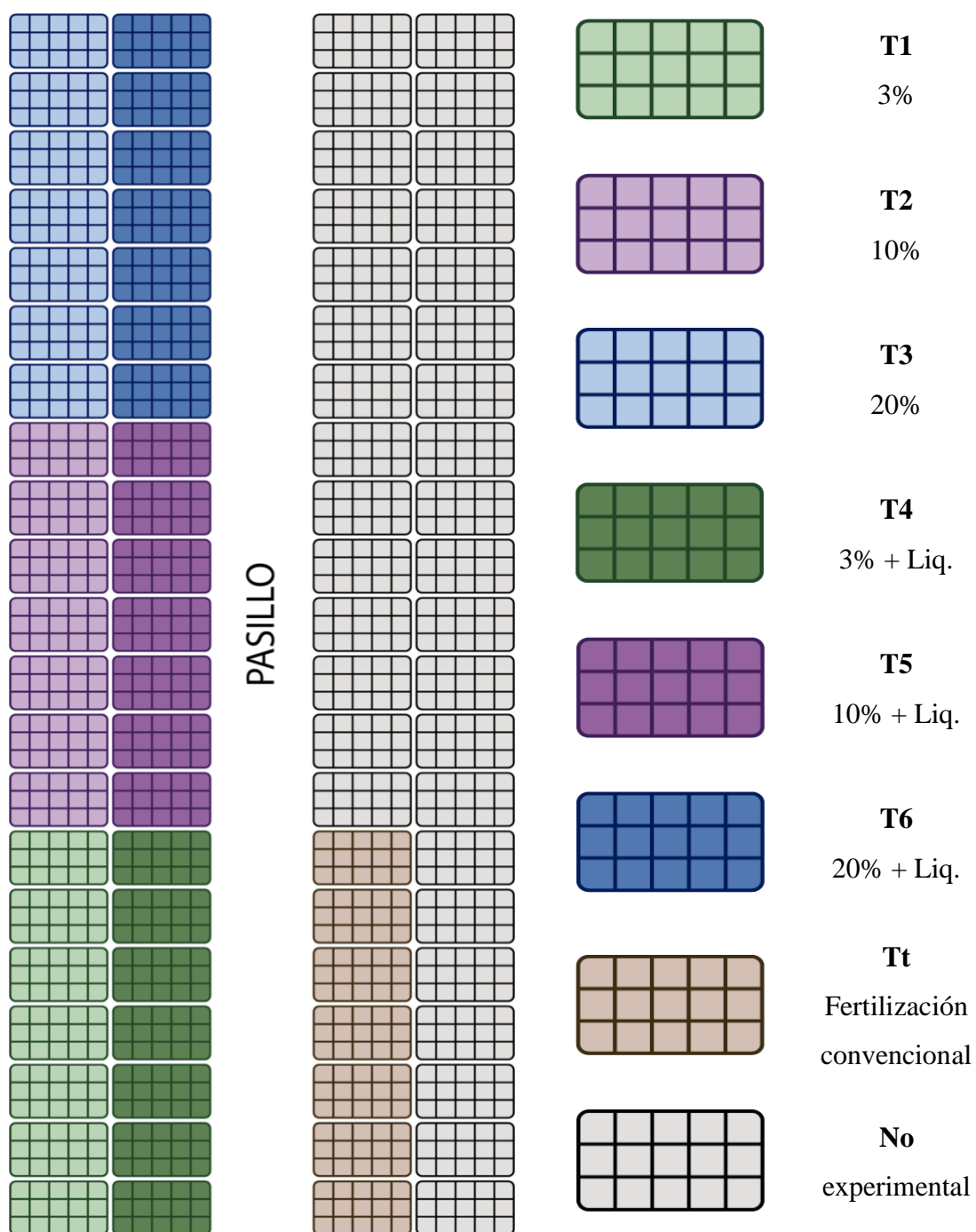


Figura 2. Croquis de diseño experimental y distribución de tratamientos

5.4 variables

Se consideraron dos estándares para evaluar la calidad de las plantas, el primero de ellos es la relación del diámetro del tallo al cuello respecto de la altura, conocida mejor como **índice de robustez o esbeltez (IR)** y el segundo fue el **índice de calidad de Dickson (ICD)** cuyos procedimientos requieren de un muestreo destructivo.

El índice de Calidad de Dickson (ICD) se calcula considerando la relación que tienen las características morfológicas de las plantas (Rueda Sánchez *et al.*, 2014), entre ellas: altura, diámetro basal, pesos secos totales, así como de la parte aérea y radicular por separado. La fórmula utilizada es la siguiente:

$$ICD = \frac{PESO SECO TOTAL}{\frac{ALTURA (cm)}{DIÁMETRO (mm)} + \frac{PESO SECO DE LA PARTE AÉREA (g)}{PESO SECO DE LA RAÍZ (g)}}$$

A continuación, se enlistan las abreviaciones de los índices anteriores que serán considerados como variables y las de los datos necesarios para determinarlos.

IR= Índice de robustez o esbeltez

ICD= Índice de calidad de Dickson

ILI= Índice de lignificación

AP = Altura de planta

DT = Diámetro de tallo a la altura de cuello

PHT= Peso húmedo total de la planta

PST = Peso seco total de planta

PHA = Peso húmedo de parte aérea

PSA = Peso seco de parte aérea

PHR= Peso húmedo de la raíz

PSR= Peso seco de la raíz

La altura de la planta (AP) fue medida con una regla de acero inoxidable marca Westcott y se consideró la distancia desde la base del tallo hasta la punta de la yema apical tal como recomienda González Trejo *et al* (2015), por otro lado; el diámetro de tallo se midió con un vernier digital marca Truper modelo CALDI-6MP, bajo las normas DIN 806 y Federal NMX-CH-2-1993-SCFI.

Para obtener el peso seco las plantas fueron deshidratadas en una estufa de secado a 75° C. durante 48 horas y se utilizó una balanza analítica.

5.5 material biológico

5.5.1 Semillas

Para esta investigación se utilizaron semillas de *Pinus patula* L., provenientes del banco de germoplasma forestal del Ejido de Pueblo Nuevo en Chignahuapan, Puebla, México y corresponden a la colecta Primavera-verano 2022, cuyo índice de germinación es de 95% en condiciones controladas.

5.5.2 Microorganismos de montaña

Los microorganismos de monta pertenecen a la colecta de la cepa C_01 y fueron colectados en la comunidad de Capuluaque, Tetela de Ocampo, Puebla en otoño de 2021. En el bosque donde se colectaron los microorganismos predomina la vegetación de pino-encino.

Los microorganismos fueron colectados en bosque de galería donde la vegetación forestal dominante está constituida por *Pinus sp*, *Alnus acuminata*, *Taxodium mucronatum* y *Quercus sp.*, se localiza aproximadamente a 2,100 sobre el nivel del mar y se encuentra en la intersección de la zona baja entre dos colinas donde fluye un arroyo temporal por las lluvias de verano.

5.6 Germinación de plántula y trasplante

5.6.1 almácigo

El sustrato de almácigo (semillero) donde germinaron las plantas estuvo constituido por aserrín, perlita y peat moss en relación de 2:1:1 respectivamente, adicionalmente sobre el volumen total se incorporó 0.5% de microorganismos de montaña en fase sólida con la finalidad de combatir agentes patógenos no deseados que ya habían estado presentes en producciones pasadas.

Los componentes del sustrato fueron desinfectados con sales cuaternarias al 0.5%. una vez homogeneizado el sustrato se colocó en un cajón de germinación de madera de 2 m de largo X 1.20 de anchura y 0.15 m de altura, con fondo de malla de acero inoxidable de 6 hilos por pulgada (criba: 0.52 mm).

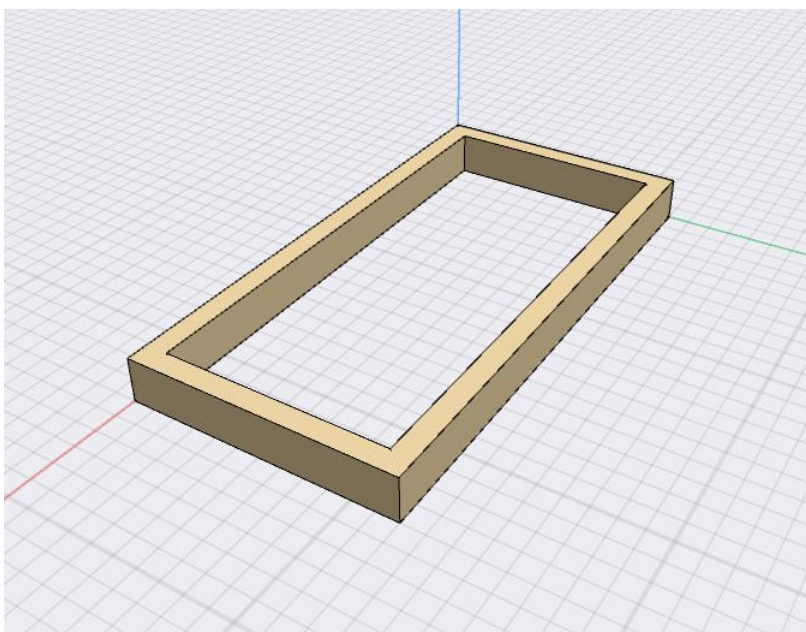


Figura 3. Representación y dimensiones de cajón para almácigo

Las semillas se esparcieron uniformemente al voleo y para fijarlas en el sustrato se ejerció una ligera presión. Finalmente se colocó una capa de aserrín tamizado de aproximadamente 2 mm de espesor.

La humedad se mantuvo constante durante los 27 días posteriores que duró el proceso de germinación, el semillero fue cubierto con plástico blanco de polietileno de invernadero para conservar una temperatura estable y apropiada para la germinación.



Figura 4. Plántulas de *Pinus patula* con 28 días de edad

5.6.2 Sustrato general

Se utilizó la metodología que emplea el vivero agroforestal de Corralextla. Este sustrato está constituido por: peat moss, tierra de monte, perlita y es complementado con enraizador Rootex en una concentración de 0.03% con respecto del volumen total.

Para reducir el riesgo de enfermedades y competencia por presencia de especies herbáceas provenientes de la tierra de monte, esta se sometió a un proceso de solarización, la cual consiste en elevar la temperatura a través del calor emitido por el sol como describe Parra *et al* (2015), adicionalmente la tierra y todos los demás materiales utilizados en la mezcla se desinfectaron con sales cuaternarias a una concentración de 5% mismos que se añadieron directamente en el agua utilizada para hidratar los componentes al momento de mezclarlos.

Antes de iniciar con el proceso de llenado de charola y trasplante; las charolas recibieron dos tratamientos para reducir el error experimental por factores externos. El primero de ellos constó de una desinfección con sales cuaternarias a una concentración de 10% en agua a través de un proceso de inmersión durante cinco minutos.

Por otro lado, para evitar que las raíces de las plantas penetraran los bordes de los tubetes de en las charolas de poliestireno expandido (unicel); pasaron por un proceso de tinción con una solución de sulfato de cobre en concentración de 4 kilos por 100 L. (Martínez Nevárez *et al.*, 2016), reduciendo también de este modo la proliferación de agentes patógenos como algas y líquenes.



Figura 5. Producción artesanal de sustrato base mediante la metodología de Corralextla

5.6.3 Inoculación de fase sólida

Los pesos del sustrato base y la fase sólida de los microorganismos no son un parámetro confiable a priori para sustituir porcentajes directamente debido a que sus propiedades granulométricas, de densidad, humedad y compactación son muy diferentes y variables por lo que para poder considerar entonces el peso como un factor más confiable fue necesario medir el volumen de cada material por separado en su estado ideal de compactación y humedad para después traducirlo a peso.

Se tomó como referencia la capacidad de almacenamiento de un solo tubete, este fue llenado con la mezcla del sustrato base, posteriormente se fue compactado de acuerdo con la metodología de llenado del Vivero Agroforestal de Corralextla hasta obtener el volumen de 170

ml, ese contenido fue pesado en una balanza digital modelo T-fall-BC5004V1. El proceso se repitió con los microorganismos de montaña en fase sólida; se obtuvo lo siguiente

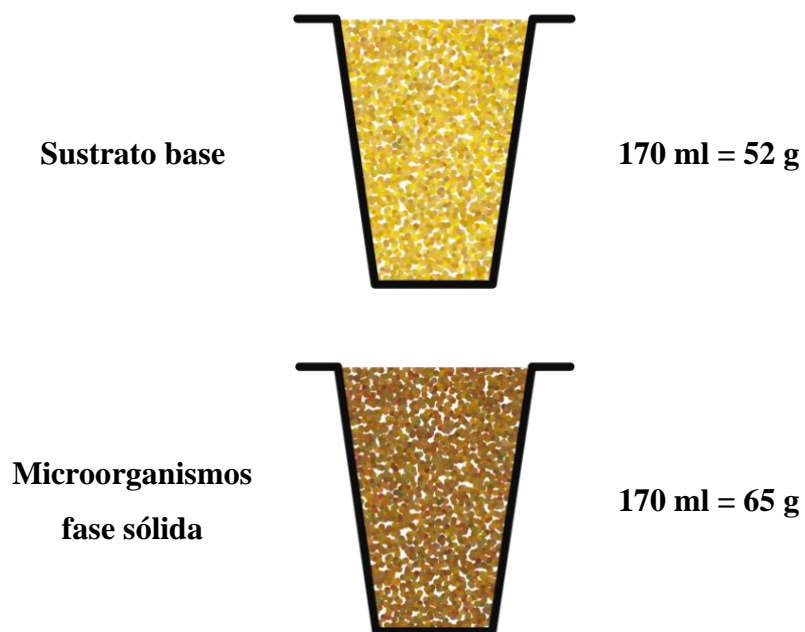


Figura 6. Transformación de volumen (170 ml.) a peso de sustrato y microorganismos previo a la formulación de tratamientos.

Una vez obtenida la conversión de volumen a peso de ambos componentes se procedió a calcular las cantidades en peso necesarias para elaborar los tratamientos utilizando la siguiente fórmula:

$$GN = [(CP)\left(\frac{PV}{100}\right)][(UCH)(RP)]$$

Donde:

GN = Gramaje necesario de microorganismos o sustrato según el porcentaje requerido.

CP = Constante de peso de microorganismos o sustrato equivalente a 175 ml.

PV = Porcentaje de volumen requerido según el tratamiento.

UCH = Unidades o capacetes por charola (*valor constante=77*).

RP = Repeticiones por dosificación (*valor constante=14*).

El valor calculado de todos los porcentajes por tratamiento se muestra a en el siguiente cuadro:

Cuadro 2: Dosificación de microorganismos de montaña por tratamiento según los porcentajes requeridos.

	Material	Porcentaje	Gramaje	Conversión a kg
T_T	Sustrato	100%	56,056 g	56 kg
	Microorganismos	- / -	0 g	0 kg
T₃ y T₆	Sustrato	97%	44,844.8 g	44.8 kg
	Microorganismos	3%	14,014g	14 kg
T₂ y T₅	Sustrato	90%	61,261.2 g	61.2 kg
	Microorganismos	10%	7,007 g	7 kg
T₁ y T₄	Sustrato	80%	54,374.32	54.4 kg
	Microorganismos	20%	2,102.1	2.1

5.6.4 Trasplante

Para prevenir infecciones a nivel del área radicular debido al manejo; las raíces de todas plantas se sumergieron en una solución de agua con .05% de sales cuaternarias además a la solución se le añadió enraizador al 5%. Posteriormente el trasplante se realizó el 5 de julio del 2022, para ello se extrajeron las plantas del almácigo y fueron colocadas completamente al azar en los tubetes de las charolas previamente preparadas con los tratamientos, el día posterior al trasplante fue considerado el día 1 del experimento.



Figura 7. Plántulas de *Pinus Patula* en solución de agua con sales cuaternarias y enraizador previo al trasplante.

Análisis estadístico

La altura de planta (AP) se midió con una regla de acero inoxidable marca Wescott desde el cuello del tallo hasta la parte más alta de la yema apical, el diámetro a la altura de cuello del tallo (DT) se midió con un vernier digital marca Truper modelo. Los pesos húmedos (PHA|PHR) y secos (PSA |PSR) de la parte aérea y de raíz se obtuvieron en una alanza analítica en el laboratorio de las instalaciones del Complejo Regional Norte de la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla (BUAP), para ello fue necesario realizar muestreos destructivos en el periodo final (282 días después del trasplante) estas mismas variables de peso permitieron determinar y analizar la biomasa de las plantas.

Para determinar si existen diferencias estadísticamente significativas entre los tratamientos para las variables: AP, DT, PSA, PSR, PHA y PHR utilizó el procedimiento GLM (modelos lineales generalizados) del paquete estadístico SAS para el diseño de bloques completamente al azar. Posteriormente se realizó también un análisis de comparación múltiple de medias a través de la prueba de Tukey con un nivel de significancia del .05% para determinar qué tratamientos lograron mejores características sobre el tamaño y desarrollo de las plantas. Todo el material gráfico fue programado y generado en el software MATLAB 2023 (b).

Finalmente se aplicó el método de Rueda Sánchez (2010) para obtener los índices de calidad de Dickson y robustez de las plantas para ser comparados entre sí y con otros estudios sobre calidad aplicados a coníferas de clima templado en condiciones de vivero.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En México no existe una metodología o sistema específico para determinar la calidad de planta del género *Pinus* por lo que se utilizaron los parámetros registrados por CONAFOR (2023) para coníferas de clima templado ya que han sido utilizadas para describir otras especies del mismo género, en el siguiente cuadro se muestran los valores correspondientes a la calidad de planta ideal para trasplante a campo.

Cuadro 3. Recomendaciones para una planta de calidad de especies no cespitosas CONAFOR (2023)

Característica	Estándares de calidad
Altura	12 a 25 cm
Diámetro	Mínimo 4 mm
Edad	6 a 12 meses

6.1 Primer momento | 93 días post trasplante

6.1.1 Altura de planta

A los 96 días después del trasplante (7 de octubre de 2022), es decir el primero momento de evaluación del experimento se encontraron tres agrupaciones con diferencias significativas según la comparación múltiple de medias de Tukey (0.05%), siendo T5 el tratamiento que obtuvo una mayor ganancia de altura con una media de 3.9 cm y el único en posicionarse en el primer grupo, seguido de los tratamientos tres, uno y cuatro respectivamente cuyas alturas alcanzaron entre 4.82 y 3.47 cm en el segundo grupo, finalmente los tratamientos que obtuvieron una menor altura fueron Tt, T6 y T2, grupo en el que las medias de altura oscilan entre 4.01 y 3.73.

Cuadro 4. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 93 días después del trasplante.

ALTURAS DÍA 93		
Tratamiento	Media	Agrupación
T5: 10% + MM líquidos	3.9714 cm	A
T3: 20%	3.8214 cm	AB
T1: 03%	3.6443 cm	AB
T4: 03% + MM líquidos.	3.4700 cm	AB
Tt: convencional	3.3971 cm	B
T6: 20% + MM líquidos.	3.3629 cm	B
T2: 10 %	3.3500 cm	B

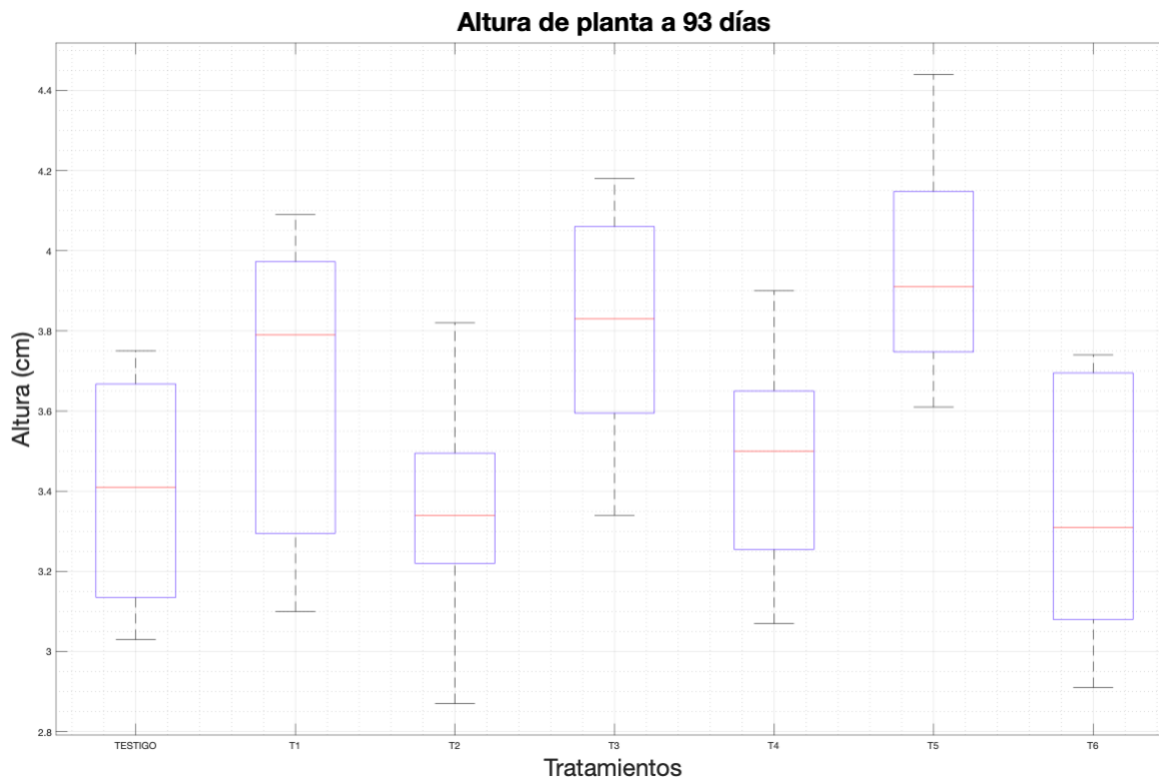


Figura 8. Diagrama de caja de la variable altura de planta (AP) a los 93 DDT.

En la Figura 8, se observa que el tratamiento cinco en efecto posee una media superior a las del resto, por otro lado, a pesar de que el T1 se postula en el segundo lugar de la agrupación AB es el tratamiento con mayor dispersión entre sus repeticiones, lo que refiere que pocos de estos individuos son los que tuvieron una altura notablemente mayor respecto de las otras plantas por lo que se puede afirmar que las alturas en este tratamiento fueron las menos uniformes hasta ese momento de la investigación. El T2 posee la menor variación entre alturas por lo que engloba las unidades más uniformes en altura a nivel poblacional, pero con menor crecimiento.

6.1.2 Diámetro de tallo a la altura de cuello

A través de la comparación múltiple de medias de Tukey (0.05) se encontraron 4 agrupaciones diferentes para la variable diámetro, enlistadas a continuación.

Cuadro 5. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 93 días del experimento para la variable DT.

Tratamiento	Media	Agrupación
T3: 20%	0.77571 mm	A
T1: 03%	0.73857 mm	AB
T2: 10%	0.73286 mm	AB
T5: 10% + MM líquidos	0.62000 mm	BC
Tt: Convencional	0.59714 mm	C
T4: 03% + MM líquidos	0.55714 mm	C
T6: 20% + MM líquidos	0.55429 mm	C

Se puede observar que el tratamiento que logró obtener un mayor grosor del tallo a la altura del cuello fue el tratamiento tres (T3), único en su agrupación, seguido de los tratamientos uno y dos, es decir, los tres que fueron tratados únicamente con el inóculo sólido en el sustrato fueron los más eficientes para la evaluación en el primer momento. Por otro lado, los tratamientos con menor altura fueron Tt, T4 y T6.

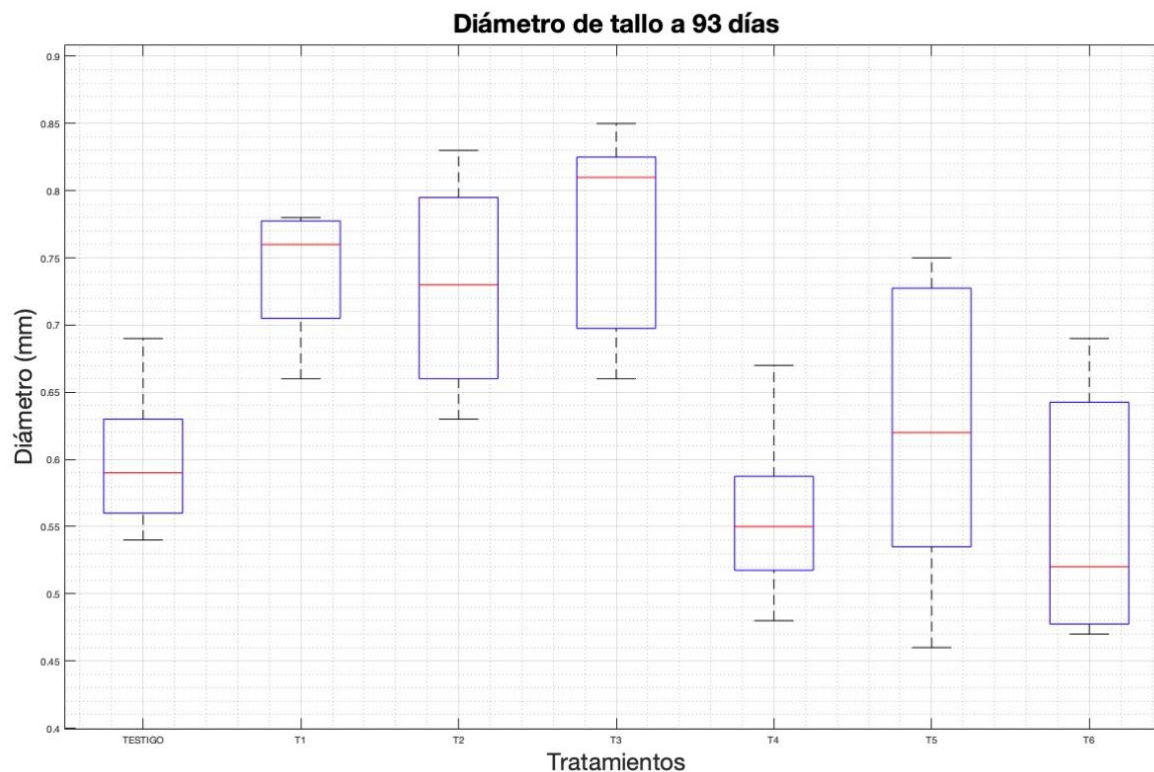


Figura 9. Diagrama de caja de la variable diámetro de tallo a la altura de cuello (DT) en el primer periodo de evaluación.

El tratamiento tres posee la mayor altura promedio en su población, aunque también puede observarse una mayor dispersión de su distribución en el segundo cuartil, con lo que se entiende que fueron pocos los individuos que lograron un mayor grosor, a pesar de ello, para este momento de la investigación se postuló como el mejor tratamiento.

De los tratamientos seis tratamientos con microorganismos los tratamientos uno y cuatro correspondientes a 03% de inóculo al sustrato fueron los que lograron una población más uniforme para diámetro a la altura de pecho pues la dispersión de datos es menor en comparación al resto.

6.2 Segundo momento | 196 días post trasplante

6.2.1 Altura de planta

Para el segundo momento, que corresponde a 18 de enero, de 2023 también se describieron tres grupos con diferencias significativas (A|AB|B) donde el tratamiento que consiguió alturas promedio más altas fue el tratamiento 1 con 4.71 cm, en el segundo grupo se encuentran T3 y T5 con alturas promedio muy similares, finalmente los tratamientos de menor altura fueron T2, Tt, T6 y T4 respectivamente.

El tratamiento uno (T1) logró un incremento en la media de 1.0671 cm, con lo que se catalogó como el tratamiento con mayor crecimiento de todos a los 196 días del trasplante, mientras tanto; el T5 descrito en el momento anterior como el de mayor altura descendió al segundo lugar del segundo grupo en la lista pues solo logró un crecimiento de 0.5614 sobre la media registrada a los 92 días del experimento.

Cuadro 6. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 196 días del experimento para la variable altura.

Tratamiento	Media	Agrupación
T1: 03%	4.7114 cm	A
T3: 20%	4.3014 cm	AB
T5: 10% + MM líquidos	4.3000 cm	AB
T2: 10%	4.0986 cm	B
Tt: Convencional	4.0143 cm	B
T6: 20% + MM líquidos	3.7614 cm	B
T4: 03% + MM líquidos	3.7343 cm	B

En la figura 10 se observa que el tratamiento tres (T3) fue el que tuvo menos dispersión entre sus repeticiones y catalogó como el primer lugar de la segunda agrupación de la CMM de Tukey, mientras que el tratamiento 4 (T4) pasó del cuarto lugar en la lista al último con un crecimiento de apenas 0.2643 cm, por otro lado, el tratamiento testigo (Tt) se mantuvo en su misma posición ganando 0.6172 cm desde la observación anterior.

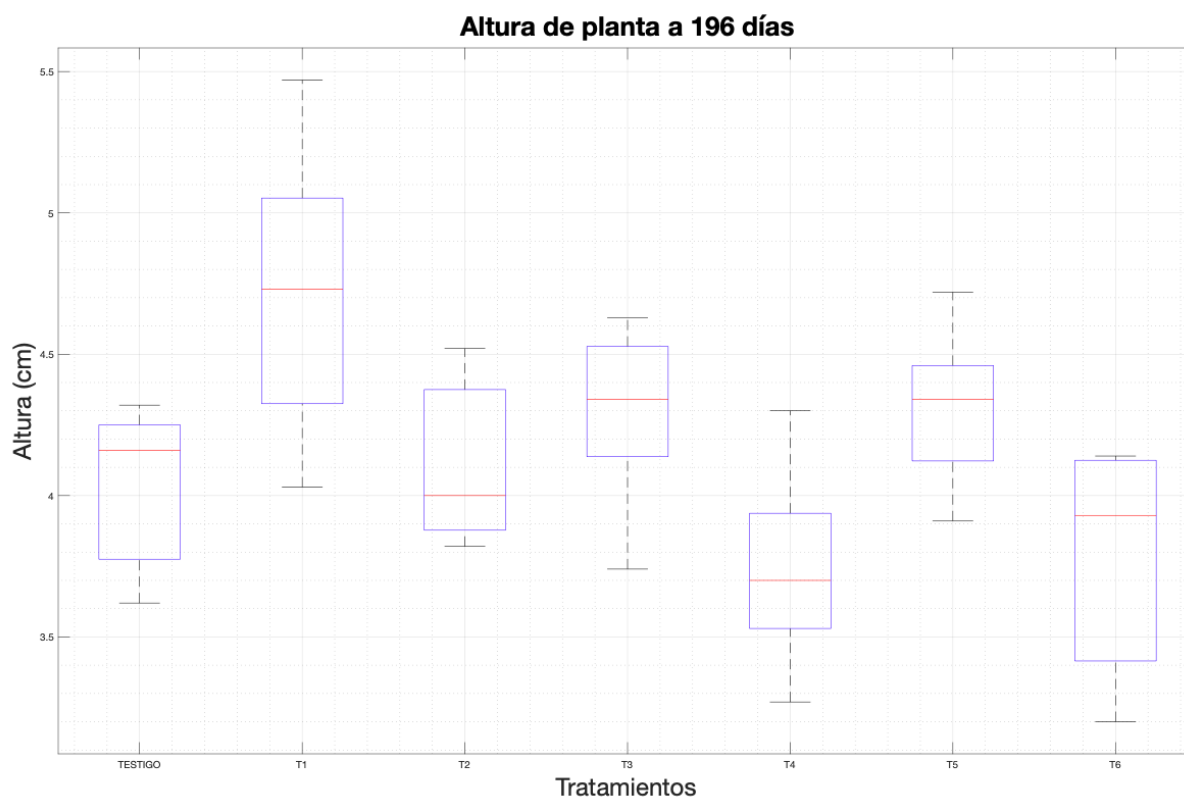


Figura 10. Diagrama de caja de la variable altura a 196 DDT.

A pesar de los incrementos de altura de planta en todos los tratamientos, las plantas no lograron el tamaño que corresponde a una planta de 196 días de edad, esto pudo suceder debido a factores ambientales externos ya que según la Comisión Nacional de Prevención de Desastres (2022) durante el periodo de septiembre de 2022 a mayo de 2023 se registraron alrededor de 50 frentes fríos, con precipitaciones mensuales totales inferiores en comparación de los 10 años anteriores CONAGUA (2023). Además de que los microorganismos se ven afectados con temperaturas bajas como las que se registran en el invierno de las regiones templadas haciendo que los hongos y bacterias del ambiente edáfico inicien un proceso de dormancia.

6.2.2 Diámetro de tallo a la altura de cuello

Se definieron tres grupos de eficiencia mediante la comparación múltiple de medias de Tukey con 0.05% de significancia, en el grupo A solo clasificó el T1, el grupo AB fue conformado T3, T2, T5, Tt y T4 respectivamente, finalmente en el grupo B solo se enlistó T6 como el menos eficiente de todos.

Cuadro 7. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 196 DDT variable diámetro de tallo (DT).

Tratamiento	Media	Agrupación
T1: 03%	0.91714	A
T3: 20%	0.89571	AB
T2: 10%	0.89286	AB
T5: 10% + MM líquidos	0.87857	AB
Tt: Convencional	0.82857	AB
T4: 03% + MM líquidos	0.81857	AB
T6: 20% + MM líquidos	0.79000	B

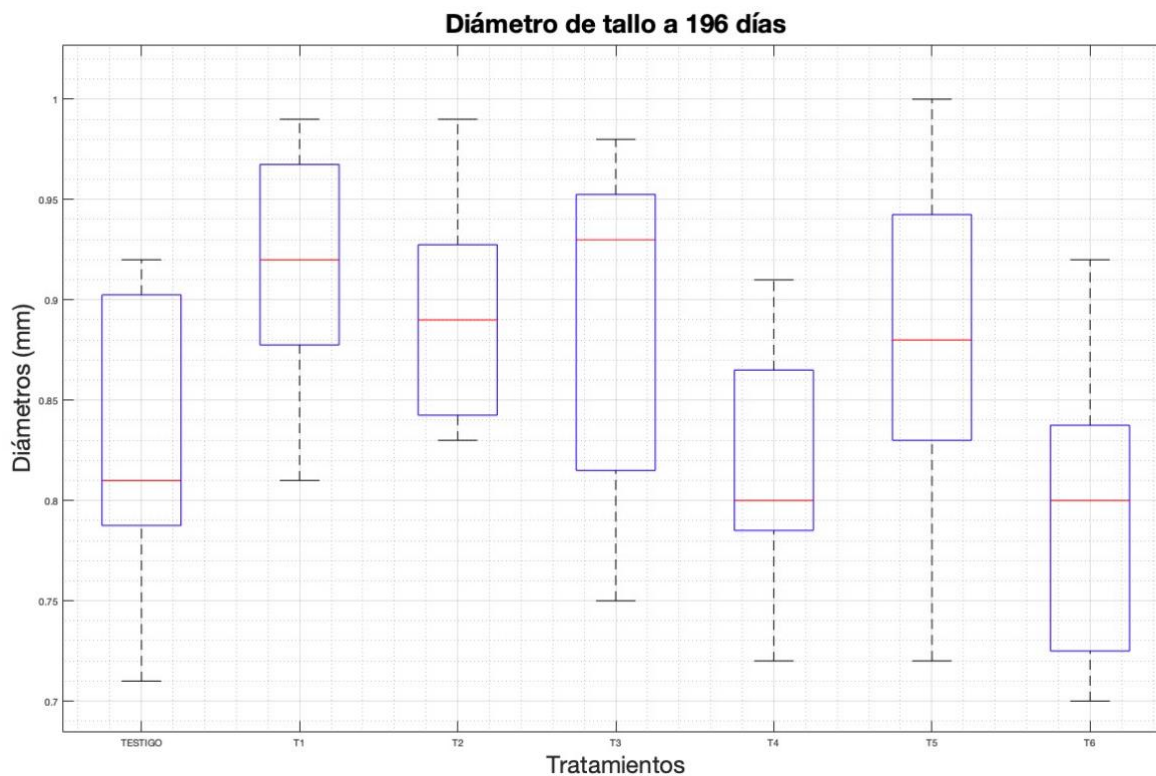


Figura 11. Diagrama de caja de la variable diámetro a la altura del cuello en el segundo periodo de evaluación.

En la figura anterior se observa que los mejores tres tratamientos para esta variable los mejores tratamientos fueron 1, 2 y 3, es decir aquellos que cuentan únicamente con inoculación de MM sólidos al sustrato pues sus medias fueron las más altas, en la clasificación de CMM sus posiciones por nivel eficiencia por su variabilidad son: en primer lugar, T1 con una media de 0.91714 mm, seguido de T3 con 0.89571 mm y T3 con 0.89286 mm y corresponden a los grupos A|AB|AB respectivamente.

6.3 Tercer momento | 282 días post trasplante

6.3.1 Altura

Para el tercer momento de evaluación el Servicio Meteorológico Nacional (2023) continuó registrando frentes fríos, además de sequías atemporales intermitentes (CONAGUA, 2023) por lo que las condiciones climáticas para un buen desarrollo fisiológico de las plantas no fueron las más adecuadas, a pesar de ello el ligero incremento de temperatura típico de los meses de febrero y marzo influyeron sobre la actividad de los microorganismos en fase sólida del sustrato pues sus condiciones ambientales comenzaron a ser más favorables. Este hecho se vio reflejado con el crecimiento acelerado que se registró en este periodo para los tratamientos inoculados.

En este periodo existieron altas diferencias significativas entre los tratamientos, pues, mediante la comparación múltiple de medias de Tukey con un nivel de significancia de 0.05% se encontraron cinco agrupaciones diferentes (A| B | C | CD | D).

Cuadro 8. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 282 días del experimento para la variable altura.

Tratamiento	Media	Agrupación
T2: 10%	9.8429	A
T1: 03%	7.5643	B
T5: 10 + MM líquidos	6.2729	C
T3: 20 %	6.1800	C
T4: 03% + MM líquidos	5.5143	CD
Tt: Convencional	4.9057	D
T6: 20% + MM líquidos	4.6171	D

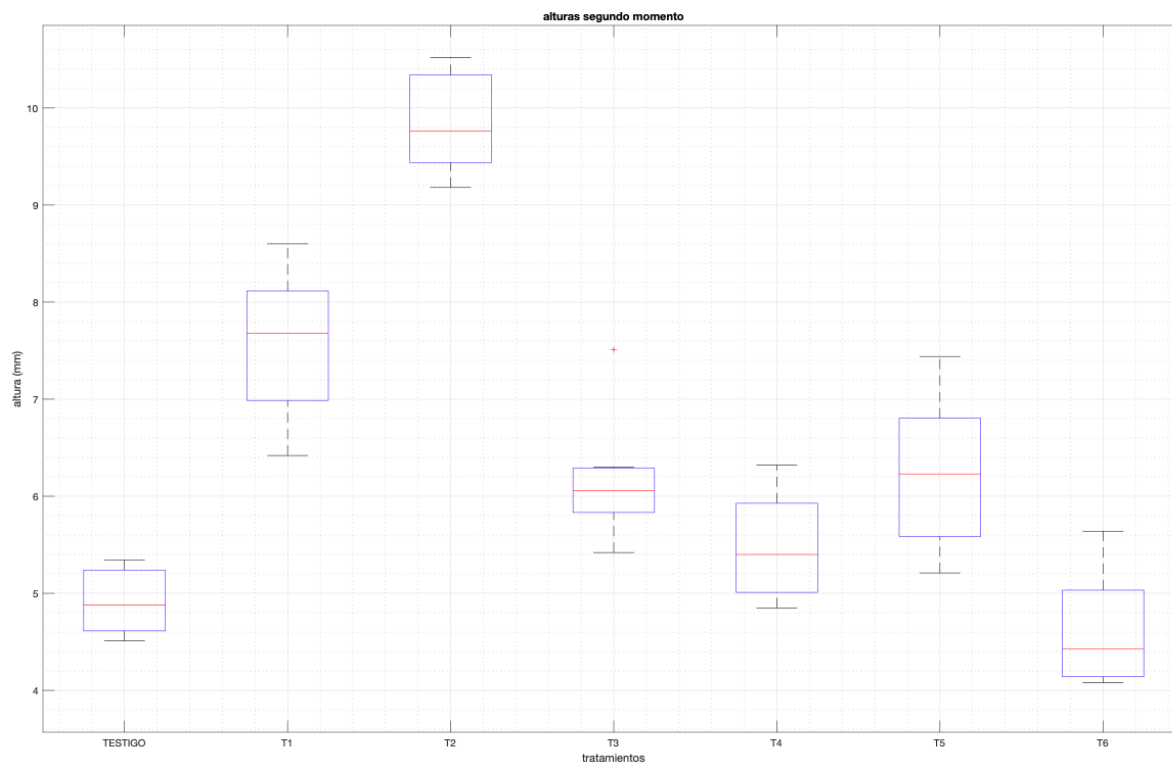


Figura 12. Diagrama de caja de la variable altura en el tercer periodo de evaluación.

El T2 correspondiente a inóculo sólido de MM de 10% sin aplicaciones de microorganismos en fase líquida se postuló como el mejor tratamiento para esta variable, logrando un crecimiento de 58.35% respecto del registro anterior con una altura media de 9.8429, siendo así el único tratamiento del bloque 1, mismo que posee una altura mayor de 2.2 centímetros en comparación al tratamiento 1 (T1), es decir el siguiente más eficiente en la lista de CMM.

Dos de los tres tratamientos inoculados con microorganismos en fase sólida sin aplicaciones líquidas T1 y T2 fueron los más eficientes de todo el experimento demostrando que dosificaciones inferiores al 20% del volumen total del sustrato brindan mejores resultados para la variable altura en plantas producidas en contenedores, en condiciones de vivero.

Se puede observar también que a pesar de contar con fertilizantes de liberación controlada y aspersiones regulares de fertirriego el Tt solo logró superar a uno de los seis tratamientos postulándose así en penúltimo lugar. La ausencia de microorganismos edáficos que promovieran

su crecimiento a través de relaciones simbióticas a nivel radicular pudo ser una de las principales razones por las que su desempeño fue tan bajo.

Si los tratamientos 1, 2 y 3 son observados como un grupo independiente y los tratamientos 4, 5 y 6 como otro; resulta muy interesante observar que entre ellos las dosificaciones del 10% fueron las más eficientes colocándose como primeros lugares para sus respectivos grupos, seguidos de los tratamientos 1 y 4 cuyo porcentaje de inoculación equivale al 03% y finalmente en el tercer puesto se colocarían los tratamientos con los mayores proporciones de inoculación, es decir; los que corresponden al 20% de volumen sustituido en el sustrato (Fig. _).

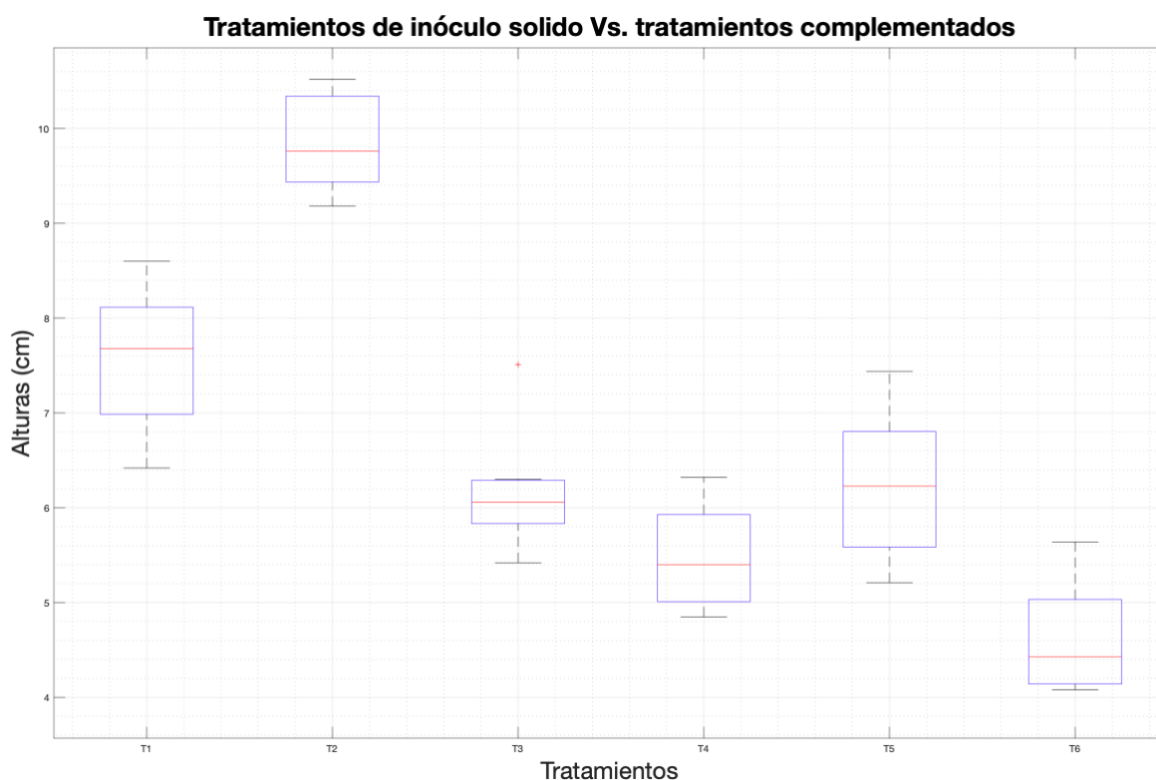


Figura 13. Relación de similitud de comportamiento entre las dosificaciones iguales de microorganismos de montaña

Por otro lado, el uso de MM de montaña en fase líquida demostró ser contraproducente para este sistema de producción (charolas de poliestireno en condiciones de vivero), pues, los tres tratamientos que constaron de estas aplicaciones fueron los menos eficientes de todo el

experimento para la variable altura de planta. Sin embargo, se necesitan más pruebas para determinarlo debido a que bajo otras condiciones la aplicación líquida de microorganismos de montaña ha demostrado ser un buen promotor de crecimiento y desarrollo, tal como el caso de Campo Martínez que en 2010 obtuvo mejores resultados de crecimiento en cultivo de acelgas utilizando aplicaciones regulares de microorganismos benéficos.

6.3.2 Diámetro de tallo a la altura de cuello

Para el tercer momento 6 de los 7 tratamientos no demostraron diferencias significativas, por lo que únicamente se obtuvieron dos agrupaciones mediante la prueba de Tukey con nivel de significancia de 0.05% (A | B).

Cuadro 9. Agrupación de tratamientos por nivel de significancia según la prueba de Tukey para comparación múltiple de medias a los 196 días del experimento en la variable DT.

Tratamiento	Media	Agrupación
T2: 10%	1.47429	A
T1: 03%	1.23724	B
T6: 20% + MM líquidos	1.13714	B
T3: 20%	1.13143	B
T4: 03% + MM líquidos	1.11571	B
T5: 10% + MM líquidos	1.11143	B
Tt: Convencional	1.07857	B

Siendo así que el mejor tratamiento del experimento fue el tratamiento 2 (T2) con una media de 1.47429, cabe mencionar que a pesar de las escasas diferencias significativas entre el resto de los tratamientos; el testigo (Tt) fue el menos eficiente de todos.

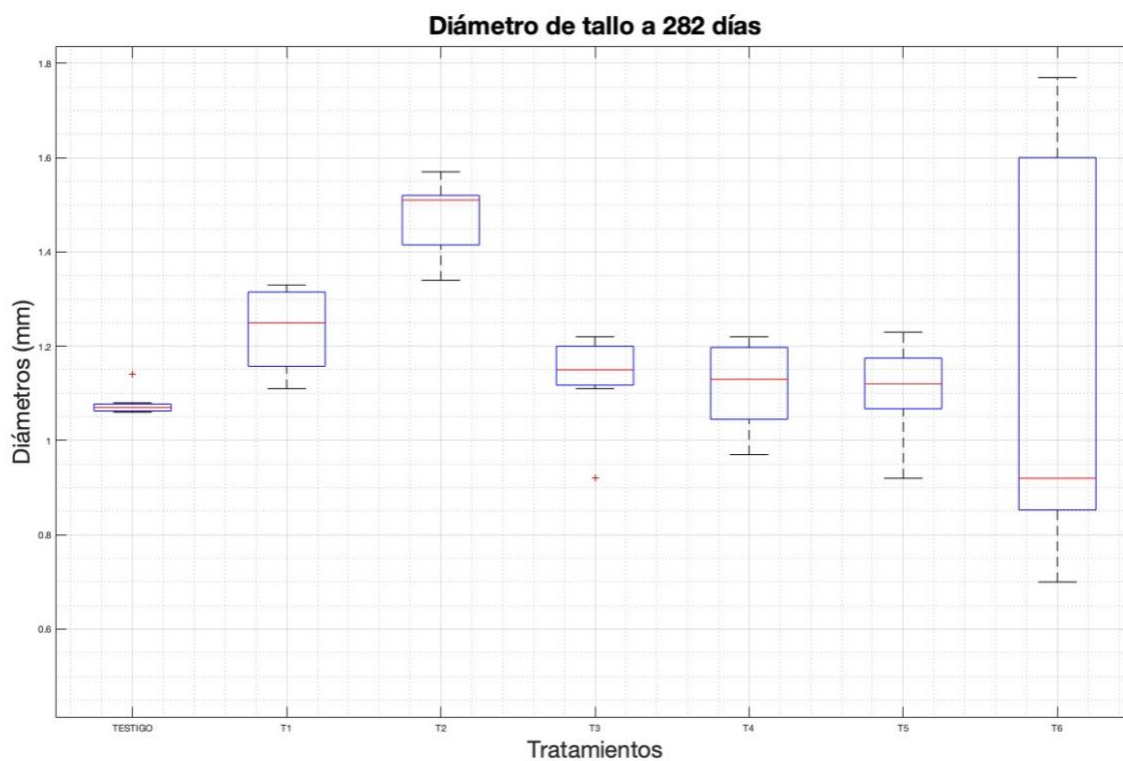


Figura 14. Diagrama de caja de la variable diámetro a la altura del cuello en el tercer periodo de evaluación.

El mayor grosor medio de tallo a la altura de cuello de las plantas está registrado en el tratamiento 2 (T2), en el tratamiento testigo (Tt) se observaron datos mínimamente dispersos, lo que indica que la población es homogénea aunque una de las más bajas, de lado contrario se encuentra el tratamiento seis (T6) con la menor altura y la dispersión de datos más amplia de todas mientras que se observa que los tratamientos 3, 4 y 5 son los más similares tanto en dispersión de datos como en alturas promedio.

6.4 Índice de robustez o coeficiente de esbeltez

Bernaola *et al* (2015) afirma que el índice de robustez indica la vigorosidad de la planta y está enfocado principalmente en el tallo, según Rueda (2012) el valor ideal para una planta de buena calidad según este parámetro debe ser menor a seis, aunque es poco específico por lo que Muños-Flores (2005) y Sáenz *et al* (2010) proponen rangos diferentes para determinar el índice de robustez en tres grupos: calidad alta < 6 | calidad media 6.1 a 8.0 | calidad baja > 8.

Se evaluó el IR poblacional y por tratamientos del experimento para determinar así la calidad en consideración de los parámetros anteriores.

Cuadro 10. Determinación de calidad de planta según el índice de robustez o esbeltez.

Observación	IR	Rango/Calidad
Poblacional	4.276095519	Alta
Tt: Convencional	5.695331887	Alta
T1: 03%	5.433869447	Alta
T2: 10%	7.145926155	Media
T3: 20%	6.192807448	Media
T4: 03% + MM líquidos	5.609909046	Alta
T5: 10% + MM líquidos	6.204274369	Media
T6: 20% + MM líquidos	5.004441226	Alta

En el cuadro _. Se observa que la calidad poblacional según el índice de robustez es alta, sin embargo, al analizar esa misma población, pero segmentada entre los 7 tratamientos se encuentra que los tratamientos 2, 3 y 5 clasifican como calidad media. Cabe mencionar que estos valores son aplicables preferentemente a plantas con crecimiento normal ininterrumpido.

6.5 Índice de calidad de Dickson

El índice de calidad de Dickson es un parámetro que considera características morfológicas para describir numéricamente la calidad de una planta según estándares de calidad previamente establecidos. Los rangos sugeridos para determinar la calidad por Rueda Sánchez (2012) son los siguientes: Alta ≥ 0.5 | media 0.2 a 0.4 | baja < 2.0 .

Cuadro 11. clasificación de calidad de planta por su índice de calidad de Dickson.

Observación	IR	Rango/Calidad
Poblacional	0.1907151819	Baja
Tt: Convencional	0.2097402177	Media
T1: 03%	0.1982113737	Baja
T2: 10%	0.1933848698	Baja
T3: 20%	0.1610692128	Baja
T4: 03% + MM líquidos	0.1694322126	Baja
T5: 10% + MM líquidos	0.2194094251	Media
T6: 20% + MM líquidos	0.1837589618	Baja

A pesar de que la calidad de Dickson media poblacional es baja existen dos tratamientos que se consideran de calidad media (Tt y T5).

6.6 Biomasa aérea

El índice de lignificación es la relación entre el peso húmedo y peso seco de la planta, según Prieto Ruíz *et al* (2012) es un condicionante que mejora el prea condicionamiento de las plantas, debido a que el tallo es más resistente a medida que posea más lignina en sus tejidos.

La biomasa seca está directamente relacionada con la supervivencia de plantas en campo y su resistencia contra daños mecánicos ya que es un referente de lignificación de la planta. En la siguiente figura se muestra la biomasa en húmedo y seco que generaron las plantas del experimento, se observa que el T2 es superior en ambos casos.

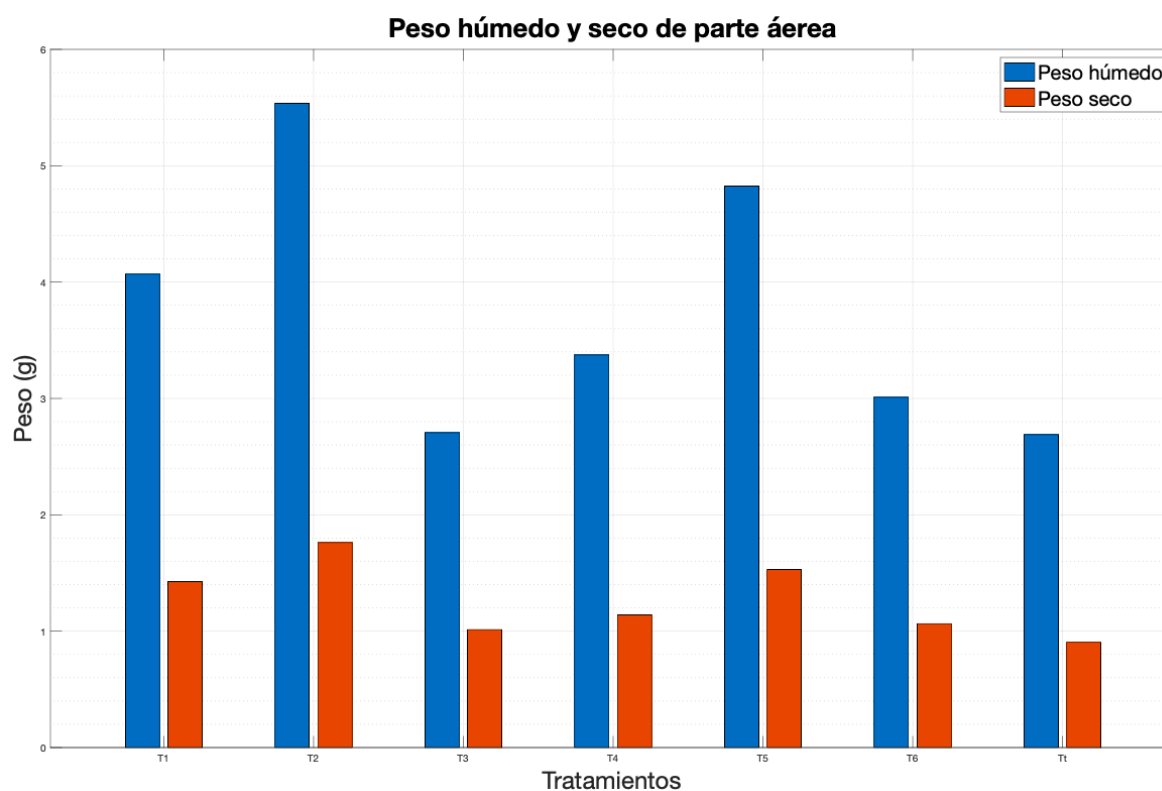


Figura 15. Gráfica de barras de la relación del peso húmedo y seco de la biomasa aérea.

Al ser analizadas la parte aérea y radicular por separado es posible determinar que en esta variable la lignificación es mayor en el tallo de la planta pues naturalmente la zona aérea es la que posee mayor concentración de este compuesto.

6.7 Biomasa radicular

Autores como Castro Barquero (2020) afirman que el desarrollo del área radicular de las plantas no está relacionado únicamente con el volumen de la parte aérea de la planta ya que cuando los nutrientes necesarios para cumplir sus requerimientos se encuentran cerca; las raíces crecen en menor medida en comparación de aquellas que necesitan extenderse para buscarlos. Es decir, un mayor desarrollo de biomasa radicular no representa precisamente una planta mejor nutrida.

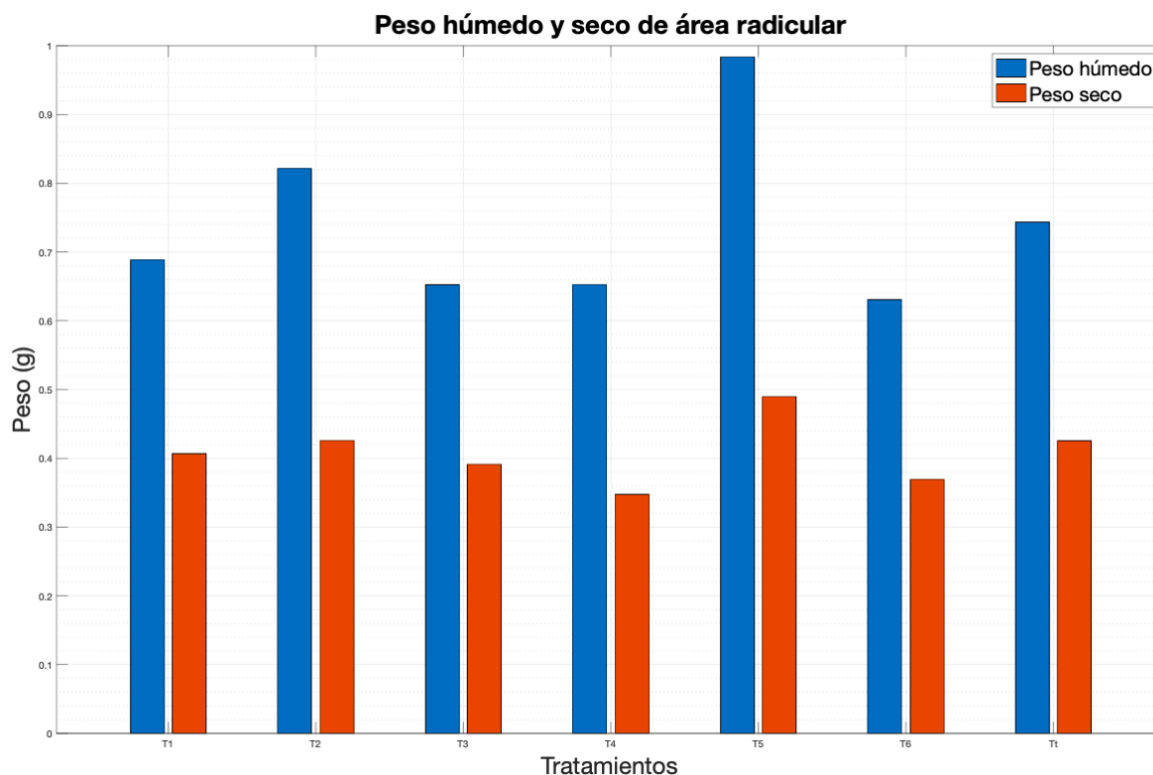


Figura 16. Gráfica de barras de la relación del peso húmedo y seco de la biomasa radicular a los 282 días después del trasplante.

VII. CONCLUSIONES

Tolome Romero (2004) infiere que el conjunto de condiciones ambientales es uno de los principales factores que afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas. Esto significa que cuando no son ideales el genotipo del material biológico no es capaz de expresar las mejores características fenotípicas, en casos extremos incluso es difícil asegurar la supervivencia de los individuos en campo.

Es ahí donde radica la importancia de un buen control en las actividades de un vivero, porque a pesar de depender en gran medida del clima es de suma importancia brindarles a las plantas las mejores condiciones posibles para contrarrestar estímulos negativos que pudieran afectarles, esto se logra mediante una buena planeación y un adecuado manejo de fertilización, riego y control de plagas y enfermedades.

Estudiar el experimento en tres momentos diferentes permitió observar y describir de mejor manera la interacción de los microorganismos de montaña con las plantas de *Pinus patula* L. pues incluso en la temporada menos prolífica hubo diferencias significativas entre los tratamientos y es evidente que si existieron interacciones biológicas planta-microorganismos en algunos tratamientos para el último periodo de evaluación. De manera general y a priori se obtuvo lo siguiente:

- El desarrollo de las plantas en todos los tratamientos durante las dos primeras observaciones fue medianamente regular.
- Los microorganismos de montaña son capaces de generar buenos resultados reflejados en la calidad de planta sobreviviendo dentro de un contenedor de pequeñas dimensiones durante al menos 9 meses únicamente con suministros de agua y los materiales inertes del sustrato.
- Todos los tratamientos (incluyendo el testigo) fueron capaces de continuar generando crecimiento significativo en altura (AP) y diámetro de tallo (DT) en la época más seca y fría del año 2022.

- Los tratamientos con microorganismos fueron los más rápidos y eficientes para promover el desarrollo de las plantas cuando las condiciones ambientales fueron más favorables con la llegada de la primavera a pesar de contar características muy similares como población total.
- Las aplicaciones regulares de microorganismos de montaña en fase líquida no son recomendables en sistemas de producción donde el sustrato se encuentra aislado de cualquier ambiente edáfico donde puedan disolverse o lixiviar.

A continuación, se muestran los progresos de altura registrados en los tres momentos de la investigación para cada tratamiento, a pesar de las diferencias significativas en los diferentes lapsos, se puede observar que el crecimiento entre los periodos uno y dos es muy bajo por efecto de las condiciones climáticas atípicas mencionadas anteriormente. En el momento tres que abarcó desde el día 197 al 282 post trasplante se registró la mayor diferenciación de altura entre las plantas respecto de la observación anterior.

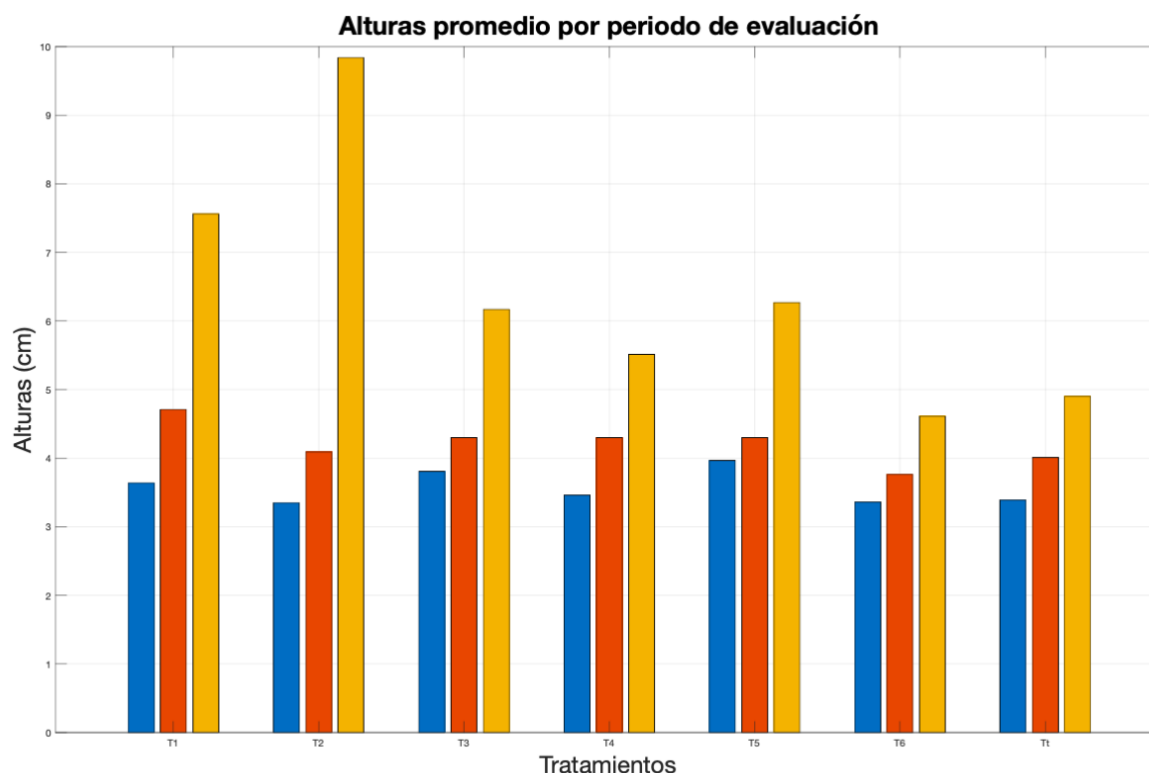


Figura 17. Altura promedio de los tratamientos a lo largo de los tres periodos de observación.

El inicio de la temporada primavera-verano fue uno de los principales promotores de crecimiento debido a que bajo esas condiciones climáticas los microorganismos de montaña y las plantas aceleran sus actividades fisiológicas.

El tercer momento es donde se define que efectivamente la inoculación de microorganismos de montaña es una alternativa a implementar en el apartado nutricional de los sistemas de producción de plantas forestales en condiciones de vivero, pues la mayoría de los tratamientos propuestos en el presente proyecto lograron medias muestrales de crecimiento mayores a las que se obtuvieron con el tratamiento testigo, siendo los dos mejores el tratamiento 2 y 1 respectivamente

Tras 282 días ninguno de los tratamientos logró la altura recomendada por CONAFOR para plantas con hábitos de crecimiento no cespitoso de clima templado, sin embargo este hecho no determina que la planta es inutilizable para cualquier tipo de plantación, programa de reforestación o sistema de producción forestal debido a que la edad óptima recomendada se considera desde los 6 hasta los 12 meses de edad, por lo que suponiendo que el crecimiento sigue comportándose de la misma manera durante el periodo de primavera-verano de 2023 es factible que las plantas logren alcanzar la altura necesaria para ser trasplantadas a su sitio definitivo en campo.

La dosificación de inóculo de microorganismos de montaña más efectiva para el sistema de producción de *Pinus patula* L. en condiciones de vivero en esta región es del 10% sustituido sobre el volumen total del sustrato base, adicionando únicamente con riego, sin necesidad de complementar la nutrición con fertilizantes externos.

Por otro lado, la producción de volumen tan alto como el de 10% puede generar complicaciones a los productores por el manejo y tiempo de reproducción de cepas por lo que una excelente alternativa es disminuir ese porcentaje a 3% sobre el volumen total del sustrato pues ha sido el segundo tratamiento con mejor desempeño en este estudio.

Dicho así, sería interesante continuar esta línea de investigación con nuevas pruebas que ayuden a determinar la eficiencia de los microorganismos de montaña sustituyendo diferentes porcentajes de inoculación entre el 3% y 10% para complementar y respaldar la riqueza de los aprendizajes descritos en este experimento.

Finalmente, con los resultados generados de este experimento se concluye que se acepta la hipótesis nula que dio inicio a la investigación porque las relaciones simbióticas de más de uno de los tratamientos tuvieron efectos positivos sobre las características de crecimiento y desarrollo de las plantas de *Pinus patula* L.

También se acepta la hipótesis específica a) debido a que la mayoría de los tratamientos propuestos lograron mejorar los estándares de calidad de la planta en comparación con los métodos de fertilización convencionales en el manejo del vivero de Corralextla Productores Agrícolas S. P. R. de R. L.

Por último, se rechaza la hipótesis específica b) debido a que la aplicación de microorganismos de montaña en fase líquida fue aparentemente perjudicial ya que de los seis tratamientos implementados con microorganismos los tres que fueron complementados con este producto líquido fueron los más deficientes a pesar interactuar con el mismo cultivo y haber contado con las mismas dosificaciones de inóculo, condiciones climáticas y riego.

VIII. BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

- Acuña, F. J., Archila, O. M., Baustos Ballén, O. E., Contreras Gutiérrez, L., Díaz Gómez, E. O., Espinoza García, G., Fajardo Medina, G. E., Forero Barrera, A. E., Forero Barrero, G. I., Ospina Manchado, J. E., Ramírez Caro, C., Riveros Páez, M. V., Sánchez, J. M., Téllez Iregui, G. y Torres Serrano, C. X. (2004). Manual Agropecuario “Tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente”. Fundación Hogares Juveniles Campesinos. Lexus Editores.
- Aguilera Rodríguez, M., Aldrete, A., Martínez Trinidad, T., Ordaz Chaparro y Víctor Manuel. (2016). Producción de *Pinus pseudostrobus* Lindl. Con sustratos de aserrín y fertilizantes de liberación controlada. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 7(34), 7-20.
- Benitez, G. Equihua, M. y Pulido Salas M. T. (2002). Diagnóstico de la situación de viveros oficiales de Veracruz y su papel para apoyar programas de reforestación y restauración. Revista Chapingo, 8(1), 5-12.
- Bernoala Pacuar, R. M., Pimienta Barrios, E., Gutiérrez Gonzales, P., Ordaz Chaparro, V. M., Santiago, G. A. y Salcedo Pérez, E. (2015). Efecto del volumen del contenedor en la calidad y supervivencia de *Pinus hartwegii* Lindl. en sistema doble-trasplante. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 6(28), 174-181.
- Campo Martínez, A. del P., Acosta Sánchez, R. L., Morales Velasco, S. y Alonso Prado, F. (2014). Evaluación de microorganismos de montaña (MM) en la producción de acelga en la Meseta de Popayán. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 12(1), 79-87.
- Castillo Román, J. (2012). Atlas de Riesgos del Municipio Zacatlán, Puebla. p. 28. Secretaría de Desarrollo Social y R & C Constructores S.A. de C.V.
- Castro Barquero, L., Murillo Roos, M., Uribe Lorío, L. y Mata Chinchilla, R. (2015). Inoculación al suelo con *Pseudomonas fluorescens*, *Azospirillum oryzae*, *Bacillus subtilis* y microorganismos de montaña (MM) y su efecto sobre un sistema de rotación soya-tomate, bajo condiciones de invernadero. Agronomía Costarricense. 39(3), 21-36.
- CNES. Centre National d'Études Spatiales. (2020). Google Maps.

- Comisión Nacional de Prevención de Desastres. (2022). Ya comenzó la temporada de frentes fríos 2022-2023.
- Comisión Nacional del Agua y Coordinación Nacional del Servicio Meteorológico Nacional. (2022). Proyecto de base de datos climatológicos. 0021107, Zacatlán, Zacatlán.
- Comisión Nacional del Agua (CONAGUA). (2023). Monitor de sequía en México al 31 de octubre de 2023.
- Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). (2023). Manual de restauración forestal. 3ª edición.
- De Jesús Albino, F., Ignacio Hernández, R., Rodríguez Trejo, D. A. y Mohedano Caballero, L. (2021). Calidad de planta de *Quercus rugosa* Née en vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 12(67), 147-167.
- Dickson, A., Leaf, A. and Hosner, J. F. (1960). Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. For. Chron. 36, 10-13.
- Escamilla Hernández, N. (2020). Propagación de *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. enraizado por estacas. Tesis doctoral. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México.
- García de Salamone, I. E. (2001). Microorganismos del suelo y sustentabilidad de los agroecosistemas. Revista argentina de microbiología, 43(1), 1-3.
- García Amaro, E. (2004). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Instituto Nacional de Geografía. UNAM.
- González Orozco, M. M., Prieto Ruiz, J. A., Aldrete, A., Hernández Díaz, J. C., Chávez Simental, J. A. y Rodríguez Laguna, R. (2018). Raw sawdust substrates and fertilization in the plant quality of *Pinus cooperi* Blanco seedlings grow at the nursery. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 9(48), 203-225.
- Gutiérrez García, J. V., Olvera España, M. R., Rodríguez Trejo, D. A., Aldrete, A., Cibrián Tovar, D., Rodríguez Méndez, C. y Castro Zavala S. (2016). Diagnóstico de la calidad del agua en los viveros forestales de México. 8(16), 123-139.

- Hernández Zarate, L., Aldrete, A., Ordaz Chaparro, V. M., López Upton, J. y López, M. A. (2014). Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb. En vivero influenciado por diferentes mezclas de sustrato. *Agrociencia*. 48(6), 627-637.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía. (2010). Compendio de información geográfica municipal 2010, Zacatlán, Puebla.
- Maldonado Benítez, K. R., Aldrete A., López Upton, J., Vaquera Huerta, H. y Cetina Alcalá, V. M. (2011). Producción de *Pinus gregii* Englem. En mezclas de sustrato con hidrogel y riego en vivero. *Agrociencia*, 45(3), 389-398.
- Martínez Nevárez, L. E., Sarmiento López, H., Sigala Rodríguez, J. A., Rosales Mata, S. y Montoya Ayón, J. B. (2016). Respuesta a la inoculación inducida de *Russula delica* Fr. En plantas de *Pinus engelmannii* Carr. En vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 7(33), 108-117.
- Mayer, J., Scheid, S., Widmer, F., Fließbach, A. & Oberholzer H-R. (2010). 'How effective are microorganisms (EM)'? Results from a field study in temperate climate. *Applied Soil Ecology*. 46(2), 230-239.
- Moctezuma López, G. y Galicia Luis, C. A. (2018). PIB FORESTAL. *Revista Mexicana de Agronegocios*. 42, 906-917.
- Montaño Arias, N. M., Sandoval Pérez, A. L., Camargo Ricalde, S. L., y Sánchez Yáñez, J. M. (2010). Los microorganismos: pequeños gigantes. *Ciencia y Cultura*. 17(77), 15-23.
- Morales Santos, M. E. (2021). La biología de los microorganismos. *Archivo General del Estado de Oaxaca*.
- Moreno Calles, A. I., Toledo, V. M. y Casas, A. (2013). Los Sistemas Agroforestales Tradicionales de México: Una aproximación biocultural. *Botanical Sciences*. 91(4), 375-398.
- Muñoz Flores, H. J., Sáenz Reyes, J. T., Coria Avalos, V. M., García Magaña, J. de J., Hernández Ramos, J. y Manzanilla Quijada, Gyordy Eduardo. (2015). Calidad de planta en el vivero La Dieta, Municipio Zitácuaro, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 6(27), 78-98.
- Navarro, M. J., del Campo, A. D. y Cortina, J. (2006). Factores que afectan al éxito de una repoblación y su relación con la calidad de la planta. En: Cortina, J.,

- Peñuelas, J. L., Puértolas, J., Vilagrosa, A. y Savé, R. (2006). Calidad de planta forestal para la restauración en ambientes mediterráneos. Estado actual de conocimientos. Organismos Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid, España. 31-46.
- O'Reilly, C., Keane, M. y Morrissey, N. (2002). The importance of plant size successful forest plantation establishment. COFORD. Reproductive material. 5(1), 5.
- Orozco Gutiérrez, G., Muñoz Flores, H. J., Rueda Sánchez, A., Sígala Rodríguez, J. A., Prieto Ruiz, J. A. y Jesús García Magaña, J. (2010). Diagnóstico de la calidad de planta de los viveros forestales del Estado de Colima. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 1(2), 134-145.
- Parra, M. V., Sobrero, M. T. y Pece, M. G. (2015). Solarización: Una alternativa de control de malezas para viveristas. Foresta Veracruzana, 17(1), 9-16.
- Pastor Sáez, J. N. (1999). Utilización de sustratos en viveros. Terra Latinoamericana, 17(3), 231-235.
- Pozuelo González, J. M. (1991). Estudio de grupos funcionales de microorganismos edáficos en la rizosfera de *Alnus glutinosa* (L.) Gaertn. Facultad de ciencias biológicas. Universidad Complutense. Madrid.
- Prieto Ruíz, J. A., Almaraz Roldán, R. J., Corral Rivas, J. J. y Díaz Vázquez, A. (2012). Efecto del estrés hídrico en *Pinus cooperi* Blanco durante su precondicionamiento en vivero. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 3(12), 19-20.
- Rodríguez Trejo, D. A. (2008). Indicadores de calidad de planta forestal. Mundi-Prensa, México, México, D. F. p: 156.
- Rueda Sánchez, A., Benavides Solorio, J. de D., Prieto Ruiz, J. A., Sáenz Reyes, J. T., Orozco Gutiérrez, G. y Molina Castañeda, A. (2012). Calidad de planta producida en los viveros forestales de Jalisco. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 3(14). 69-82.
- Rueda Sánchez, A., Benavides Solorio, J. de D., Sáenz Reyes, J. T., Muñoz Flores, H. J., Prieto Ruiz, J. A. y Orozco Gutiérrez, G. (2014). Calidad de planta producida en los viveros de Nayarit. 2(22), 58-73.

- Sáenz Reyes, J. T., Villaseñor Ramírez, F. J., Muñoz Flores, H. J., Rueda Sánchez, A. y Prieto Ruíz, J. A. (2010). Calidad de planta en viveros forestales de clima templado en Michoacán. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Folleto Técnico Núm. 17.
- Sandoval Méndez, C., Cetina Alcalá, V. M., Yeaton, R. y Mohedano Caballero, L. (2000). Sustratos y polímeros en la producción de planta de *Pinus cembroides* Zucc. Bajo condiciones de invernadero. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. 6(2), 143-150.
- *SEMARNAT. (2015).
- *SEMARNAP. (1999).
- Servicio Meteorológico Nacional. (2023). Perspectiva y seguimiento de frentes fríos 2023/2024.
- Steward, J. D. & Bernier, P. Y. (1995). Gas exchange and water relations of 3 sizes of containerized *Picea marina* seedlings subjected to atmospheric and edaphic water stress under controlled conditions. Annales des sciences forestières. 52(2), 1-9.
- Tolome Romero, J. y Alba Landa, J. (2004). Desarrollo de fuentes parentales de *Pinus patula* Schl et cham. En un rango longitudinal. Foresta Veracruzana. 6(2), 37-40.
- Zamora Martínez, M. C. (2016). Extensionismo forestal. Revista Mexicana de Ciencias Forestales. 7(36). 4-6.

IX. ANEXOS