



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE
HIDALGO**

INSTITUTO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS

**ÁREA ACADÉMICA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y
FORESTALES**

**PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* EN SUSTRATO DE
ASERRÍN CRUDO**

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADA EN INGENIERÍA FORESTAL

PRESENTA

SANDRA MÁRQUEZ CUEVAS

TULANCINGO DE BRAVO, HIDALGO



Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
Instituto de Ciencias Agropecuarias
Institute of Agricultural Sciences
Área Académica de Ciencias Agrícolas y Forestales
Academic Area of Agricultural and Forestry Sciences

Tulancingo de Bravo, Hidalgo., a 04 de Diciembre de 2025

Asunto: Autorización de impresión

Mtra. Ojuky del Rocío Islas Maldonado
Directora de Administración Escolar de la UAEH

Por este conducto y con fundamento en el Título Cuarto, Capítulo I, Artículo 40 del Reglamento de Titulación, le comunico que el jurado que le fue asignado a la pasante de Licenciatura en Ingeniería Forestal, **Sandra Márquez Cuevas**, quien presenta el trabajo de Tesis denominado "**PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* EN SUSTRATO DE ASERRÍN CRUDO**", que después de revisarlo en reunión de sinodales, ha decidido autorizar la impresión de este, hechas las correcciones que fueron acordadas.

A continuación, se anotan las firmas de conformidad de los miembros del jurado:

PRESIDENTE DRA. MA. ISABEL REYES SANTAMARÍA

SECRETARIO DR. ALFONSO SUÁREZ ISLAS

VOCAL 1 DR. JOSÉ JUSTO MATEO SÁNCHEZ

VOCAL 2 DR. JAIME PACHECO TREJO

SUPLENTE1 LIC. OSCAR GRACIANO ROMERO G.

Sin otro particular por el momento, me despido de usted.

Atentamente
"Amor, Orden y Progreso"


Dr. José González Ávalos
Coordinador del Programa Educativo
en Ingeniería Forestal




Dr. Armando Peláez Acero
Director del ICAP

Avenida Universidad #133, Col. San Miguel Huatengo,
Santiago Tulantepec de Lugo Guerrero, Hidalgo,
México. C.P. 43775.
Teléfono: 7717172001 Ext. 42173
profe_5566@uaeh.edu.mx

"Amor, Orden y Progreso"



2025



uaeh.edu.mx

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mi familia y amigos por el apoyo, a mis maestros, a mi tutor de la carrera, por sus consejos y enseñanzas, pero sobre todo a mi director de tesis por la enorme paciencia que me tuvo durante este largo proceso, por sus recomendaciones y consejos, y también a mis asesores, los cuales me guiaron hasta la recta final, por eso y más, gracias.

DEDICATORIA

A mis amigos de la carrera Danna, Jair, Vivian y Kevin, que fueron un gran apoyo durante mi estancia en la universidad, sin ellos no habría logrado terminar esta etapa, a Rosy (mamá de Danna) que fue como una segunda madre durante mi periodo universitario; también a Estephania, que me dio ánimos y estuvo ahí en la última etapa de este proyecto.

A Stray Kids, que también fueron una motivación en mi día a día con su música.

Por último, pero no menos importante, a mi familia, a mi madre Margarita que estuvo muy presente económicamente en los últimos años de mi carrera, a mis hermanos Juan Carlos, Alejandro y Jesús, quienes siempre me dieron su apoyo y me han ayudado a resolver los problemas u obstáculos que me surgieron en el proceso, a mi abuela Teresa, quien ha sido una gran compañía y siempre me animo a terminar este trabajo y no rendirme.

Y más importante, a la memoria de mi padre Fernando Márquez, el cual fue uno de los mayores motivos por los cuales decidí entrar en la carrera, quien siempre fue mi mayor apoyo y un guía extraordinario, siempre será mi modelo a seguir.

RESUMEN

El presente trabajo evaluó el uso de aserrín crudo de *Pinus* como sustrato alternativo para la producción de plántulas de *Pinus greggii* en vivero, con el fin de identificar su viabilidad como sustituto parcial o total de la mezcla tecnificada tradicional compuesta por peat moss, agrolita y vermiculita. El estudio se llevó a cabo en el vivero forestal del Ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, en Chignahuapan, Puebla, donde se estableció un experimento con cuatro tratamientos basados en diferentes aperturas de malla para clasificar el aserrín (7.7 mm, 4.5 mm y 2.7 mm), además del testigo tradicional.

Se emplearon 768 plántulas (192 por tratamiento) sembradas en contenedores de 130 cm³ bajo un diseño completamente al azar. Se midieron variables morfológicas clave para determinar la calidad de planta: altura total, diámetro del cuello, peso seco de la parte aérea (PSA), peso seco de la raíz (PSR), peso seco total (PST), la relación PSA/PSR, el índice de calidad de Dickson (ICD) y el índice de robustez. Para ello, se realizó un manejo estandarizado de germinación, riego, fertilización y protección fitosanitaria, y posteriormente las muestras fueron secadas en estufa para obtener biomasa seca.

Los resultados mostraron diferencias significativas entre tratamientos. El tamaño de partícula del aserrín influyó de manera importante en la aireación, la retención de agua y el desarrollo radicular. El tratamiento con aserrín tamizado a 4.5 mm mostró el mejor desempeño general, presentando mayor biomasa total e índices morfológicos superiores, lo que indica un desarrollo equilibrado y una estructura adecuada para enfrentar condiciones de campo. En contraste, el aserrín con partículas más finas y más gruesas ocasionó limitaciones asociadas a compactación y drenaje excesivo, respectivamente.

Los resultados concuerdan con investigaciones recientes que destacan el potencial del aserrín como sustrato alternativo económico, abundante y capaz de reducir la dependencia del peat moss, además de contribuir al aprovechamiento de residuos forestales. Se concluye que el aserrín puede emplearse de manera eficaz como sustrato para la producción de *Pinus greggii*, siempre que se controle adecuadamente su tamaño de partícula y se ajuste el esquema de fertilización.

El uso de aserrín tamizado representa una estrategia viable y sustentable para los viveros comunitarios y oficiales, ofreciendo plantas de buena calidad, reducción de costos y aprovechamiento responsable de subproductos forestales.

ABSTRAC

This study evaluated the use of raw pine sawdust as an alternative substrate for the production of *Pinus greggii* seedlings in forest nurseries, with the aim of determining its feasibility as a partial or total substitute for the traditional technified mixture composed of peat moss, perlite, and vermiculite. The experiment was conducted at the forest nursery of the Ejido Peñuelas Pueblo Nuevo in Chignahuapan, Puebla, where four treatments were established based on different mesh opening used to classify sawdust (7.7 mm, 4.5 mm, and 2.7 mm), along with a traditional control.

A total of 768 seedlings (192 per treatment) were grown in 130 cm³ containers under a completely randomized design. Key morphological variables were measured to assess plant quality: total height, root collar diameter, shoot dry weight (SDW), root dry weight (RDW), total dry weight (TDW), the SDW/RDW ratio, Dickson Quality Index (DQI), and robustness index. Standardized procedures for germination, irrigation, fertilization, and plant protection were applied. Samples were later oven-dried to obtain dry biomass.

The results showed significant differences among treatments. Sawdust particle size strongly influenced aeration, water retention capacity, and root development. The treatment with 4.5 mm sieved sawdust exhibited the best overall performance, producing higher total biomass and superior morphological indices, indicating balanced development and structural attributes suitable for field establishment. In contrast, finer sawdust and coarser particles presented limitations related to substrate compaction and excessive drainage, respectively.

These findings are consistent with recent research highlighting the potential of sawdust as an economical and abundant alternative substrate that can reduce dependence on peat moss and promote sustainable use of forest residues. It is concluded that sawdust can be effectively used as a substrate for the production of *Pinus greggii*, provided that particle size is properly controlled and fertilization schemes are adjusted accordingly.

Sieved sawdust represents a viable and sustainable strategy for community and government nurseries, offering high-quality seedlings, reduced production costs, and responsible utilization of forest by-products

INDICE

| | |
|-----------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN | 13 |
| ANTECEDENTES | 15 |
| PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 18 |
| JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA | 20 |
| CAPITULO 1 | 22 |
| REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA | 22 |
| 1. Sustratos | 22 |
| 2. Sustratos Alternativos | 23 |
| 3. Propiedades Físicas Y Químicas De Los Sustratos | 24 |
| 4. Definición Y Características Del Aserrín | 27 |
| 5. Ventajas Del Uso Del Aserrín | 27 |
| 6. Desventajas Del Aserrín | 28 |
| 7. <i>Pinus greggii</i> | 28 |
| 7.1. Taxonomía Y Nomenclatura | 28 |
| 7.2. Distribución Geográfica Y Hábitat Natural | 29 |
| 7.3. Clima | 30 |
| 7.4. Tipos De Suelo | 30 |
| 7.5. Asociaciones Vegetales | 30 |
| 7.6. Ecología | 30 |
| 7.7. Características Botánicas | 31 |
| 7.8. Morfología | 31 |
| 7.9. Anatomía Interna | 32 |
| 7.10. Reproducción Y Fenología | 32 |
| 7.11. Desarrollo Y Crecimiento | 33 |
| 7.12. Requerimientos Ecológicos | 33 |
| 7.13. Usos Y Valor Ecológico | 34 |
| 7.14. Importancia Ecológica Y Social | 34 |
| 7.15. Adaptación Al Cambio Climático | 35 |
| 7.16. Producción De Plántulas En Vivero | 35 |
| 7.17. Aspectos Ecológicos Relevantes Para Fase En Vivero | 36 |
| 7.18. Manejo En Vivero | 36 |
| 7.19. Recolección | 37 |

| | |
|------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 7.20. Tratamientos Pre Germinativos..... | 37 |
| 7.21. Método De Siembra | 38 |
| 7.22. Manejo De La Planta..... | 38 |
| LITERARUTA CITADA CAPITULO 1 | 40 |
| CAPITULO 2..... | 49 |
| PRODUCCIÓN DE <i>Pinus greggii</i> EN SUSTRATO DE ASERRÍN CRUDO | 49 |
| INTRODUCCIÓN..... | 49 |
| 1. OBJETIVO | 51 |
| 2. HIPÓTESIS | 51 |
| 3. MATERIALES Y METODOS..... | 52 |
| 3.1. Ubicación Del Ejido | 52 |
| 3.2. Procedencia De La Semilla..... | 53 |
| 3.3. Origen y características del sustrato de aserrín..... | 54 |
| 3.4. Lavado y desinfectado de charolas | 55 |
| 3.5. Formulación de tratamientos y tamizado del aserrín como sustrato | 56 |
| 3.5.1. Preparación del tratamiento testigo..... | 59 |
| 3.6. Fertilización | 60 |
| 3.7. Germinación Y Crecimiento En Vivero..... | 63 |
| 3.8. Tamaño Del Experimento Y Selección De La Muestra..... | 67 |
| 3.9. Riegos | 68 |
| 3.10. Control De Enfermedades..... | 68 |
| 3.11. Medición De Variables | 70 |
| 3.12. Variables De Calidad De Planta Calculadas..... | 72 |
| 3.12.1. Relación Peso Seco De La Parte Aérea Y Peso Seco De La Raíz . | 72 |
| 3.12.2. Índice De Robustez..... | 73 |
| 3.12.3. Índice De Calidad De Dickson..... | 74 |
| 3.12.4. Análisis estadístico | 75 |
| 4. RESULTADOS | 76 |
| 4.1. Análisis De Varianza..... | 76 |
| 4.2. Comparación De Medias De Tukey | 78 |
| 4.3. Altura | 78 |
| 4.4. Diámetro | 79 |
| 4.5. Peso Seco De La Parte Aérea Y Peso Seco De La Raíz..... | 80 |

| | |
|------------------------------------------|----|
| 4.6. Peso Seco Total..... | 82 |
| 4.7. Relación PSA/PSR | 83 |
| 4.8. Índices De Calidad De Dickson | 85 |
| 4.9. Índice De Robustez..... | 86 |
| 5. DISCUSIÓN | 88 |
| 6. CONCLUSIONES | 90 |
| 7. LITERATURA CITADA CAPITULO 2 | 91 |

TABLA DE CONTENIDO DE FIGURAS

| | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Distribución geográfica del <i>Pinus greggii</i> | 29 |
| Figura 2 Etapa en vivero | 35 |
| Figura 3 Ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, Chignahuapan, Puebla | 53 |
| Figura 4 Lavado y desinfección de las charolas y los tubetes | 55 |
| Figura 5 Acondicionamiento y estibado de las charolas | 56 |
| Figura 6 Proceso de tamizado de aserrín crudo con la malla de apertura 7.7 mm | 57 |
| Figura 7 Tamizado con apertura de malla 4.5 mm | 58 |
| Figura 8 Resultado de granulometría a través del tamizado con una apertura de malla de 2.7 mm..... | 58 |
| Figura 9 Tamizado de forma manual para la separación de partículas con las diferentes aperturas para cada tratamiento | 59 |
| Figura 10 Llenado de los contenedores con aserrín crudo | 59 |
| Figura 11 Dosificación gravimétrica del fertilizante de liberación lenta (Multicote®) para cada uno de los tratamientos | 61 |
| Figura 12 Combinación de los componentes aserrín, fertilizante y biofungicida | 61 |
| Figura 13 Insumos nutricionales utilizados para el experimento (Micromax y Multicote) | 62 |
| Figura 14 Mezcla de fertilizante, biofungicida y aserrín crudo | 62 |
| Figura 15 Llenado de contenedores..... | 63 |
| Figura 16 Llenado de las charolas de forma manual con el aserrín crudo y los aditivos incluidos | 64 |
| Figura 17 Trasplante de plántulas de <i>Pinus greggii</i> desde el almacigo hacia los contenedores | 64 |
| Figura 18 Plántulas en la etapa de "cabeza de cerillo" en almacigo | 65 |
| Figura 19 Plántulas de <i>Pinus greggii</i> en la fase de establecimiento inicial, una semana después del trasplante a los tubetes..... | 65 |
| Figura 20 Cepellón de <i>Pinus greggii</i> extraído del tubete | 66 |
| Figura 21 Perspectiva amplia del experimento establecido sobre las camas destinadas al crecimiento en el vivero | 66 |
| Figura 22 Estado de las plántulas de <i>Pinus greggii</i> a los nueve meses en el vivero, justo antes de realizar el muestreo | 67 |
| Figura 23 Empaque del biofungicida Bactiva..... | 69 |
| Figura 24 Medición de Micromax..... | 70 |

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 25 Toma de la medida de altura de cada plántula, abarcando desde el cuello de la raíz hasta el extremo superior, con ayuda de un flexómetro TRUPER®..... | 70 |
| Figura 26 Estructuras radiculares de <i>Pinus greggii</i> , después de ser lavadas y divididas, dispuestas para el análisis de biomasa seca mediante secado en estufa..... | 71 |
| Figura 27 Medición de la biomasa aérea seca a través del empleo de una balanza analítica precisa..... | 72 |
| Figura 28 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos en Altura. | 79 |
| Figura 29 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos en Diámetro (mm). | 80 |
| Figura 30 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos en Peso seco de la parte aérea (g) | 81 |
| Figura 31 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos en Peso seco raíz (g) . | 82 |
| Figura 32 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos en Peso seco total (g) .. | 83 |
| Figura 33 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos de la relación PSA/PSR | 84 |
| Ilustración 34 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos del índice de calidad de Dickson..... | 85 |
| Ilustración 35 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos del índice de robustez | 86 |

TABLA DE CONTENIDO DE CUADROS

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Cuadro 1 Rangos ecológicos principales | 31 |
| Cuadro 2 Morfología | 32 |
| Cuadro 3 Datos de malla | 57 |
| Cuadro 4 Influencia del tratamiento (tamaño de la malla) en el crecimiento de <i>P. greggii</i> | 78 |

INTRODUCCIÓN

En México entre 2020 y 2025, se produjeron 80,989,872 de plantas en 154 viveros (CONAFOR, 2020). De esta producción de plantas, aproximadamente un 50% de estas se realiza bajo sistema “tradicional”, es decir, en bolsas de polietileno, en donde se utilizan diferentes mezclas de tierra de monte, tierra agrícola y otros subproductos, como lo es el aserrín compostado, bagazo de caña, corteza de pino y cascarilla de café. Por otro lado, tenemos un 40% que se produce bajo un sistema tecnificado, en donde se utilizan contenedores de polietileno expandido y plástico rígido, el sustrato utilizado en este tipo de sistema es la turba (peat moss), agrolita, vermiculita y perlita. Por último, tenemos el 10% de la producción, que se realiza bajo la técnica de producción de raíz desnuda, que consiste en usar el propio suelo de forma directa como sustrato (CONAFOR, 2020).

Los sistemas de producción más utilizados son el tradicional y el tecnificado, por lo que se entiende que el tipo de sustrato más recomendable es la mezcla de sustratos, ya sean los naturales o los procesados que son importados. Entonces tenemos que el aserrín si es utilizado, pero de una forma menor, ya que se considera más como un desperdicio que como un sustrato que puede beneficiar bastante a la planta en su desarrollo (Prieto et al, 2018).

De acuerdo con la Real Academia Española, el aserrín es el desperdicio que resulta del aserrío de la madera con sierra cinta o circular, esta es la actividad que se practica en los aserraderos, carpinterías y/o fábricas de cajas. Existen otros dos tipos de desperdicio, que son la viruta y el polvo, pero el aserrín es el material que resulta más apropiado para ser usado como sustrato para la producción de plantas, ya sean en bolsas de plástico o contenedor. El aserrín también se puede presentar de diferentes tamaños, dependiendo el tipo de máquina que se use para cortar la madera, por ejemplo, si se corta con motosierra, resulta un aserrín con tamaño de partícula muy grande y no se puede utilizar solo, por lo que se requiere un tipo de aserrín con partículas más pequeñas (RAE, 2023).

Por otro lado, tenemos la especie forestal de *Pinus greggii*, mejor conocido como pino prieto, este pino ha sido utilizado para la restauración de suelos degradados

en el Valle de México, por su rápido crecimiento y adaptación a los suelos pobres. Los suelos donde se desarrolla esta especie son de origen volcánico, ubicados en las mesetas altas y pendientes bajas de las montañas, sitios donde se encuentran los mejores ejemplares. También se pueden desarrollar en sitio secos o áridos, aunque bajo estas condiciones el crecimiento es lento y los árboles son de baja estatura y muy ramificados, aunque presenta resistencia a heladas (CONABIO-PRONARE, 2001).

Es una especie endémica de México con gran importancia ecológica y económica. Este pino se distribuye en poblaciones aisladas a lo largo de la Sierra Madre Oriental, en zonas semiáridas y a veces semitropicales. Actualmente se reconocen dos variedades taxonómicas, *P. greggii* var. *greggii*, que habita en la porción norte del área de distribución de la especie, y *P. greggii* var. *australis*, en el sur, sin traspases entre ellas. La especie es uno de los componentes estructurales clave en las comunidades en las que crece, ya que forma parte del dosel dominante y en muchos de los casos es la única que representa al estrato arbóreo (Donahue y López, 1999).

A nivel regional, *P. greggii* es uno de los árboles con mayor valor económico para las poblaciones humanas que habitan en zonas aledañas, ya que se aprovecha para la obtención de madera para la industria del aserrío, y localmente para la obtención de postes para cercas y leña combustible. Además, esta especie ha mostrado altas tasas de crecimiento en altura y diámetro en ensayos de plantaciones (Rosales Serna et al., 2021), así como un gran potencial para adaptarse a condiciones edáficas restrictivas e intercambios micorrízicos favorables en suelos pobres (Cacique Valdés et al., 2020; Ortiz Mendoza et al., 2021). Estas características favorecen el uso de *P. greggii* en programas de reforestación para la recuperación de suelos degradados en diferentes partes de México y en plantaciones comerciales en sitios marginales donde otras especies de pino no se adaptan tan bien (Vicente Arbona et al., 2029).

ANTECEDENTES

El uso del aserrín como sustrato para las plantas en vivero tiene una larga historia y ha sido objeto de investigaciones científicas que respaldan su eficacia. A continuación, se presentan algunos antecedentes relevantes:

En un estudio pionero (McKell y Fisher, 1964), investigaron el uso del aserrín de madera de pino como sustrato para el crecimiento de plántulas de pino (*Pinus contorta*). El estudio demostró que el aserrín de pino podría utilizarse efectivamente como sustrato de vivero para el crecimiento de plántulas de este pino.

Investigaciones posteriores se centraron en la influencia del aserrín en la calidad de las plántulas producidas en viveros. Joy y Thurtell, 1981, evaluaron el uso de aserrín de pino y abeto como sustratos en la producción de plántulas de pino. Concluyeron que el aserrín de pino era un sustrato superior en términos de calidad de las plántulas.

Por su parte Weetman y Van Nostrand (1988), investigaron cómo el aserrín de pino afectaba la retención de agua y nutrientes en suelos de vivero. Descubrieron que el aserrín de pino mejoraba significativamente la capacidad de retención de agua y nutrientes del suelo, lo que tenía un impacto positivo en el crecimiento de las plantas.

El uso de materiales lignocelulósicos como el aserrín ha sido evaluado en Europa como componente de sustratos para la producción de plántulas hortícolas. En España, investigaciones realizadas por Sánchez Monedero et al., (2004) demostraron que residuos forestales y agrícolas con estructura similar al aserrín pueden integrarse en los sustratos para vivero sin afectar el desarrollo inicial de las plántulas, siempre que se ajusten a las proporciones y la estabilidad del material.

También, tenemos que en México también se ha trabajado con el aserrín como sustrato, algunas de las tantas investigaciones que se realizaron fue la de Marín et al., (2005), encontraron que el uso del aserrín y acículas como sustrato de germinación y crecimiento de *Quercus humboldtii*, es una estrategia que aprovecha materiales orgánicos disponibles para promover el desarrollo de esta

especie de roble. Implica una serie de pasos que van desde la elección de la especie hasta el trasplante exitoso, garantizando así que las plántulas sean saludables y estén listas para ser utilizadas en proyectos de reforestación y conservación de bosques.

En 2007, Needham evaluó el uso del aserrín como medio de cultivo para la producción de planta en viveros, se centró en investigar la viabilidad del uso del aserrín como medio de cultivo. Así como su viabilidad económica. Encontró que el aserrín puede ser un medio de cultivo efectivo y económico para la producción de plantas en viveros. Sin embargo, se enfatizó la importancia de un adecuado manejo y la posible necesidad de mezclarlo con otros componentes para optimizar su estructura y capacidad de drenaje. Esta investigación respalda la viabilidad del uso del aserrín en viveros como enfoque rentable y sostenible.

Heaton y Rúter, 2011, investigaron la idoneidad del aserrín como sustrato en la producción de plantas cultivadas en recipientes. Evaluaron el uso del aserrín como sustrato en la producción de plantas en contenedores y sus efectos en el crecimiento y desarrollo de las plantas en comparación con otros sustratos convencionales. Los investigadores llevaron a cabo experimentos en los que utilizaron aserrín como único sustrato o lo mezclaron con otros materiales como perlita o vermiculita. Aquí se proporciona evidencia de que el aserrín puede ser un sustrato efectivo en la producción de plantas en contenedores, siempre que se maneje y se mezcle adecuadamente para garantizar un crecimiento saludable de las plantas.

Por otro lado, el estudio del efecto del aserrín como medio de cultivo en el crecimiento de plántulas y desarrollo de raíces de diferentes especies de árboles, realizado por Sharmistha y Dubey, 2015, investigaron cómo el uso del aserrín afecta el crecimiento de plántulas y el desarrollo de raíces en diversas especies de árboles. Este estudio proporciona evidencia de que el aserrín puede ser un sustrato efectivo en el cultivo de plántulas de diferentes especies de árboles, con un enfoque en el crecimiento saludable y el desarrollo de raíces.

Ojenivi et al., (2016), realizaron una revisión del estudio llamado “Utilización de aserrín en la producción de cultivos hortícolas”, esta revisión se centra en la utilización del aserrín en la producción de cultivos hortícolas y proporciona una

visión general de los diferentes aspectos relacionados con su uso. Proporcionan una visión general sobre la utilización del aserrín en los cultivos hortícolas, destacando sus ventajas y desventajas, así como las prácticas recomendadas de manejo.

El estudio sobre la calidad de planta de *Pinus greggii* producida en sustratos a base de aserrín se llevó a cabo con el objetivo de evaluar el impacto de este tipo de sustrato en el desarrollo y la salud de las plántulas de *Pinus greggii*. Los autores encargados de ello fueron Vicente Arbona y colaboradores (2019); las conclusiones a las que se llegaron fueron las siguientes:

- Los sustratos a base de aserrín pueden ser una opción viable y económica para la producción de plántulas de *Pinus greggii* de alta calidad.
- La calidad de la planta producida en estos sustratos fue satisfactoria, con un crecimiento robusto y una alta supervivencia.
- Se recomienda ajustar las proporciones de aserrín y otros componentes del sustrato según las necesidades específicas de la especie y las condiciones locales. (Vicente Arbona et al., 2019)

En resumen, el estudio evaluó la calidad de planta de pino producida en sustratos a base de aserrín. Los resultados respaldan la viabilidad de utilizar aserrín como componente principal en sustratos para la producción exitosa de plántulas de esta especie de pino.

Rodríguez y colaboradores (2021), nos dicen que el uso de sustratos con aserrín de coníferas y latifoliadas para producir plantas de *Pinus patula*, implica una serie de pasos cuidadosamente planificados que abarcan desde la selección de la especie hasta el trasplante exitoso. Este enfoque garantiza que las plántulas sean saludables y estén listas para su uso en proyectos de silvicultura y reforestación.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La producción de plantas forestales en México ha experimentado un crecimiento sostenido, con más de 80 millones de plantas generadas por año en 154 viveros entre 2020 y 2025 (CONAFOR, 2020). Gran parte de esta producción se concentra en sistemas tradicionales y tecnificados, donde los sustratos juegan un papel fundamental en la calidad de las plántulas. Aunque se utilizan materiales como turba, perlita y agrolita, los subproductos locales, en particular el aserrín tiene un aprovechamiento limitado (Prieto et al., 2018; Valdez et al., 2021). En el caso de la turba, se utiliza en mayor cantidad en los viveros de plántulas en México, el cual es un producto que se importa desde Canadá, por lo que tiene un alto costo, tanto para adquirirlo como para transportarlo. Muchas veces es casi imposible costear este producto para viveros que son más pequeños y no cuentan con los recursos necesarios (Mateo, 2018).

El aserrín es un residuo generado en aserraderos y carpinterías, que presenta propiedades físicas y químicas favorables para la producción de plántulas, tales como baja densidad aparente, alta aireación y retención de humedad adecuada cuando se encuentra compostado (Landis, 1990; Ortega et al., 2013). Sin embargo, su uso como sustrato principal no está completamente desarrollado debido a problemas de inmovilización de nitrógeno y posibles compuestos fenólicos tóxicos en su forma fresca (Figueroa et al., 2017; Gumi et al., 2019). Esta situación representa una oportunidad para investigar mezclas y tratamientos que permitan optimizar sus propiedades y reducir la dependencia de sustratos importados, más costosos y de disponibilidad limitada.

A pesar de la evidencia de que el aserrín compostado puede ser un sustrato viable y económico para diversas especies forestales (Figueroa et al, 2017; Valdez et al., 2021). Existe un vacío de conocimiento específico sobre su eficacia en el cultivo de las plántulas. Esto genera incertidumbre respecto a las proporciones adecuadas de mezcla, el tratamiento previo necesario para minimizar la inmovilización de nutrientes y la respuesta en términos de crecimiento y calidad de la planta.

Por lo tanto, surge la necesidad de investigar el uso de aserrín como sustrato para la producción de plántulas, evaluando su influencia en la germinación,

crecimiento radicular y desarrollo foliar, así como su viabilidad económica y ecológica. Resolver esta problemática permitirá generar alternativas sostenibles para los viveros forestales, optimizando recursos locales, reduciendo costos y contribuyendo a programas de reforestación más eficientes en México (Valdez et al., 2021).

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA

La producción de planta forestal de calidad es un factor determinante para el éxito de los programas de reforestación y restauración ecológica en México. Se estima que cada año se requieren 500 millones de plántulas para cubrir la demanda de proyectos de restauración de suelos, conservación de cuencas y establecimiento de plantaciones comerciales (CONAFOR, 2020). En este contexto, los sustratos juegan un papel fundamental, ya que sus propiedades físicas y químicas influyen directamente en la germinación, el crecimiento radicular y la supervivencia de las plántulas en campo (Prieto et al, 2018).

El uso de sustratos comerciales como la turba, la perlita o la vermiculita enfrenta limitaciones asociadas a su alto costo, disponibilidad restringida y problemas ambientales derivados de su extracción (Ortega et al., 2013). Esto ha impulsado la búsqueda de sustratos alternativos de origen local, entre ellos el aserrín, la corteza de pino y otros subproductos madereros, los cuales son abundantes y de bajo costo en regiones forestales de México (Figueroa et al., 2017; Valdez et al., 2021).

El aserrín compostado se perfila como una alternativa sostenible, al ser un subproducto de la industria maderera con propiedades físicas favorables, como alta porosidad y adecuada retención de agua, que contribuyen al desarrollo radicular de las plántulas (Gumy et al., 2019). Su uso permitirá reducir la dependencia de materiales importados y aprovechar residuos que, de otra manera, representan un problema de disposición en aserraderos y carpinterías (Figueroa et al., 2017).

A pesar de sus ventajas, el éxito en su establecimiento depende en gran medida de la calidad de las plántulas producidas en vivero, lo que hace necesario evaluar nuevas alternativas de sustrato que aseguren un buen desempeño en campo (López et al., 1999; Prieto et al, 2018).

Investigar el uso del aserrín como sustrato en la producción de plántulas no solo responde a una necesidad técnica en viveros forestales, sino que aporta beneficios económicos y ambientales. En el ámbito económico, se disminuyen los costos de producción al sustituir insumos importados por materiales locales. En el aspecto ambiental, se promueve el aprovechamiento de residuos

madereros, reduciendo la presión sobre recursos no renovables y disminuyendo la contaminación asociada a la acumulación de desechos en aserraderos (Valdez et al., 2021).

Por lo tanto, la presente investigación se justifica en la necesidad de generar alternativas sostenibles y económicas viables para la producción de planta forestal, contribuyendo al fortalecimiento de los programas de reforestación y a la conservación de los ecosistemas forestales en México (Valdez et al., 2021).

CAPITULO 1

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

Sustrato es la mezcla del suelo y abono para que se desarrolle la plántula. Los materiales más utilizados son, tierra agrícola, tierra negra, arena, materia orgánica descompuesta, aserrín compostado, bagazo de caña, corteza de pino y cascarilla de café (siendo estos materiales fáciles de adquirir), por otro lado, tenemos otros materiales comerciales más costosos, como la turba (peat moss), agrolita, vermiculita, perlita, mezclando estos materiales se puede obtener una mezcla ideal que permite retener agua y una buena filtración (JICA, 2014).

Dependiendo de la mezcla que se use, la plántula puede tener un mejor desarrollo. La mayoría de los viveros optan por comprar turba, lo cual genera un gasto importante; por esta razón se han buscado otras alternativas de sustratos, como por ejemplo el aserrín (González de la Rosa et al., 2024; González Orozco et al., 2018). En estudios recientes también se demuestra que el aserrín, en combinación con otros materiales de sustrato, puede producir plántulas de pino de calidad y reducir los costos de producción (Madrid Aispuro et al., 2025). Sin embargo, aún no ha sido suficiente para convencer al productor de adoptar esta opción, que además de tener un beneficio económico, es más fácil de adquirir y transportar.

1. Sustratos

En la producción de planta en vivero, el sustrato constituye uno de los componentes más determinantes para el crecimiento y calidad final de las plántulas. El sustrato se define como el medio sólido, natural o artificial, que proporciona soporte físico a las raíces y permite el intercambio de agua, aire y nutrientes necesarios para el desarrollo vegetal. Un sustrato adecuado debe cumplir con propiedades físicas, químicas y biológicas óptimas para favorecer la germinación, el crecimiento radicular y la supervivencia post-trasplante (Gruda et al., 2019).

En viveros forestales tradicionales se ha utilizado suelo agrícola o “tierra de monte”, debido a su disponibilidad y bajo costo. Sin embargo, su uso exclusivo

presenta desventajas como la compactación, la presencia de patógenos y malezas, y la variabilidad en sus características (Álvarez et al., 2021). Esto ha impulsado la búsqueda de materiales alternativos, ya sea para complementar o sustituir el suelo, con el objetivo de mejorar la uniformidad y control de las condiciones de cultivo.

Según Evans (2020), un buen sustrato debe garantizar:

- Porosidad total del 50-85%, para permitir un balance adecuado entre aire y agua.
- Densidad aparente baja ($<0.5\text{g/cm}^3$) para favorecer el crecimiento radicular.
- Alta capacidad de retención de agua.
- Estabilidad estructural, evitando degradación rápida durante el ciclo producción.
- Capacidad de intercambio catiónico suficiente para retener nutrientes.
- Ausencia de contaminantes y patógenos.

En el caso de especies forestales como *Pinus greggii*, la elección del sustrato es fundamental, ya que la fase inicial de crecimiento define la calidad morfológica que influirá en su supervivencia en campo (Prieto-Ruiz., 2019)

2. Sustratos Alternativos

El uso de sustratos alternativos ha crecido en las últimas décadas como respuesta a la escasez o baja calidad del suelo agrícola disponible, así como por el aprovechamiento de residuos orgánicos e industriales bajo esquemas de economía circular (Barrera et al., 2022). Entre los más utilizados en viveros forestales y ornamentales se encuentran:

- ❖ Aserrín
 - Es un residuo de la industria maderera, compuesto principalmente por partículas finas de madera.
 - Presenta alta porosidad y baja densidad aparente, pero su contenido de nitrógeno es bajo, por lo que requiere suplementación con fertilización (Cruz-Crespo., 2021)

- El aserrín de coníferas contiene compuestos fenólicos que pueden afectar la germinación si no se composta adecuadamente.
- ❖ Corteza de pino
 - Proporciona buena aireación y estabilidad estructural.
 - Tiene alta durabilidad, pero baja retención de agua en partículas grandes.
 - Frecuentemente se utiliza compostada para reducir la fitotoxicidad (Serrano., 2020).
- ❖ Viruta de madera
 - Similar al aserrín, pero con partículas más gruesas, lo que aumenta la macroporosidad.
 - Puede mezclarse con materiales de mayor retención de agua como turba o fibra de coco.
- ❖ Cascarilla de café
 - Subproducto agrícola con buena porosidad y contenido de materia orgánica.
 - Su descomposición rápida puede provocar inmovilización temporal de nitrógeno (Rojas., 2019).
- ❖ Fibra de coco
 - Alta capacidad de retención de agua y buena aireación.
 - Baja degradación y reutilizable, pero su disponibilidad depende de la importancia en algunos países.

La selección del sustrato alternativo o la mezcla de varios de ellos debe basarse en pruebas previas de crecimiento, análisis físico-químico y costo-beneficio, considerando las necesidades específicas de la especie cultivada y las condiciones del vivero (Martínez-López et al., 2022).

3. Propiedades Físicas Y Químicas De Los Sustratos

Las propiedades físicas de un sustrato determinan su capacidad para proporcionar un ambiente adecuado para el desarrollo radicular y, por ende, el crecimiento de la planta. Entre las más importantes se encuentran la porosidad total, la capacidad de retención de agua, la aireación y la densidad aparente

(Lemaire, 2020). La estructura física debe permitir un equilibrio adecuado entre aire y agua en la zona radicular para evitar condiciones de anoxia o deshidratación (Handreck & Black, 2021).

La porosidad total se refiere al volumen de espacios en relación con el volumen total del sustrato, lo que incluye tanto los poros llenos de aire como los llenos de agua. Un rango ideal para viveros forestales oscila entre 70 y 85% (Verdonk et al., 2021). Dentro de esta, la porosidad de aire debe situarse entre 10 y 30% para asegurar oxigenación adecuada de las raíces, mientras que la capacidad de retención de agua debe rondar entre el 50 y 60% del volumen (De Boodt & Verdonck, 2019).

La densidad aparente influye directamente en la manipulación de las charolas o contenedores en vivero y en el anclaje de la planta. Valores muy altos dificultan el desarrollo radicular, mientras que valores excesivamente bajos comprometen la estabilidad de la plántula (Raviv & Lieth, 2020). En sustratos forestales se recomiendan densidades entre 0.2 y 0.5 g/cm³.

Además, la estabilidad estructural es clave, ya que un sustrato que pierde su estructura durante el riego o la manipulación tiende a compactarse, reduciendo la porosidad y limitando el intercambio gaseoso. Materiales como el aserrín compostado, la corteza de pino y las mezclas con arena han demostrado mantener una estabilidad aceptable en ciclos de producción de *Pinus greggii* (Morales-Hernández et al., 2021).

- **Propiedades químicas**

Las propiedades químicas de un sustrato determinan en gran medida su capacidad para suministrar nutrientes a las plantas, regular el pH, y mantener un equilibrio óptimo para el crecimiento radicular. Entre las más relevantes se encuentran el pH, la capacidad de intercambio catiónico (CIC), la conductividad eléctrica (CE), la capacidad tampón y el contenido de nutrientes esenciales (Lemaire, 2020; Raviv & Lieth, 2020).

- El pH regula la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbiana. En la mayoría de las especies forestales, incluyendo *Pinus greggii*, un rango

de pH entre 5.0 y 6.5 es óptimo para la absorción de nutrientes como nitrógeno, fosforo y micronutrientes. Un pH fuera de este rango puede causar deficiencias o toxicidades, por ejemplo, pH altos reducen la disponibilidad de hierro, mientras que pH bajos aumentan la solubilidad de metales como el aluminio, que pueden ser tóxicos para las raíces (Sonneveld & Voogt, 2020).

- La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) se refiere a la capacidad del sustrato para retener y liberar cationes como Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y NH_4^+ , fundamentales para la nutrición vegetal. Sustratos como el aserrín compostado o la corteza de pino poseen una CIC moderada, que puede incrementarse con enmiendas orgánicas o arcillosas (Abad et al., 2020; Handreck & Black, 2021).
- La Conductividad Eléctrica (CE) mide la concentración total de sales solubles en el sustrato, expresada en decisiemens por metro (dS/m). un valor adecuado para plantas forestales en vivero oscila entre 0.5 y 1.5 dS/m (Argo & Fisher 2019). Niveles superiores pueden generar estrés osmótico, afectando la absorción de agua y nutrientes (Richards & Lane, 2021).
- La capacidad tampón del sustrato se refiere a su habilidad para resistir cambios bruscos de pH cuando añaden fertilizantes o se produce lixiviación. Sustratos con buena capacidad tampón, como mezclas con turba o compost maduro, mantienen condiciones estables para el crecimiento radicular (Handreck & Black, 2021; Raviv & Lieth, 2020).
- El contenido inicial de nutrientes en un sustrato puede variar significativamente según el material de origen. El aserrín fresco, por ejemplo, presenta relación C: N alta, lo que puede provocar inmovilización temporal de nitrógeno; por ello, se recomienda su compostaje antes de ser usado (Morales-Hernández et al., 2021). En cambio, la corteza compostada puede aportar micronutrientes como manganeso y hierro en cantidades aprovechables por las plantas (Abad et al., 2020).

En el manejo de *Pinus greggii*, la evaluación periódica de estas propiedades químicas permite ajustar el plan de fertilización y riego para optimizar el desarrollo de las plántulas (Sonneveld & Voogt, 2020).

4. Definición Y Características Del Aserrín

El aserrín es el conjunto de partículas que se desprende de la madera cuando es aserrada; también contiene minúsculas partículas de madera producidas durante el proceso de aserrío y durante el recorte con sierra de paneles contrachapados y/o aglomerados (Nurian Serret-Guasch et al., 2016).

En cuanto a las características del aserrín, estas son diversas y debemos tomar en cuenta cada una de ellas al momento de querer utilizar el aserrín como sustrato. El crecimiento de las plantas en vivero está muy relacionado con el tamaño de partículas de aserrín. Pero, si existe un tamaño de partícula que es más favorable para el cultivo, en contenedor que los demás, y este va de 0.5 mm a 1.0 mm, sin embargo, para mejores características, es recomendable el uso equilibrado de los diferentes tamaños de partículas (Mateo, 2018).

Al analizar la granulometría del aserrín crudo obtenido de una sierra cinta de 6'' de ancho, los resultados obtenidos fueron los siguientes: partículas mayores a 2 mm 11% de 2 mm a 1 mm 25% de 11 mm a 0.5 mm 42%, de 0.5 mm a 0.25 mm 10%, y partículas menores a 0.25 mm 12%, esta granulometría puede variar dependiendo del aserradero, esto debido al ancho de la sierra y el calibre de la misma (Mateo, 2018).

El aserrín es un sustrato ligero, con una densidad aparente que varía de 0.1 a 0.45 g/cm⁻³. La porosidad total es superior al 80%, la capacidad de retención de agua es de baja a media, pero su capacidad de aireación suele ser adecuada (Maher et al., 2008).

5. Ventajas Del Uso Del Aserrín

- La ventaja principal del aserrín es, su bajo precio. Así que para los productores se reducen costos de producción, el cual se puede reducir de un 15 a un 30% (Morales et al., 2022).
- Favorece la retención de agua y contribuye a una mayor disponibilidad de los elementos nutritivos (Abad et al., 2020).
- Al usarse como sustrato, disminuye la contaminación en los tiraderos a cielo abierto de este material (FAO, 2022).

- Reduce la perdida de divisas al reducir la importación de peat moss (Ortega Sánchez et al., 2023).
- Se recicla un desperdicio, y se obtendrá un beneficio económico (Bustamante et al., 2008).
- Al tener una densidad baja, reduce el peso del sustrato al momento de utilizar bolsa y su transporte es más fácil (Morales et al., 2022).

6. Desventajas Del Aserrín

- Al ser un material orgánico entra en descomposición, lo que reduce su vida útil como sustrato, por lo que debe ser mezclado con otros sustratos. Sin embargo, su vida útil es mayor que el tiempo de producción anual en vivero (Abad et al., 2020).
- El aserrín tiene una superficie de exposición alta, mayor que la de la madera, por lo que la absorción de nitrógeno será mucho más acelerada para el suelo, por lo que no se recomienda tirar a cielo abierto (Ortega Sánchez et al., 2023).

7. *Pinus greggii*

El *Pinus greggii* es una especie de pino endémica de México con alto valor comercial, ecológico y de restauración. Su rápido crecimiento y capacidad de adaptación a diferentes tipos de suelo y climas lo hacen ideal para reforestaciones en zonas altas de la Sierra Madre Oriental (Gutiérrez et al., 2020).

7.1. Taxonomía Y Nomenclatura

- Reino: Plantae
- División: Pinophyta
- Clase: Pinopsida
- Orden: Pinales

- Familia: Pinaceae
- Género: *Pinus*
- Sección: *Pinus* (subgénero *Diploxyylon*)
- Especie: *Pinus greggii* Engelm. ex Parl.

Fue descrita por primera vez en el siglo XIX y nombrada en honor al botánico Josiah Gregg (Farjon, 2010).

7.2. Distribución Geográfica Y Hábitat Natural

Originario del norte y centro de México, se encuentra de forma natural en los estados de Coahuila, Nuevo León, Hidalgo, Querétaro, Puebla y Veracruz (Gutiérrez et al., 2020).

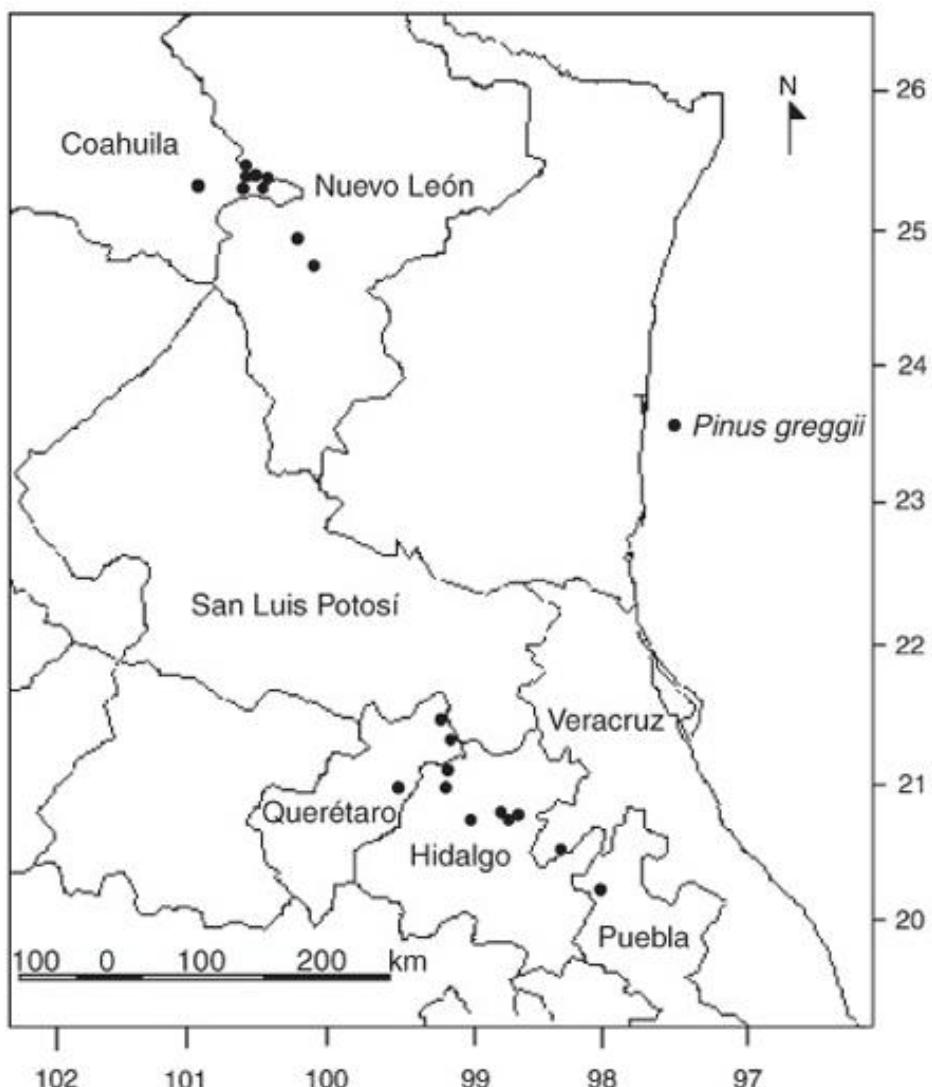


Figura 1 Distribución geográfica del *Pinus greggii*

7.3. Clima

- Temperatura promedio anual: 12-18 °C
- Precipitación anual: 600-1500 mm, concentrada en verano.

Estas condiciones son consistentes con los gradientes ecológicos reportados para las poblaciones naturales de la especie (Gutiérrez et al., 2020).

7.4. Tipos De Suelo

- Adisoles, luvisoles y cambisoles, con pH entre 5.5 y 7.0.
- Preferencia por suelos bien drenados, de origen volcánico o sedimentario.

La especie presenta buena tolerancia a suelos pobres y pedregosos, especialmente en localidades de alta montaña (Gutiérrez et al., 2020).

7.5. Asociaciones Vegetales

Esta especie suele crecer en bosques de pino-encino (*Quercus spp.*) y en comunidades mixtas de pino-oyamel (*Abies religiosa*) (Farjon, 2010; Gutiérrez et al., 2020).

7.6. Ecología

Es una especie heliófila, es decir, necesita luz directa para su desarrollo. Poco tolerante al sombreado en etapas adultas, llega a tolerar suelos pobres y con baja fertilidad. Promueve la formación de micorrizas con hongos del suelo, favoreciendo la absorción de nutrientes (Gutiérrez et al., 2020).

- Altitud: 1800-2900 msnm.
- Clima: Templado subhúmedo, con precipitaciones anuales entre 600-1500 mm.
- Suelos: Prefiere suelos profundos, bien drenados, de textura franca o franca-arenosa (Gutiérrez et al., 2020).

Cuadro 1 Rangos ecológicos principales

| VARIABLE | RANGO OPTIMO |
|--------------------------------|-------------------------|
| Altitud | 1800-2900 msnm |
| Temperatura Media Anual | 12-18°C |
| Precipitación Anual | 600-1500 mm |
| Tipo De Suelo | Franco a franco-arenoso |
| pH Del Suelo | 5.5-7.0 |

7.7. Características Botánicas

Pinus greggii es un pino de tamaño medio a grande, con características morfológicas adaptadas a condiciones de alta montaña de México (Farjon, 2010).

7.8. Morfología

- Altura: Comúnmente alcanza de 15 a 25 metros en plantaciones, pudiendo superar los 30 m en condiciones óptimas naturales (Farjon, 2010).
- Diámetro a la altura del pecho (DAP): hasta 80 cm.
- Copa: Piramidal en arboles jóvenes; amplia y extendida en arboles maduros (Farjon, 2010).
- Follaje: Verde brillante, relativamente denso.
- Sistema radical: En suelos profundos desarrolla una raíz pivotante robusta, fundamentalmente para su estabilidad y tolerancia a sequias (Rzedowski, 2006).
- Hojas (acículas): Fascículos de tres hojas de 10 a 20 cm de longitud, color verde azulado. Duración foliar de 2-3 años en promedio.
- Conos: Ovoides o ligeramente curvados de 5-10 cm.
- Semillas, de color pardo claro con un tamaño de 5-7 mm, dispersadas por viento (anemocoria) (Farjon, 2010).
- Corteza: Gruesa, fisurada de color marrón oscuro.
- Ramas: Horizontales en verticilos.

Estas características morfológicas han sido ampliamente documentadas en estudios de botánica forestal (Farjon, 2010).

Cuadro 2 Morfología

| ÓRGANO | DIMENSIÓN PROMEDIO |
|----------|--------------------|
| Acículas | 10-20 cm de largo |
| Conos | 5-10 cm de largo |
| Semillas | 5-7 cm de largo |
| DAP | 40-80 cm |

(Farjon, 2010)

7.9. Anatomía Interna

Presenta un xilema bien desarrollado compuesto por traqueidas gruesas, lo que favorece la conducción de agua y confiere resistencia estructural. El floema es funcionalmente eficiente en el transporte de fotosintatos, mientras que la abundante producción de resina constituye una de sus principales defensas naturales contra insectos y patógenos (Farjon, 2010).

Los anillos de crecimiento son marcados y permiten registrar variaciones anuales de temperatura y precipitación, rasgo común en especies de montaña (Gutiérrez et al., 2020)

7.10. Reproducción Y Fenología

La especie de *Pinus greggii* se reproduce sexualmente por semillas y alcanza la madurez reproductiva relativamente temprano para un pino, con registros que indican inicio de floración y producción de semilla en edades alrededor de 10 a 15 años en condiciones naturales y de plantación (Ortiz Mendoza et al., 2021). Su polinización es anemófila (por viento) y la dispersión de semilla también es anemocora; la producción de semillas puede presentar años de fuerte producción intercalados (intervalos de “masting”) y muestra variación espacial y entre procedencias (Ruiz Farfán et al., 2015). En ensayos y observaciones recientes se reporta que la floración ocurre principalmente en la primavera (marzo-junio según el sitio y el año) y la maduración de conos y semillas se

completa en otoño-invierno en muchos sitios (octubre-diciembre), aunque existen variaciones según la procedencia y las condiciones locales. Estas pautas fenológicas y la frecuencia de años de alta producción tienen implicaciones para el diseño de huertos semilleros y para programas de reforestación (Martínez Sifuentes et al., 2020).

7.11. Desarrollo Y Crecimiento

Tiene un crecimiento rápido en vivero y campo, su tasa de crecimiento en campo es de 1.5-2.5 m/año en sitios óptimos. Su biomasa aérea es importante desde el primer año. Factores que lo afectan (Sáenz-Romero et al., 2010):

- Calidad del sustrato.
- Disponibilidad de agua.
- Competencia vegetal.
- Fertilidad del suelo.

7.12. Requerimientos Ecológicos

Pinus greggii es una especie que presenta altos requerimientos de luminosidad, por lo que su establecimiento óptimo se logra en condiciones de plena exposición solar. Diversos estudios señalan que esta especie no tolera el sombreado prolongado y necesita crecer en sitios abiertos para mantener un desarrollo adecuado (Gutiérrez et al., 2020). En cuanto a suelos, prefiere aquellos con buena retención de humedad, pero sin saturación, ya que el exceso de agua puede limitar la oxigenación de la raíz y reducir su crecimiento. De igual forma, se recomienda evitar suelos arcillosos o compactados debido a su baja permeabilidad y escasa aireación, los cuales restringen el desarrollo radicular (López Upton et al., 2015).

Los nutrientes esenciales para su buen crecimiento incluyen nitrógeno, fósforo, hierro y manganeso, elementos fundamentales en la formación de tejidos nuevos y procesos fisiológicos como la fotosíntesis y el transporte de nutrientes (López Upton et al., 2015). En términos de tolerancia climática, muestra una resistencia moderada al viento, lo que permite su uso en zonas expuestas, aunque se

recomienda evitar sitios con vientos extremos que puedan causar inclinación o ruptura de tallos jóvenes (Gutiérrez et al., 2020).

7.13. Usos Y Valor Ecológico

Gracias a su rápido crecimiento y buena adaptación a suelos pobres, *P. greggii* es ampliamente utilizado en programas de restauración ecológica y reforestación en zonas degradadas del país. Su establecimiento vigoroso y capacidad de fijar el suelo lo convierten en una opción prioritaria para la recuperación de áreas erosionadas y laderas inestables (CONAFOR, 2020; Dvorak & Donahue, 2019).

Desde el punto de vista productivo, esta especie es aprovechada para la elaboración de madera destinada a empaques, tarimas, cajas, construcción ligera y carpintería, gracias a sus propiedades mecánicas aceptables y su disponibilidad local (Dvorak & Donahue, 2019). Dentro de los usos no maderables, destaca la extracción de resina y su potencial como especie de apoyo a la actividad apícola, ya que proporciona sombra y fuentes de polen en determinadas épocas del año; así mismo, su rusticidad le permite convertirse en un recurso estratégico para comunidades rurales que dependen de los bosques como fuente de ingresos y servicios ambientales (Rzedowski, 2006).

7.14. Importancia Ecológica Y Social

Los bosques de *P. greggii* desempeñan un papel crucial dentro de los corredores ecológicos de las zonas altas de México, al actuar como hábitat para una amplia variedad de fauna silvestre, incluyendo aves como zorzales y chipes, así como insectos polinizadores (Gutiérrez et al., 2020). Además, su asociación natural con hongos micorrílicos favorece la fertilidad del suelo y la disponibilidad de nutrientes, lo que mejora el funcionamiento general del ecosistema. En estos bosques también se desarrollan hongos comestibles y organismos clave para la salud del suelo, lo que refuerza su valor biológico (Sánchez González & López Mata, 2020).

Desde el punto de vista social, es una especie importante para comunidades locales debido a su uso en actividades madereras y no madereras, así como por su contribución a la estabilidad de los recursos hídricos y la protección de suelos. Su capacidad para establecerse en terrenos degradados lo convierte en un componente fundamental de programas de restauración y desarrollo forestal comunitario (CONAFOR, 2020).

7.15. Adaptación Al Cambio Climático

Tiene capacidad de aclimatación a suelos degradados y poca competencia interespecífica. Su plasticidad fenotípica permite usarlo en proyectos piloto de restauración asistida (Sáenz-Romero et al., 2010).

7.16. Producción De Plántulas En Vivero

La producción de plántulas de calidad es un requisito para garantizar el éxito en proyectos de reforestación y restauración ecológica. Los principales factores que determinan la calidad de la planta en vivero son:

- Genética adecuada.
- Condiciones de cultivo optimas (riego, sombra, fertilización).
- Selección del sustrato (García et al., 2020).

La etapa de vivero debe permitir el desarrollo de un sistema robusto, resistencia al estrés hídrico y adaptación al sitio de plantaciones (García et al., 2020).



Figura 2 Etapa en vivero

(García et al., 2020)

- Semilla: Selección y pretratamiento.
- Germinación: Sustrato aireado y húmedo.

- Plántula: Crecimiento vegetativo.
- Endurecimiento: Adaptación a condiciones de campo.

Para su germinación esta especie no requiere de escarificación, los sustratos sugeridos son, mezclas de aserrín compostado, perlita y vermiculita (García et al., 2020).

Los contenedores con tubetes de 150-250 cc, requiere de un riego diario en las primeras etapas, una fertilización de 50-100 ppm NPK, según su etapa. El tamaño ideal de la planta para su trasplante es de 20-25 cm con 4-6 meses de edad (García et al., 2020).

7.17. Aspectos Ecológicos Relevantes Para Fase En Vivero

La germinación de *P. greggii* presenta una latencia primaria muy baja, lo que permite que las semillas inicien su proceso germinativo después de su recolección siempre que se mantengan condiciones adecuadas de humedad y temperatura. No obstante, diversos estudios han demostrado que la velocidad y el porcentaje de germinación pueden variar ampliamente según la procedencia, lo que refleja la plasticidad ecológica de la especie (Mendizábal Hernández et al., 2015).

Se evaluaron cinco procedencias de *P. greggii* y se reportaron porcentajes de germinación promedio cercanos al 70%, así como tiempos para alcanzar el 75% de germinación que oscilaron entre 20 y 40 días. Estos resultados indican que, aunque la germinación puede iniciar tempranamente, el proceso completo suele prolongarse varias semanas, especialmente en procedencias de altitud elevada. En general, las temperaturas moderadas alrededor de 20°C y una humedad constante favorecen el proceso germinativo, características propias de los almácigos de vivero tecnificado (Mendizábal Hernández et al., 2015).

7.18. Manejo En Vivero

La propagación de *Pinus greggii* se realiza principalmente por semilla. Es fundamental que las semillas provengan de árboles sanos, libres de plagas y enfermedades, con un buen vigor y producción de frutos, y preferiblemente de

fuste recto sin ramificaciones bajas, para asegurar la transmisión de dichas características a la descendencia (Maldonado Benítez et al., 2011). Además, en ensayos reciente se ha comprobado que otros métodos de propagación como el injerto para la especie (y sus variedades) requieren de un protocolo especializado de vivero y mejor selección genética del material semillero, lo cual refuerza la necesidad de emplear semillas de alta calidad desde el origen (Castro Garibay et al., 2023).

7.19. Recolección

La producción de conos suele iniciarse a edades relativamente tempranas, generalmente entre los seis y ocho años, aunque esto puede variar según la procedencia y las condiciones del sitio (Márquez Ramírez et al., 2022). La recolección se realiza cuando los conos se encuentran fisiológicamente maduros; para ello, se efectúan pruebas de corte o de coloración que permitan confirmar el grado de madurez de la semilla (Rivas, 2020). Los conos se recolectan escalando los árboles o utilizando garrochas especiales de corte, procurando no dañar las ramas ni los meristemos de crecimiento, ya que esto puede afectar la producción de la siguiente temporada (Rivas, 2020).

Los conos se colocan en sacos etiquetados y se mantienen en lugares sombreados y ventilados hasta su traslado al vivero. En el vivero se secan para reducir su contenido de humedad y promover la apertura de las escamas. Los métodos más utilizados incluyen el secado al aire con corrientes de aire seco o en hornos con temperatura controlada; en especies con conos serótinos se recomienda la inmersión en agua caliente (40-60°C) antes del secado, para facilitar la apertura y liberación de las semillas (Wyse et al., 2019; Liu et al., 2025). Estas prácticas permiten obtener semillas viables y de buena calidad para la propagación en vivero.

7.20. Tratamientos Pre Germinativos

Esta especie no requiere de un tratamiento específico, se recomienda el remojo de las semillas en agua a temperatura ambiente, por un periodo de 24 horas. Después se debe escurrir el exceso de agua y sembrarse inmediatamente. Por

otro lado, es recomendable aplicar previamente a la siembra un tratamiento con algún fungicida para evitar el ataque de hongos. Las semillas de esta especie no germinan a temperaturas menores a los 5°C, ni mayores a los 40°C, el intervalo de grados recomendable para la germinación es de 20°C a 30°C (Bonner et al., 2008).

7.21. Método De Siembra

La siembra de semillas en vivero para *P. greggii* puede llevarse a cabo directamente en envases individuales o mediante almacigo. Cuando se realiza la siembra directa, se recomienda colocar de 2 a 3 semillas por envase; en el caso de siembra en almacigo, el repique a envases debe efectuarse cuando las plántulas alcancen aproximadamente de 3 a 4 cm de altura y presenten lo que se conoce como “cabeza de cerillo”, antes de que emergan las acículas primarias (Castro Garibay et al., 2018).

En cuanto al tipo de envase, estudios recientes muestran que el uso de bolsas de polietileno, charolas de poliestireno expandido o sistemas equivalentes recubiertos para poda química de raíces mejoran la calidad de la planta (Castro Garibay et al., 2018; Vázquez Cisneros et al., 2018). Asimismo, se ha documentado que la sombra parcial en los rodales de crecimiento favorece el desarrollo radicular y aéreo (Vázquez Cisneros et al., 2018).

El sustrato debe tener una textura media, buena capacidad de retención de humedad, y drenaje suficiente; además, debe ser libre de sales excesivas y contener materia orgánica disponible (preferiblemente con un pH moderadamente ácido, aproximadamente 5.0-5.5) para optimizar el crecimiento de plántulas (Vicente Arbona et al., 2019). Estas condiciones contribuyen a producir plántulas de mayor calidad y mejores posibilidades de establecimiento.

7.22. Manejo De La Planta

El principal reto fitosanitario en viveros de *P. greggii* lo constituyen a los hongos asociados al “mal del talluelo” (damping-off), entre los cuales destacan géneros como *Fusarium*, *Phytophthora*, *Pythium* y *Rhizoctonia*. Un estudio reciente en

vivero documentó la morfología e incidencia de *Fusarium* aislados de plántulas de *P. greggii* en México y señaló la necesidad de prácticas preventivas modernas (Sarmiento López et al., 2024).

Para minimizar la incidencia de enfermedades, se recomienda reducir la densidad de siembra en bandejas o bolsas, asegurar una ventilación adecuada y emplear sustratos con buena aireación más que métodos severos de acidulación del riego, los cuales han quedado en desuso debido al riesgo para la planta y operador (Sarmiento López et al., 2024).

En cuanto al manejo hídrico, aunque la especie no tolera fácilmente períodos prolongados de sequía en vivero, los sistemas modernos apuntan a un balance entre riego frecuente y drenaje efectivo, evitando la saturación constante que favorece hongos radiculares (Ojeda et al., 2023). La fertilización foliar y de liberación lenta sigue siendo clave: un ensayo realizó la comparación entre fertilizante soluble y de liberación controlada para *P. greggii* en vivero, encontrando que sistemas modernos de liberación controlada optimizan la calidad de planta y reducen el riesgo fitosanitario (Ojeda et al., 2023).

El mantenimiento incluye control continuo de malezas en pasillos y contenedores para evitar competencia, así como la selección de la plántula más vigorosa por envase y el desecho de las demás, práctica que se sigue recomendando, aunque con mejoras en momento y criterios de selección. Para el endurecimiento de planta antes del trasplante, los protocolos actuales sugieren reducir gradualmente la fertilización, exponer a luz más directa, alternar riegos y realizar una poda ligera de raíces, aunque no necesariamente “15 días antes”, sino adaptada al estado de la planta (Vázquez Cisneros et al., 2023).

El periodo total de producción en vivero varía según el sistema: los ensayos con charolas de poliestireno expandido y poda química muestran tiempos de 5 a 7 meses, mientras que sistemas tradicionales llegan a 7-8 meses. El trasplante al sitio definitivo se realiza cuando las plántulas alcanzan entre 25 y 30 cm o muestran un índice de calidad de planta viable para campo (Ojeda et al., 2023).

LITERARUTA CITADA CAPITULO 1

- Abad, M., Noguera, P., & Bures, S. (2020). National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: Case study in Spain. *Bioresource Technology*, 77(2), 197–200.
- Álvarez, J., Hernández, M., & Gómez, R. (2021). Calidad de sustratos en viveros forestales: retos y perspectivas. *Revista Forestal Latinoamericana*, 36(2), 55–67.
- Argo, W. R., & Fisher, P. R. (2019). Understanding pH management for container-grown crops. *Greenhouse Grower Technical Report*, 45(3), 22–28.
- Barrera, C., Morales, E., & Vázquez, L. (2022). Residuos orgánicos como sustratos alternativos en viveros. *Agroecología y Sustentabilidad*, 14(1), 33–45.
- Bonner, F. T., & Karrfalt, R. P. (2008). *The woody plant seed manual*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Bustamante, M. A., Paredes, C., Moral, R., Agulló, E., Pérez-Murcia, M. D., & Abad, M. (2008). Assessing composts from agricultural wastes as components of growing media. *Bioresource Technology*, 99(11), 4499–4506. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.08.067>
- Cabrera, R. I. (2019). Considerations for managing pH and soluble salts in soilless substrates. In Container nursery production and business management manual (pp. 81–95). Texas A&M University Press.
- Cacique Valdés, R., Galindo García, F., Tedersoo, L., Anslan, S., Cornejo Oviedo, E. H., & Sánchez-Peña, S. R. (2020). Profiling the community structure of ectomycorrhizal fungi at endemic pine (*Pinus greggii*) stands of northeastern Mexico. *Southern Forests: A Journal of Forest Science*, 82(3), 292-302.
- Castro-Garibay, S. L., Villegas-Monter, Á., López-Upton, J., Sandoval-Villa, M., & Arévalo-Galarza, L. (2018). *Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de Pinus greggii var. australis en vivero*. Agrociencia, 52(10), 1658.
- Castro-Garibay, S. L., Villegas-Monter, Á., López-Upton, J., Sandoval-Villa, M., & Arévalo-Galarza, L. (2023). Effective protocol to increase the percentage of grafting success of *Pinus greggii* Engelm. var. australis Donahue & López. *AGRIS – International System for Agricultural Science and Technology*.

Cervantes, V., M. López, N. Salas y G. Hernández. (1996). En Prensa. Técnicas para Propagar Especies Nativas de la Selva Baja Caducifolia y Criterios para Establecer Áreas de Reforestación. Facultad de Ciencias, UNAM-PRONARE SEMARNAP

CONAFOR. (2020). *Informe de resultados del Programa Nacional de Reforestación*. Comisión Nacional Forestal, México.

Cruz-Crespo, A., Rodríguez, L., & Ortega, J. (2021). Propiedades del aserrín compostado en la producción de *Pinus patula*. *Bosques y Desarrollo*, 17(3), 44–53.

De Boodt, M., & Verdonck, O. (2019). The physical properties of the substrates in horticulture. *Acta Horticulturae*, 26, 37–44.

Donahue, J. K. y J. López-Upton, (1999). A new variety of *Pinus greggii* (Pinaceae) in Mexico, *Sida* 18(4): 1083-1093.

Dubey, S. G. (2015). Effect of Sawdust as a Growing Medium on Seedling Growth and Root Development of Different Tree Species International Journal of Environmental Sciences, págs. 108-116.

Dvorak, W. S., & Donahue, J. K. (2019). *Conservation and use of forest genetic resources of Pinus greggii in Mexico*. International Forestry Review, 21(3), 367–382.

Evans, M., Gachukia, M., & Pettersen, A. (2020). Physical properties of horticultural substrates. *Horticulture Science Review*, 45(1), 1–15.

FAO. (2022). *Forest products and circular bioeconomy in Latin America and the Caribbean*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://doi.org/10.4060/cb7948en>

Farjon, A. (2010). *A Handbook of the World's Conifers*. Brill Academic

Figueroa, A., López, G., & Martínez, P. (2017). Aprovechamiento de residuos madereros como sustratos alternativos en vivero. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 23(2), 199–210.

Gabriel. (2018, abril 30). Cuál es la forma correcta de usar el aserrín en el huerto y el jardín – Consejos y Precauciones – Cosas del Jardín. Cosas del Jardín, <https://www.cosasdeljardin.com/como-hacer-un-huerto-organico/preparados-y-fertilizantes-organicos/cual-es-la-forma-correcta-de-usar-el-aserrin-en-el-huerto-y-el-jardin-consejos-y-precauciones/>

García-Cedeño, A., Vargas-Hernández, J. J., & López-Upton, J. (2020). Nursery practices and seedling quality of Mexican pine species for reforestation programs. *Forest Ecology and Management*, 472, 118227.

González de la Rosa, L., Mateo Sánchez, J. J., Suárez Islas, A., Capulín Grande, J., & Pacheco Trejo, J. I. (2024). *Utilización de desperdicios de la industria primaria de la madera para producción de planta en vivero*. Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP, 9(Especial), 37–45.

González Orozco, M. M., Prieto Ruíz, J. A., Aldrete, A., Hernández Díaz, J. C., Chávez Simental, J. A., & Rodríguez Laguna R. (2018). Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero. Revista mexicana de ciencias forestales, 9(48), 203-225.

Gumy, F., Morales, R., & Soto, A. (2019). Efecto del aserrín compostado en la calidad de plántulas de especies forestales. *Bosque (Valdivia)*, 40(1), 55–64.

Gutiérrez, A. C., Vargas-Hernández, J., López-Upton, J., & Sáenz-Romero, C. (2020). Ecological and genetic variation of *Pinus greggii* in Mexico: Implications for conservation and reforestation programs. *Forest Ecology and Management*, 456, 117651. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.117651>

Gruda, N., & Schnitzler, W. (2019). Growing media for horticultural crops. *Acta Horticulturae*, 1266, 3–24.

Handreck, K., & Black, N. (2021). Growing media for ornamental plants and turf (4th ed.). UNSW Press.

Heaton, K., & Rúter, J. M. (2011). The Use of Sawdust as a Substrate in Containerized Plant Production. *HortScience*, págs. 58-61.

- Jensen, F. E., T. K. Cristensen, J. Baadsgaard y F. Stusbsgaard. 1996. Escalamiento De Árboles Para La Recolección De Semillas. CATIE-PROSEFOR. Turrialba, Costa Rica.
- JICA. (2014). Guía Técnica: Manejo De Viveros Forestales. Ecuador.
- Joy, R., & Thurtell, G. W. (1981). Effects of Peat Sphagnum Moss, and Sawdust on Lodgepole Pine Seedling Growth and Root Morphology. Canadian Journal of Forest Research, 11(1), 82-88.
- Landis, T. D. (1990). *The Container Tree Nursery Manual. Volume 2: Containers and Growing Media*. USDA Forest Service, Agriculture Handbook 674.
- Lemaire, F. (2020). Physical, chemical and biological properties of growing media. *Acta Horticulturae*, 878, 57–69.
- Liu, Y., Zhang, T., & Wang, X. (2025). *The serotinous cones of Pinus spp.: physiological and chemical traits affecting cone opening and seed protection*. *Fire Ecology*.
- López-Upton, J., Sáenz-Romero, C., & Vargas-Hernández, J. (2015). *Requerimientos ecológicos y variación adaptativa en coníferas mexicanas*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 21(1), 45–62.
- Luna, R. (1999). *Silvicultura de las especies forestales de México*. INIFAP.
- Madrid-Aispuro, R. E., Prieto-Ruiz, J. Á., Aldrete, A., Hernández-Díaz, J. C., Wehenkel, C., Chávez-Simental, J. A., & Mexal, J. G. (2025). *Alternative substrates and fertilization doses in the production of Pinus cembroides Zucc. in nursery*. *Forests*, 16(1), 71.
- Maher, M.; Prasad, M.; Raviv, M. 2008. Organic Soilless Media Components In Soilless Culture: Theory and Practice. RAVIV, M.; LIETH J. H. (Eds). Editorial Elsevier. United Stated of America. 459-504 pp.
- Maldonado-Benítez, K., Aldrete, A., López-Upton, J., Vaquera-Huerta, H., & Cetina-Alcalá, V. M. (2011). Producción de *Pinus greggii* Engelm. en mezclas de sustrato con hidrogel y riego, en vivero. *Agrociencia*, 45(3), 389-398.

Mateo Sánchez, J. J. (2018). PRODUCCION DE PLANTA FORESTAL EN VIVERO, EN SUSTRATOS A BASE DE ASERRIN CRUDO. Hidalgo.

Marín, G. G., Riveros, E. P. M., & Botía, F. L. (2005). Uso de aserrín y acículas como sustrato de germinación y crecimiento de *Quercus humboldtii* (roble). *Colombia forestal*, 9(18), 98-108.

Martínez-López, J., Pérez, G., & Soto, A. (2022). Evaluación de mezclas de sustratos alternativos en viveros forestales. *Forestal y Ambiente*, 28(2), 99–112.

Martínez, M. (1994). Catálogo de Nombres Vulgares y Científicos de las Plantas Mexicanas. Fondo de Cultura Económica, México, D. F.

Martínez-Sifuentes, A. R., et al. (2020). *Spatial modeling of the ecological niche of Pinus greggii and implications under climate change*.

Márquez-Ramírez, J. (2022). Comparación de dos cosechas de *Pinus greggii* en Huayacocotla y Naolinco. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(70), 1-10.

Mendizábal-Hernández, L. C., Alba-Landa, J., Rodríguez-Juárez, M. C., Ramírez-García, E. O., Márquez-Ramírez, J., & Cruz-Jiménez, H. (2015). *Estudio de germinación de cinco procedencias de Pinus greggii Engelm. Foresta Veracruzana*, 17(1), 49–56.

Morales, A., Hernández, J., & Díaz, L. (2022). Physical properties of sawdust-based substrates in forest plant production. *Journal of Forestry Research*, 33(6), 2157–2168.

Morales-Hernández, J., Pérez-Salicrup, D. R., & Ramírez-Herrera, C. (2021). Efecto de sustratos alternativos en la producción de *Pinus greggii* en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(65), 115–130.

McKell, C. M., & Fisher, H. D. (1964). Growth of Lodgepole Pine Seedlings in Sawdust Soil Mixtures. *Plant Physiology*, 39(6), 959-961.

Needham, D. W. (2017). Evaluation of Sawdust as a Growing Medium for Nursery Crop Production. *HortScience*, págs. 851-855.

O. A. Ojeniyi, I. O. (2016). Utilization of Sawdust in Horticultural Crop Production: A Review. *Journal of Agriculture and Environmental Sciences*, págs. 123-132.

Ojeda, G. I., Martín, S., & López, G. (2023). *Optimizing nursery practices for Pinus greggii: irrigation, fertilization and health management*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 14(68), 45-58.

Ortega, U., Smith, J., & Gárate, A. (2013). Sustratos alternativos para viveros forestales en México. *Agrociencia*, 47(4), 389–402.

Ortiz-Mendoza, R., Aguirre-Calderón, O. A., Gómez-Cárdenas, M., Treviño-Garza, E. J., & González-Tagle, M. A. (2021). Crecimiento de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. ex Parl. en suelos degradados de la Mixteca Alta, Oaxaca. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 12(64).

Pérez, A., Salgado, S., & García, A. (2007). Utilización de residuos de aserradero como sustrato para viveros forestales. *Revista Chapingo*, 13(2), 137–143.

Pineda-Pineda, J., Castillo, del, Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A., & Carmen, del. (2012). Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, 18(1), 95–111.

Prieto, J., Martínez, E., & Ríos, C. (2018). Sustratos locales para la producción de planta forestal: avances y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 55–70.

Prieto Ruiz, J. Á., Aldrete, A., Hernández Díaz, J. C., Chávez Simental, J. A., & Rodríguez Laguna, R. (2018). Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de *Pinus cooperi* Blanco en vivero. *Revista mexicana de ciencias forestales*, 203-225.

Prieto-Ruiz, J., Fernández, C., & Torres, P. (2019). Calidad de planta de *Pinus greggii* en función de sustratos y fertilización. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(53), 88–105.

RAE, & RAE. (2023, May 21). Diccionario panhispánico de dudas RAE - ASALE. “Diccionario Panhispánico de Dudas.” <https://www.rae.es/dpd/aserr%C3%ADADn>

Raviv, M., & Lieth, J. H. (2020). *Soilless culture: Theory and practice* (3rd ed.). Academic Press.

Richards, D., & Lane, M. (2021). Chemical buffering capacity of soilless substrates and its implications for crop nutrition. *Journal of Horticultural Science*, 96(4), 417–428.

Rivas, J. A. M. (2020). *Potencial productivo de conos y semillas de dos especies del género Pinus. Ciencias Forestales (INIFAP)*.

Rodríguez, M. A., Aldrete, A., Téllez, L. I. T., & Chaparro, V. M. O. (2021). Sustratos con aserrín de coníferas y latifoliadas para producir planta de *Pinus patula* schiede ex schltdl. *Et cham. Agrociencia*, 55(8), 719-732.

Rojas, A., Mejía, S., & Castaño, J. (2019). Aprovechamiento de la cascarilla de café en viveros. *Ciencia y Café*, 7(1), 25–36.

Rosales-Serna, R., Basave-Villalobos, E., Ríos-Saucedo, J. C., Santana-Espinoza, S., Domínguez-Martínez, P. A., & Sierra-Zurita, D. (2021). Pruning and fertilization in young *Pinus greggii* plantations established at Durango, Mexico. *Agro Productividad*, 14(12), 173-180.

Ruiz-Farfán, D. G., López-Upton, J., Ramírez-Herrera, C., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2015). *Fenología reproductiva en un ensayo de progenies de Pinus greggii var. australis*. *Revista Fitotecnia Mexicana*.

Rzedowski, J. (2006). *Vegetación de México*. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.

Sánchez-González, A., & López-Mata, L. (2020). *Bosques templados de México: diversidad, ecología y conservación*. *Revista Mexicana de Biodiversidad*, 91(3), e913450.

Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Duval, P., & Beaulieu, J. (2010). Role of selection and plasticity in tree response to climate change. *Tree Genetics & Genomes*, 6(4), 471–485.

Sánchez-Monedero, M. A., Serramiá, N., Civantos, C. G., & Roig, A. (2004). Composting of a mixture of pruning waste and solid organic waste from olive oil mill. *Bioresource Technology*, 92(3), 257–262.

Sarmiento-López, H., García-Díaz, S. E., Alvarado-Rosales, D., & Cibrián-Tovar, D. (2024). *Morphology and pathogenicity of Fusarium isolated from Pinus greggii seedlings in nurseries*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 15(5), e3722.

Serrano, M., López, E., & Carrillo, J. (2020). Compost de corteza de pino como sustrato para producción de plantas forestales. Bosque y Sociedad, 12(4), 58–70.

Serret Guasch, N., Giralt Ortega, G., & Quintero Ríos, M. (1 de septiembre de 2016). Redalyc. Recuperado el 11 de Junio de 2024, de Redalyc: <https://www.redalyc.org/journal/4455/445546669012/html/#:~:text=El%20aserr%C3%20ADn%20es%20el%20conjunto,paneles%20contrachapados%20y%2Fo%20aglo%20merados>.

Sonneveld, C., & Voogt, W. (2020). *Plant nutrition of greenhouse crops* (2nd ed.). Springer.

Valdez-Hernández, J. I., Gómez, J. M., & Sánchez, M. (2021). Uso de subproductos forestales como sustratos alternativos en vivero. *Madera y Bosques*, 27(2), e2722016.

Vargas H., J. J. y A. Muñoz O. 1991. Potencial hídrico, transpiración y resistencia estomatal en plántulas de cuatro especies de Pinus. *Agrociencia, Serie Recursos Naturales Renovables* 1(3): 25-38.

Vázquez-Cisneros, I., et al. (2018). *Crecimiento y supervivencia de una plantación de Pinus greggii Engelm. en suelos degradados*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 9(52), 157-169.

Vázquez-Cisneros, I., Gómez, J., & Camacho, M. Á. (2023). *Hardening-off protocols and container optimization for Pinus greggii in forest nurseries*. Agroforestal Ciencia y Tecnología, 9(2), 112-123.

Verdonck, O., Penninck, R., & De Boodt, M. (2021). The influence of substrate physical properties on plant growth. *Acta Horticulturae*, 126, 249–258.

Vicente-Arbona, J. C., Carrasco-Hernández, V., & Rodríguez-Trejo, D. A. (2019). *Calidad de planta de Pinus greggii producida en sustratos a base de aserrín*. Madera y Bosques, 25(2), e2521784.

Weetman, G. F., & Van Nostrand, J. C. G. M. (1988). Sawdust Effects on Water and Nutrient Retention in Nursery Soils. *Canadian Journal of Soil Science*, 68(4), 723-731.

Wyse, S. V., Perry, G. L. W., & Curran, T. J. (2019). *Seed release by a serotinous pine in the absence of fire*. *AoB Plants*, 11(6), plz077.

CAPITULO 2

PRODUCCIÓN DE *Pinus greggii* EN SUSTRATO DE ASERRÍN CRUDO

INTRODUCCIÓN

La deforestación y la degradación de ecosistemas forestales representan problemas ambientales de escala mundial. Frente a este desafío, la reforestación y restauración de áreas degradadas constituyen estrategias prioritarias. La producción de plántulas de calidad en vivero es un elemento crítico que influye directamente en el éxito de estas acciones (Sáenz Romero et al., 2010).

En México, *Pinus greggii* es una de las especies preferidas para un programa de reforestación, gracias a su rápido crecimiento, adaptabilidad a diversos tipos de suelo y tolerancia a condiciones climáticas variables (Perry, 1991). Originario de zonas montañosas del norte y centro del país, este pino se desarrolla en altitudes entre 1800 y 2900 msnm, en climas templado-subhúmedos.

El éxito en la producción de plántulas en vivero depende en gran medida de la calidad del sustrato utilizado. Idealmente, este debe poseer características como buena retención de agua, adecuada aireación, estabilidad física, y un balance apropiado de nutrientes (Landis et al., 1990). No obstante, los sustratos tradicionales, como la turba, presentan limitaciones económicas y ambientales: la extracción de turba contribuye a la degradación de humedales y su costo de importación resulta elevado en muchos países latinoamericanos.

En este contexto, surge la necesidad de explorar alternativas más sustentables. Uno de los residuos más prometedores es el aserrín, el cual se genera en altos volúmenes por la industria maderera. Estudios recientes muestran que el aserrín puede emplearse efectivamente como componente principal o parcial de mezclas de sustrato para plántulas forestales, siempre que se manejen adecuadamente las proporciones, la maduración o compostaje y se complemente con fertilización o inoculación micorrízica (Vicente Arbona et al., 2019; Mariotti et al., 2023).

Por ejemplo, un estudio con *Pinus greggii* demostró que un sustrato con 80% de aserrín y 20% de corteza de pino, combinado con fertilizante de liberación controlada e inoculación con hongo ectomicorrízico, produjo plántulas de calidad media-alta en vivero (Vicente Arbona et al., 2019). Más aún, revisiones globales sobre sustratos alternativos indican que materiales como aserrín, corteza compostada, residuos agrícolas, fibra de coco están ganando terreno como alternativas competitivas frente a la turba, siempre que se adapten al contexto regional (Mariotti et al., 2023).

Además del aserrín, otros componentes de sustrato alternativo que han mostrado eficacia incluyen la corteza compostada de pino, residuos forestales y mezclas orgánicas sin turba, que ofrecen ventajas adicionales en cuanto a sustentabilidad, costo y reducción del impacto ambiental de extracción de turba (Rotowa et al., 2025).

Por lo tanto, la combinación de un sustrato alternativo bien formulado (que incluya aserrín o materiales similares) con buenas prácticas de fertilización, riego y manejo de planta representa una vía prometedora para la producción de plántulas de calidad para programas de reforestación, especialmente en especies adaptativas como *P. greggii* (Rotowa et al., 2025).

1. OBJETIVO

Uso del aserrín crudo como sustrato para la producción de *Pinus greggii* en vivero con diferente tamaño de partícula.

2. HIPÓTESIS

El uso de aserrín crudo, usado como sustrato alternativo permite una germinación y crecimiento inicial de *Pinus greggii* comparable al obtenido con sustratos tradicionales en vivero.

3. MATERIALES Y METODOS

3.1. Ubicación Del Ejido

El estudio se desarrolló dentro del vivero forestal del ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, situado en el municipio de Chignahuapan, al norte del estado de Puebla. El área experimental se localiza en las coordenadas UTM 593521 E y 2207342 N, dentro de la Zona 14Q, y se forma parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico. La altitud del sitio es cercana a los 2,700 metros sobre el nivel del mar (INEGI, 2009).

Las características climáticas del área se obtuvieron de la estación meteorológica más próxima, denominada “Chignahuapan” (ID 21140), ubicada a 2,291 msnm. De acuerdo con los registros históricos, la zona presenta un clima templado subhúmedo con lluvias en verano, clasificado como C(w1) bajo el sistema de Köppen modificado por García (año de modificación). La temperatura media anual es de 12.4°C y la precipitación promedio alcanza los 709.5 mm por año (CONAGUA, s.f.). (Buscar fecha)

Este ejido posee, desde hace más de dos décadas, un Banco de Germoplasma Forestal certificado por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Forestales (SEMARNAT), el cual se encuentra dentro del propio ejido y adyacente al vivero donde se realizó el estudio.

Gracias a esta infraestructura, el ejido Peñuelas Pueblo Nuevo dispone de personal especializado perteneciente a la misma comunidad, responsable de la recolección y manejo de semillas forestales utilizadas en las actividades de producción de planta.

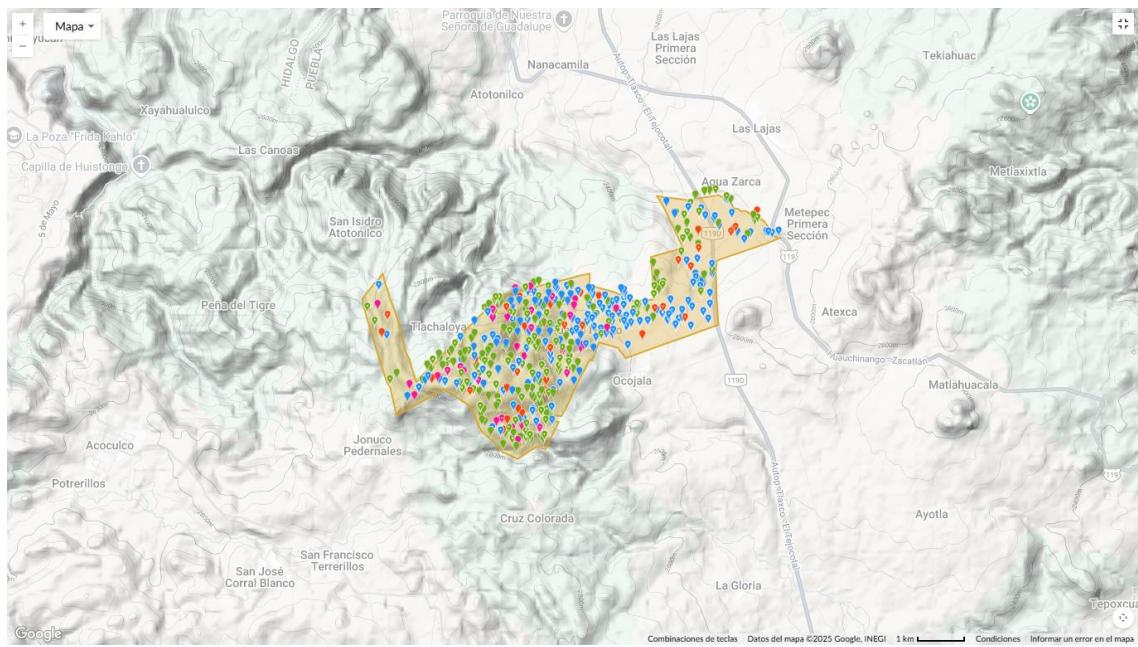


Figura 3 Ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, Chignahuapan, Puebla

3.2. Procedencia De La Semilla

La semilla de *Pinus greggii* utilizada en este estudio provino de un huerto semillero de la misma especie establecidos dentro del Ejido Peñuelas Pueblo Nuevo. Se hizo la recolección de los estróbilos femeninos maduros en el mes de octubre en 2019, utilizando costales de henequén con capacidad de 40 dm³, los cuales fueron transportados al vivero forestal del ejido en un vehículo tipo camioneta. Posteriormente, las piñas fueron secadas al aire libre durante una semana, periodo en que se liberaron las semillas junto con diversas impurezas, mismas que fueron separadas manualmente del material vegetal.

Las actividades de beneficio y limpieza de la semilla se llevaron a cabo en el patio anexo al Banco de Germoplasma del ejido, en el mismo año de la recolección. Estas labores incluyeron la eliminación de restos de acículas, fragmentos de escamas de conos y pequeñas ramas, con el objetivo de obtener semilla limpia y de alta calidad fisiológica.

El Banco de Germoplasma Forestal del ejido, certificado por la SEMARNAT, realizó la caracterización de la semilla de *P. greggii*, obteniendo los siguientes indicadores:

- Pureza: 93%
- Porcentaje de germinación: 88%
- Numero de semillas por kilogramo: 33,200
- Porcentaje de humedad: 17%

El tiempo de almacenamiento de la semilla en el Banco de Germoplasma antes de su utilización en el establecimiento del experimento fue de 11 meses, manteniéndose en condiciones controladas de temperatura y humedad relativa, lo que permitió conservar su viabilidad y calidad fisiológica para el proceso de producción en vivero.

3.3. Origen y características del sustrato de aserrín

El aserrín empleado como componente del sustrato en esta investigación fue obtenido directamente del aserradero del ejido Peñuelas Pueblo Nuevo. Este material se recolectó específicamente de las sierras cintas utilizadas para el corte de trocería provenientes de los bosques del mismo ejido, lo que aseguró un origen local y homogéneo.

El aserrín correspondía a residuos frescos de aserrío con menos de tres días de antigüedad, generados principalmente a partir de madera, la cual fue verificada en el momento de la recolección para garantizar la pureza del material utilizado como sustrato.

Una vez recolectado, el aserrín fue transportado al vivero forestal en un camión de volteo con capacidad de 9 m³, aprovechando al máximo el volumen de carga. En el área de preparación de sustratos, el material fue sometido a un proceso de tamizado utilizando una malla con abertura de tres cuartos de pulgada (3/4”), con el propósito de retirar fragmentos de corteza, pedazos grandes de madera y otros residuos sólidos no deseados. Este procedimiento permitió obtener un sustrato de textura uniforme y libre de impurezas, adecuado para su posterior utilización en la producción de plántulas.

3.4. Lavado y desinfectado de charolas

Con el propósito de garantizar que las condiciones de cultivo fueran completamente sanitarias y reducir la aparición de patógenos en etapas tempranas (particularmente enfermedades asociadas a la pudrición de plántulas), se implementó un protocolo estricto de limpieza y desinfección del material reutilizable, incluyendo las charolas de 49 cavidades y los tubetes empleados en la siembra.

El procedimiento comenzó con una limpieza mecánica detallada. Cada pieza fue lavada a mano utilizando un cepillo rígido y jabón biodegradable, con el fin de eliminar cualquier residuo de sustrato, raíces secas o restos orgánicos provenientes de ciclos anteriores. Una vez concluida esta fase, se procedió a la desinfección química: las charolas y tubetes fueron sumergidos en una solución de hipoclorito de sodio preparada con 10 ml de cloro comercial para cada litro de agua, logrando una concentración cercana al 1%. El material permaneció en remojo durante 15 minutos para asegurar la eliminación de microorganismos. Finalmente, se realizó un triple enjuague con agua limpia y las piezas se colocaron a escurrir en un área designada como zona sanitaria hasta su completo secado y posterior uso.



Figura 4 Lavado y desinfección de las charolas y los tubetes



Figura 5 Acondicionamiento y estibado de las charolas

3.5. Formulación de tratamientos y tamizado del aserrín como sustrato

El proceso de preparación del aserrín inició con un tamizado preliminar utilizando una malla comercial de $\frac{3}{4}$ de pulgada (19 mm), cuyo propósito fue separar materiales no deseados como fragmentos grandes de madera, trozos de corteza, astillas y otros residuos generados durante el aserrío. Este primer filtrado permitió obtener un material más uniforme y adecuado para el manejo posterior.

Posteriormente, el aserrín fue sometido a un segundo tamizado, empleando cernidores metálicos de uso en el área ferretera, con el objetivo de clasificar las partículas según el tamaño. Las mallas utilizadas fueron las siguientes:

Cuadro 3 Datos de malla

| Tratamiento | Tejido de malla | Apertura de malla (mm) | Diámetro, grosor de malla (mm) |
|-------------|-----------------|------------------------|--------------------------------|
| 1 | 30X30 | 7.7 | 0.81 |
| 2 | 50X50 | 4.5 | 0.58 |
| 3 | 80X80 | 2.7 | 0.44 |

La elección de estas medidas se basó en la recomendación de Abad et al., (2005), quienes señalan que las propiedades físicas de un sustrato dependen directamente del tamaño de partícula, el cual influye en su capacidad de retención de agua, aireación y densidad aparente, parámetros fundamentales en la producción de planta en vivero (Bunt, 1988).



Figura 6 Proceso de tamizado de aserrín crudo con la malla de apertura 7.7 mm



Figura 7 Tamizado con apertura de malla 4.5 mm

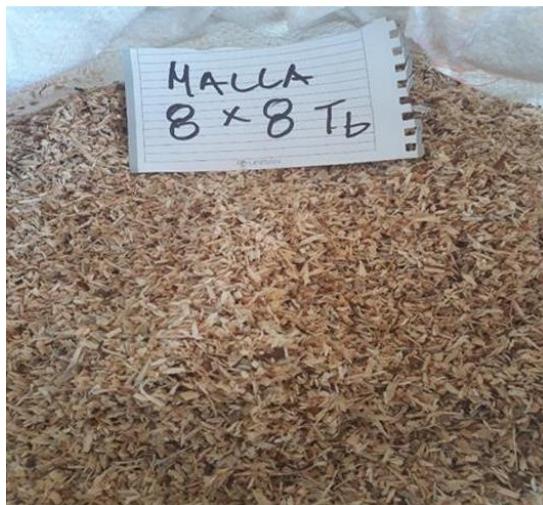


Figura 8 Resultado de granulometría a través del tamizado con una apertura de malla de 2.7 mm

Mediante este procedimiento se obtuvieron tres fracciones de aserrín con distinto tamaño de partícula, que fueron utilizadas para conformar tres tratamientos experimentales. Adicionalmente, se incluyó un tratamiento testigo elaborado con la mezcla tradicional del vivero, completando así los cuatro tratamientos evaluados en el presente estudio.

Para cada uno de los cuatro tratamientos se elaboró la cantidad necesaria de sustrato para llenar un total de 784 cavidades con capacidad de 130 cm³ cada una. El volumen útil calculado fue de aproximadamente de 102 dm³ (102 L), sin

embargo, para disponer de material extra, considerar la capacidad del sustrato y evitar cualquier insuficiencia durante el llenado, se decidió preparar 150 litros de sustrato por tratamiento.



Figura 9 Tamizado de forma manual para la separación de partículas con las diferentes aperturas para cada tratamiento



Figura 10 Llenado de los contenedores con aserrín crudo

3.5.1. Preparación del tratamiento testigo

Dado que el objetivo principal de este estudio fue evaluar la viabilidad del aserrín crudo como sustituto del sustrato tradicional utilizado en la producción

tecnificada de planta (conformado por peat moss, agrolita y vermiculita en proporción 60:20:20), se estableció un tratamiento testigo empleando dicha mezcla estándar.

La preparación del sustrato convencional se realizó siguiendo el procedimiento operativo habitual, combinando tres partes de peat moss, una de agrolita y una de vermiculita, asegurando una textura homogénea y buena capacidad de aireación. Debido a la escala experimental del presente trabajo, únicamente se preparó la cantidad de mezcla estrictamente necesaria para los tratamientos establecidos.

En el caso del testigo con sustrato tradicional, se aplicó una dosis de fertilización base, equivalente a 4 kg por metro cubico de mezcla, con el propósito de mantener las condiciones nutricionales de referencia y permitir una comparación confiable con los tratamientos elaborados a base de aserrín.

3.6. Fertilización

En los tres tratamientos elaborados exclusivamente con aserrín crudo, el material se humedeció hasta alcanzar su capacidad máxima de retención de agua, procurando que el sustrato quedara ligeramente húmedo sin llegar al punto de escurrimiento, es decir, en condiciones de capacidad de contenedor. Para comprobarlo, se tomó una porción con la mano, verificando que, al presionarla, la humedad impregnara la piel sin liberar gotas de agua, lo cual indicó el nivel adecuado de saturación.

Posteriormente, se incorporó fertilizante de liberación controlada (Multicote®) a razón de 12 kg por metro cubico de sustrato, asegurando una distribución uniforme mediante un proceso de mezclado continuo que consistió en al menos cinco volteos completos. Este procedimiento garantizó una homogeneidad adecuada en la concentración de nutrientes a lo largo de todo el volumen del material.

Para el tratamiento testigo, en el que se empleó la mezcla convencional (peat moss, agrolita y vermiculita), se aplicó una dosis menor de fertilización

equivalente a 4 kg por metro cubico de sustrato, utilizando el mismo método de incorporación y homogenización que en los tratamientos de aserrín.

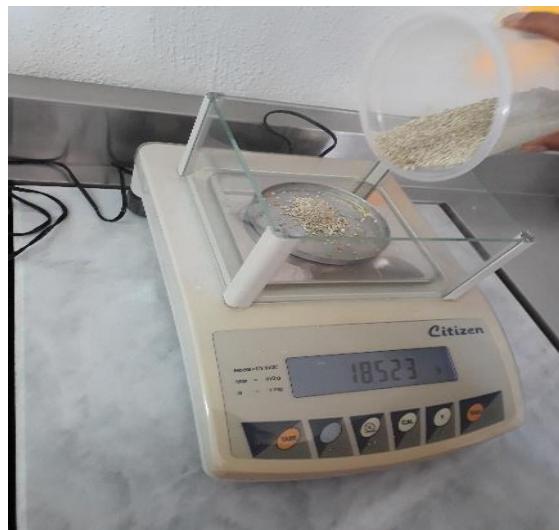


Figura 11 Dosificación gravimétrica del fertilizante de liberación lenta (Multicote®) para cada uno de los tratamientos



Figura 12 Combinación de los componentes aserrín, fertilizante y biofungicida



Figura 13 Insumos nutricionales utilizados para el experimento (Micromax y Multicote)

En conjunto, se establecieron cuatro tratamientos experimentales: tres correspondientes a las diferentes granulometrías del aserrín crudo y un tratamiento testigo, con el propósito de evaluar las variaciones en el crecimiento y calidad de las plántulas de *P. greggii* bajo distintas composiciones y condiciones de nutrición controlada.



Figura 14 Mezcla de fertilizante, biofungicida y aserrín crudo

3.7. Germinación Y Crecimiento En Vivero

La germinación de la semilla de *P. greggii* se llevó a cabo en almácigos ubicados dentro del vivero forestal, los cuales se encuentran protegidos con malla sombra y barreras físicas para evitar el ingreso de pequeños roedores y aves. Estas actividades se realizaron durante la primera quincena del mes de febrero del año 2021.

La siembra se efectuó a una profundidad de dos a cuatro veces el tamaño de la semilla, siguiendo las recomendaciones de los manuales técnicos de propagación forestal (Bonner & Karrfalt, 2008). La germinación inició aproximadamente a los 10 días después de la siembra y se extendió de manera continua durante las dos semanas siguientes, alcanzando un porcentaje satisfactorio de emergencia.

Una vez que las plántulas alcanzaron el estado de “cerillo”, se procedió a su trasplante hacia charolas de plástico rígido con 49 cavidades, cada una con una capacidad aproximada de 130 cm³. El trasplante se efectuó durante la segunda quincena del mes de febrero del mismo año, asegurando una adecuada manipulación del sistema radicular para evitar daños mecánicos y favorecer el establecimiento de las plántulas en el nuevo sustrato de crecimiento.



Figura 15 Llenado de contenedores



Figura 16 Llenado de las charolas de forma manual con el aserrín crudo y los aditivos incluidos



Figura 17 Trasplante de plántulas de *Pinus greggii* desde el almacigo hacia los contenedores



Figura 18 Plántulas en la etapa de "cabeza de cerillo" en almacigo



Figura 19 Plántulas de *Pinus greggii* en la fase de establecimiento inicial, una semana después del trasplante a los tubetes



Figura 20 Cepellón de *Pinus greggii* extraído del tubete



Figura 21 Perspectiva amplia del experimento establecido sobre las camas destinadas al crecimiento en el vivero

3.8. Tamaño Del Experimento Y Selección De La Muestra

Cada tratamiento experimental estuvo conformado por un total de 192 plántulas de *P. greggii*, lo que representó un conjunto de 768 plantas correspondientes a los cuatro tratamientos establecidos en el presente estudio.

Para el proceso de muestreo, se adoptó un criterio dirigido, seleccionando las plantas ubicadas en la zona central de cada charola, con el fin de obtener individuos con condiciones de crecimiento representativas. Se descartaron aquellas plántulas localizadas en los bordes, ya que suelen presentar variaciones extremas de tamaño (ya sea por mayor exposición o limitaciones espaciales), lo que podría sesgar los resultados de análisis.

De cada charola se tomaron dos plántulas seleccionadas al azar dentro del área media, obteniendo así un total de 12 muestras por tratamiento. En suma, se evaluaron 48 plantas en todo el experimento, las cuales se emplearon para la determinación de las variables morfológicas y de calidad de planta analizadas en este trabajo.



Figura 22 Estado de las plántulas de *Pinus greggii* a los nueve meses en el vivero, justo antes de realizar el muestreo

3.9. Riegos

Durante la etapa posterior de trasplante, las plántulas de *Pinus greggii* fueron sometidas a un régimen de riego regular con el fin de mantener una humedad adecuada en el sustrato que favoreciera su crecimiento y desarrollo. En condiciones normales, los riegos se efectúan tres veces por semana, ajustando el volumen de agua según la capacidad de retención de cada tratamiento.

Sin embargo, en ciertas épocas del año (particularmente durante períodos de mayor temperatura o baja humedad ambiental) fue necesario incrementar la frecuencia de riego a una aplicación diaria, debido a que algunos de los sustratos empleados, especialmente aquellos conformados por aserrín de partícula gruesa, mostraron menor capacidad de retención hídrica. Esta condición ocasionaba un secado más rápido del sustrato, lo que hacía indispensable un manejo más intensivo del riego para evitar el estrés hídrico y garantizar un crecimiento uniforme en las plántulas.

3.10. Control De Enfermedades

Al llevarse a cabo el experimento dentro de las instalaciones del vivero forestal del Ejido Peñuelas Pueblo Nuevo, se siguieron las mismas condiciones de manejo aplicadas al resto de la producción del vivero, con el propósito de mantener un entorno de desarrollo homogéneo y representativo.

Dentro de las prácticas habituales de manejo sanitario y nutricional del vivero, se incluyen la aplicación del producto BACTIVAM®, un biofungicida y bioestimulante radicular que combina diferentes cepas de hongos benéficos del género *Trichoderma* y bacterias del género *Bacillus*, principalmente *Bacillus subtilis*. Estas especies actúan en conjunto para inhibir el desarrollo de patógenos radiculares como *Pythium*, *Fusarium*, *Phytophthora* y *Rhizoctonia*, al mismo tiempo que promueven el crecimiento radicular y mejoran la sanidad del sustrato (Tecnologías Naturales Internacional, 2024).

Una de las formulaciones de este bioinsumo presenta además propiedades bioestimulantes, gracias a la presencia de bacterias promotoras de crecimiento vegetal como *Bacillus megaterium* y *Pseudomonas fluorescens*, las cuales son

capaces de producir fitohormonas naturales, tales como giberelinas y citoquininas, que estimulan la formación y ramificación de raíces. De acuerdo con Vij et al., (2022), la interacción entre bacterias benéficas y *Trichoderma* favorecen la germinación, el vigor y la recuperación radicular, especialmente en especies forestales cultivadas bajo condiciones de vivero.

En el presente experimento, el BACTIVAM® se aplicó a razón de 2 g por litro de agua, garantizando una distribución uniforme del producto en cada charola de crecimiento. Adicionalmente, se incorporaron 16 g de micorrizas por charola, con el fin de potenciar la simbiosis radicular y mejorar la absorción de agua y nutrientes en las plántulas.

Como parte complementaria del manejo nutrimental, se utilizó el fertilizante foliar Micromax®, suministrado regularmente en el vivero. Este producto contiene una mezcla balanceada de micronutrientes esenciales, de alta solubilidad y rápida asimilación, incluyendo hierro (2.6%), zinc (2.6%), manganeso (1.95%), boro (0.97%), cobre (0.33%), molibdeno (0.03%), magnesio (1.3%) y azufre (1.82%) (ICL, 2020). La dosis de aplicación foliar fue de 2 g por litro de agua, con lo cual se garantizó un aporte óptimo de micronutrientes para mantener la actividad fotosintética, el crecimiento vigoroso y la coloración saludable de las plántulas a lo largo del ciclo de cultivo.



Figura 23 Empaque del biofungicida Bactiva



Figura 24 Medición de Micromax

3.11. Medición De Variables

La toma de datos se efectuó en noviembre de 2021, nueve meses después del trasplante. Una vez seleccionadas las plantas que integraron la muestra, se procedió a retirarlas cuidadosamente de las charolas y a separar manualmente el sustrato adherido a las raíces. Posteriormente, las raíces fueron lavadas con agua corriente y se dejaron orear a la sombra durante aproximadamente 15 minutos.



Figura 25 Toma de la medida de altura de cada plántula, abarcando desde el cuello de la raíz hasta el extremo superior, con ayuda de un flexómetro TRUPER®



Figura 26 Estructuras radiculares de *Pinus greggii*, después de ser lavadas y divididas, dispuestas para el análisis de biomasa seca mediante secado en estufa

Después de este proceso, se midieron las variables morfológicas: la altura total de cada planta, registrada desde el cuello de la raíz mediante un flexómetro graduado en milímetros (TRUPER®), y el diámetro del cuello, determinado con un calibrador digital electrónico (Calliper Electronic®, precisión ± 0.01 mm). Una vez realizadas las mediciones, cada plántula fue dividida en parte aérea y sistema radical mediante un corte en el cuello. Ambas secciones fueron debidamente etiquetadas y resguardadas en bolsas de papel para asegurar su correcta identificación.

Las muestras correspondientes a raíz y parte aérea se colocaron posteriormente en una estufa de secado, donde permanecieron durante cinco días hasta alcanzar un peso constante, condición que confirma la eliminación completa del contenido de humedad, tal como lo establece Jones Jr. (2001).

Finalizado el secado, se determinó el peso seco de ambas fracciones utilizando una balanza analítica de alta precisión (Citizen), con lectura en milésimas de gramo.



Figura 27 Medición de la biomasa aérea seca a través del empleo de una balanza analítica precisa

Finalmente, en diciembre de 2021 se digitalizó toda la información recopilada — altura, diámetro del cuello y los pesos secos de raíz y parte aérea— organizándola en hojas de cálculo de Excel según tratamiento y repetición experimental.

3.12. Variables De Calidad De Planta Calculadas

3.12.1. Relación Peso Seco De La Parte Aérea Y Peso Seco De La Raíz

La relación entre el peso seco de la parte aérea (PSA) y el peso seco de la raíz (PSR) es un indicador clave del equilibrio morfológico de las plántulas, ya que refleja la asignación de biomasa entre órganos responsables de la captación de recursos y aquellos que realizan la fotosíntesis. Un valor equilibrado de esta relación indica que la planta posee una proporción adecuada entre su capacidad de absorción de agua y nutrientes, y su potencial de crecimiento fotosintético (Landis, 2020; Prieto Ruiz et al., 2021).

Cuando la relación PSA/PSR es demasiado alta, la planta puede ser más susceptible al estrés hídrico después del trasplante, debido a que una parte aérea demasiado desarrollada exige una mayor demanda de agua que el sistema radical no puede compensar. Por el contrario, una relación baja puede reflejar una mayor inversión de raíces, lo cual favorece el establecimiento inicial

en campo, especialmente en ambientes con limitaciones de humedad (González Orozco et al., 2025; Ramírez Contreras et al., 2022).

Diversos estudios han demostrado que esta relación puede verse influida por factores como el tipo de sustrato, la fertilización y las condiciones ambientales durante la producción en vivero. En especies forestales como *Pinus greggii* y *Pinus cooperi*, se ha observado que el uso de sustratos alternativos como el aserrín o mezclado con materia orgánica fina promueven una relación PSA/PSR más balanceada, contribuyendo a la calidad de la planta y supervivencia en campo (González Orozco et al., 2025; González de la Rosa et al., 2024).

En general, mantener una relación aérea/radicular cercana a la unidad o ligeramente superior se considera ideal para plántulas de pino destinadas a reforestación, pues garantiza una planta vigorosa, capaz de resistir condiciones adversas y con un equilibrio adecuado entre crecimiento y absorción (Landis, 2020; Prieto Ruiz et al., 2021).

3.12.2. Índice De Robustez

El índice de robustez (IR), también denominado índice de esbeltez, es un parámetro morfológico utilizado para evaluar la calidad de la planta producida en vivero. Este índice se obtiene a partir de la relación entre la altura de la plántula (H) y el diámetro del tallo al cuello de la raíz (D), expresada como $IR=H/D$ (Landis et al, 2010; Prieto Ruiz et al., 2021). Se considera un indicador del equilibrio estructural de la planta, ya que refleja proporcionalidad entre el crecimiento vertical y el desarrollo del tallo, el cual proporciona soporte mecánico y resistente al estrés pos trasplante.

Un valor bajo del índice de robustez indica una planta vigorosa y estable, con tallos fuertes y menor riesgo de acame o daño por viento, mientras que los valores elevados reflejan plántulas esbeltas y menos resistentes, que pueden tener dificultades para establecerse en campo (González Orozco et al., 2025; Ramírez Contreras et al., 2022). En términos generales, se considera que un valor ideal para especies del género *Pinus* oscila entre 5 y 8, aunque este rango puede variar según la especie y las condiciones de producción (Prieto Ruiz et al., 2021; González Orozco et al., 2025).

El índice de robustez, junto con otros indicadores como el peso seco total, la relación entre parte aérea/raíz y el índice de calidad de Dickson, permite una evaluación integral de la calidad morfológica de las plántulas. Este tipo de mediciones contribuye a seleccionar material para plantación con mayor probabilidad de supervivencia y mejor desempeño en campo (Landis et al., 2010; Ramírez Contreras et al., 2022).

3.12.3. Índice De Calidad De Dickson

El índice de Calidad de Dickson (ICD) es un parámetro integral utilizado para evaluar la calidad morfológica y fisiológica de las plántulas producidas en vivero. Fue propuesto originalmente por Dickson et al., (1960) y combina variables de crecimiento como la altura, el diámetro del tallo, el peso seco de la parte aérea y el peso seco de la raíz, con el fin de estimar la robustez y el equilibrio de biomasa en la planta. Su fórmula es:

$$ICD = [Peso seco total / ((Altura/Diametro) + (Peso aéreo/Peso radical))]$$

Este índice permite integrar en un solo valor varios componentes morfológicos que determinan la capacidad de la plántula para sobrevivir y desarrollarse después del trasplante (Landis et al., 2010; Prieto Ruiz et al., 2021). Un valor alto del ICD indica plantas más equilibradas, vigorosas y con mayor probabilidad de éxito en campo, mientras que valores bajos reflejan plántulas desbalanceadas o con limitaciones estructurales (Ramírez Contreras et al., 2022).

Estudios recientes han confirmado la utilidad del ICD como herramienta confiable para predecir el desempeño de plántulas de *Pinus greggii*, *Pinus cooperi* y *Pinus cembroides* bajo diferentes condiciones de producción. Por ejemplo, sustratos con aserrín o mezclas orgánicas finas tienden a generar valores de ICD más altos, lo que refleja una mayor calidad morfológica y funcional (González de la Rosa et al., 2024). Este índice continúa siendo uno de los criterios más empleados para la clasificación de calidad en viveros forestales debido a su carácter integrador y a la facilidad de cálculo (Landis et al., 2010; Prieto Ruiz et al., 2021).

3.12.4. Análisis estadístico

Los datos se analizaron mediante ANOVA para identificar diferencias significativas entre tratamientos. Posteriormente se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$).

El análisis estadístico se realizó con el software SAS®, conforme a las recomendaciones metodológicas para experimentos en vivero (González-Molina et al., 2021).

4. RESULTADOS

El análisis estadístico se efectuó mediante el uso del software Statistical Analysis System (SAS), con el propósito de identificar la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados y determinar su efecto sobre las variables de crecimiento y calidad de las plántulas.

4.1. Análisis De Varianza

El análisis estadístico reveló diferencias significativas entre tratamientos para la mayoría de las variables evaluadas, lo que demuestra que el tamaño de la malla influye de manera directa en el desarrollo de las plántulas de *Pinus greggii*.

La variable de altura presentó una diferencia significativa ($p = 0.0024$), con un coeficiente de determinación ($R^2 = 0.27$), lo que indica que aproximadamente el 27% de la variabilidad en altura se explica por el tipo de tratamiento. Según la prueba de Tukey, el tratamiento de apertura de malla de 2.7 mm mostró la media más alta (33.355 cm), seguido por el testigo, y los tratamientos de apertura de las mallas 4.5 mm y 7.7 mm. Esto sugiere que una malla más grande puede favorecer el crecimiento en altura, probablemente por su baja densidad aparente y buena aireación (Gumy et al., 2019).

En contraste, el diámetro no presentó diferencias significativas ($p = 0.171$), lo que indica que el grosor de las plántulas no fue afectado por la apertura de la malla. Sin embargo, los valores promedio oscilaron entre 5.168 y 5.570 mm, lo que se considera adecuado para plántulas de *Pinus greggii* en vivero (Prieto et al., 2018).

El peso seco de la parte aérea (PSA) mostró diferencias altamente significativas ($p = 0.001$), siendo el tratamiento de apertura de malla de 7.7 mm el que obtuvo la mayor media (7.216 gr), seguido de los tratamientos con apertura de mallas 4.5 mm y 2.7 mm. Esto sugiere que un tamaño de malla moderado proporciona un equilibrio entre aireación y retención de humedad, favoreciendo la biomasa aérea (Figueroa et al., 2017).

De manera similar, el peso seco de la raíz (PSR) presentó diferencias significativas ($p = 0.035$), con los tratamientos de apertura de malla 2.7 mm y 7.7

mm, obteniendo las medias más altas (2.075 y 1.945 gr, respectivamente). Este comportamiento refleja que la presencia de aserrín con tamaños de partícula que se encuentra en estas mallas mejora la porosidad y la oxigenación del sustrato, estimulando el crecimiento radicular (Ortega et al., 2013).

El peso seco total también fue significativo ($p = 0.0016$), con los tratamientos de apertura de mallas 7.7 mm y 4.5 mm, alcanzando los valores más altos (9.161 y 8.522 gr). Esto confirma que los sustratos con mezclas intermedias de aserrín y suelo generan condiciones óptimas de tamaño de partícula para la producción de biomasa total.

La relación PSA/PSR presentó diferencias significativas entre tratamientos, reflejando variaciones en el equilibrio morfológico de las plántulas. Los valores oscilaron entre 3.09 y 3.79, siendo la malla de 7.7 mm la que mostró la relación más alta, mientras que la malla de 2.7 mm obtuvo la más baja. El testigo y la malla de 4.5 mm presentaron valores intermedios sin diferencias estadísticas. Estos resultados indican que los tamaños de partícula intermedios favorecen una distribución equilibrada de biomasa entre la parte aérea y el sistema radical.

Un mayor valor de PSA/SR sugiere una mayor asignación de biomasa al follaje, ventajosa en condiciones controladas, pero menos resistente al estrés hídrico; por el contrario, valores menores reflejan un desarrollo radicular más robusto, ideal para la supervivencia en campo (Rodríguez Trejo y Duryea, 2001; Bumy et al., 2019). En conjunto, el tratamiento con malla de 7.7 mm logró el mejor equilibrio estructural, coincidiendo con los mayores valores del índice de calidad de Dickson, lo que confirma su superioridad en vigor y calidad de planta (Valdez Hernández et al., 2021; Figueroa et al., 2017).

El índice de calidad de Dickson (ICD) ($p = 0.009$) mostró que el tratamiento de apertura de malla 7.7 mm fue el más favorable (1.076) seguido por el de 50X50 (0.983), este índice integra altura, diámetro y peso seco total, por lo que es un indicador integral de calidad. Valores mayores de 0.8 indican una planta vigorosa y de buena relación biomasa aérea-radical (Landis, 1990; Prieto et al., 2018).

El índice de robustez también mostró diferencias significativas ($p = 0.001$), siendo el tratamiento de calibre de la malla 2.7 mm el de mayor valor (6.432), un índice elevado indica una planta más delgada y alta, lo que puede reflejar un

crecimiento etiolado por exceso de aireación o baja disponibilidad de nutrientes, fenómeno reportado por Gumy et al. (2019) cuando se emplean proporciones de residuos lignocelulósicos sin compostar completamente.

4.2. Comparación De Medias De Tukey

Cuadro 4 Influencia del tratamiento (tamaño de la malla) en el crecimiento de *P. greggii*

| TRATAMIENTO (Apertura de Malla) | ALTURA | DIAM | PSA | PSR | PST | PSA/PSR | ICD | INDROB |
|---------------------------------------|-----------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|----------|
| 2.7 | 33.355 A | 5.210 A | 6.199 AB | 2.075 A | 8.274 B | 3.091 B | 0.886 AB | 6.432 A |
| 4.5 | 28.150 B | 5.324 A | 6.591 A | 1.930 AB | 8.522 A | 3.484 AB | 0.983 AB | 5.351 B |
| 7.7 | 27.767 B | 5.570 A | 7.216 A | 1.945 BA | 9.161 A | 3.797 A | 1.076 A | 5.004 B |
| Testigo | 30.183 AB | 5.168 A | 4.821 B | 1.500 B | 6.322 B | 3.264 AB | 0.707 B | 5.881 AB |

Nota: medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

4.3. Altura

El análisis de varianza mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la altura de las plántulas de *Pinus greggii* cultivadas de diferentes aperturas de malla, lo que indica que el tamaño del tamiz influyó en el desarrollo vertical de las plantas. Los valores de la prueba de Tukey evidenciaron que el tratamiento con apertura de malla de 2.7 mm presentó la mayor altura promedio (33.36 cm), seguido por el testigo y los tratamientos de apertura de mallas 4.5 mm y 7.7 mm. A los tratamientos con apertura de malla de 7.7 mm y 4.5 mm les correspondió el grupo B, mientras que al testigo le correspondió el grupo AB, por lo que se deduce que para la variable de altura el testigo superó a los tratamientos antes mencionados. Por otro lado, el tratamiento con apertura de malla de 2.7 mm superó a los otros tratamientos y al testigo, correspondiendo al grupo A.

Estos resultados indican que las plántulas respondieron positivamente a una mayor proporción de partículas finas en el sustrato, posiblemente debido a un aumento en la capacidad de retención de agua y una mejor relación aire-agua, factores que promueven un crecimiento más acelerado en altura (Figueroa et al., 2017; Gumy et al., 2019).

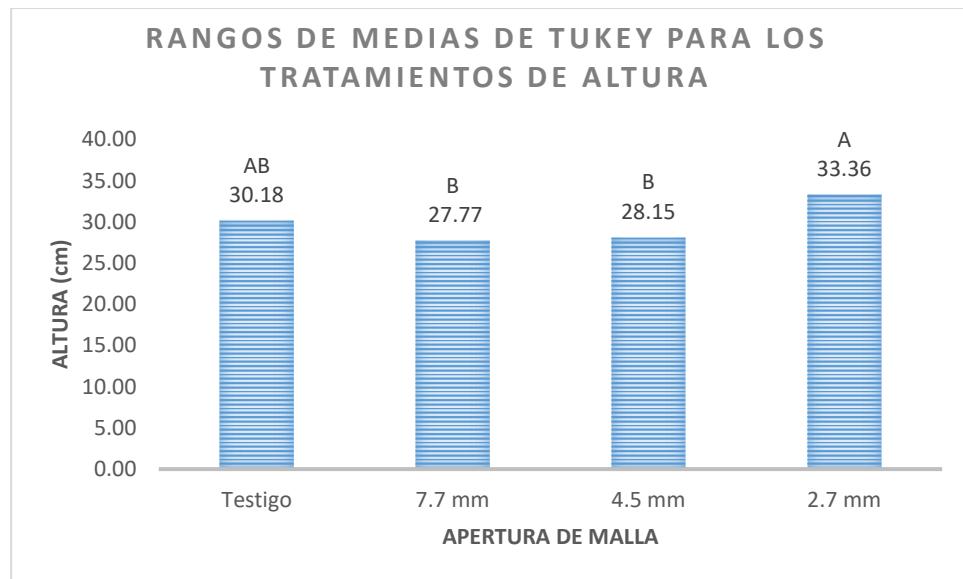


Figura 28 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos en Altura.

En la figura 28, se observa que el tratamiento con apertura de 2.7 mm obtuvo la mayor altura promedio y se ubicó en un grupo estadísticamente superior respecto a los tratamientos con apertura de 7.7 mm y 4.5 mm, y el tratamiento con apertura de 7.7 mm registró la menor altura. Este comportamiento confirma que una partícula menor puede favorecer la elongación de las plántulas al mejorar la retención de agua en la zona radicular (Gumy et al., 2019).

El tratamiento con la partícula más pequeña (2.7 mm) superó al testigo, sin embargo, la apertura de malla de 4.5 mm y 7.7 mm fueron superadas por el testigo.

4.4. Diámetro

En contraste, el diámetro no presentó diferencias significativas ($p > 0.05$) entre tratamientos. Las medias oscilaron entre 5.17 y 5.57 mm, valores considerados adecuados para plántulas de *Pinus greggii* en etapa de vivero (Prieto et al., 2018). Estos valores sugieren que el tamaño de partícula del sustrato influye en la elongación y no tanto en el diámetro de la planta.

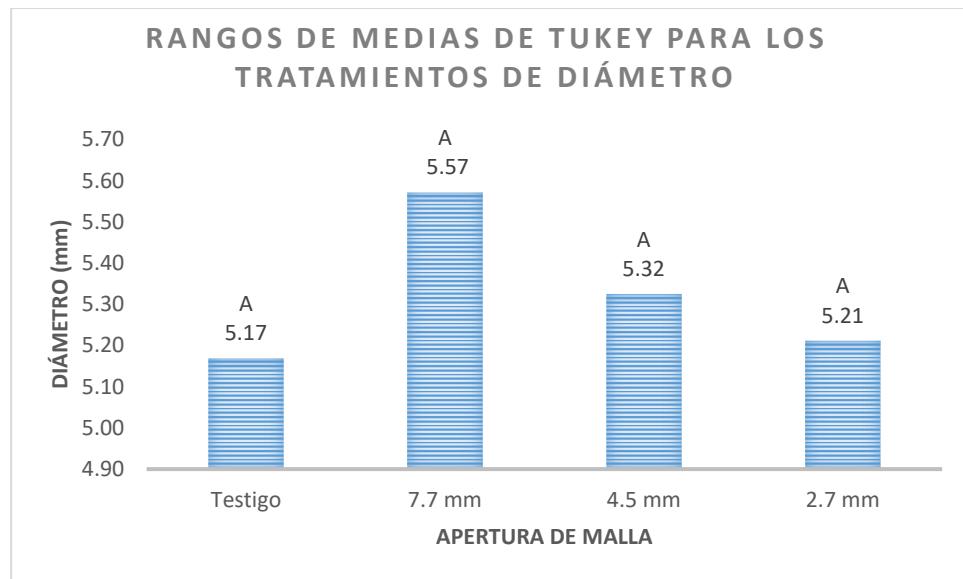


Figura 29 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos en Diámetro (mm).

En la figura 29, se representa la comparación de las medias de Tukey para la variable de diámetro, y se puede notar que estadísticamente no hay diferencias significativas entre tratamientos. Sin embargo, se aprecia que los tratamientos con apertura de malla de 7.7 mm, 4.5 mm y 2.7 mm obtuvieron los valores más altos, superando al testigo.

4.5. Peso Seco De La Parte Aérea Y Peso Seco De La Raíz

Las variables peso seco de la parte aérea (PSA) y peso seco de la raíz (PSR) mostraron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre tratamientos. El tratamiento con apertura de malla de 7.7 mm registro el mayor PSA con un valor de 7.22 g, seguido por el de apertura de malla de 4.5 mm que obtuvo 6.59 g y el de apertura de malla de 2.7 mm con un valor de 6.20 g. El tratamiento testigo presentó los valores más bajos con 4.82 g.

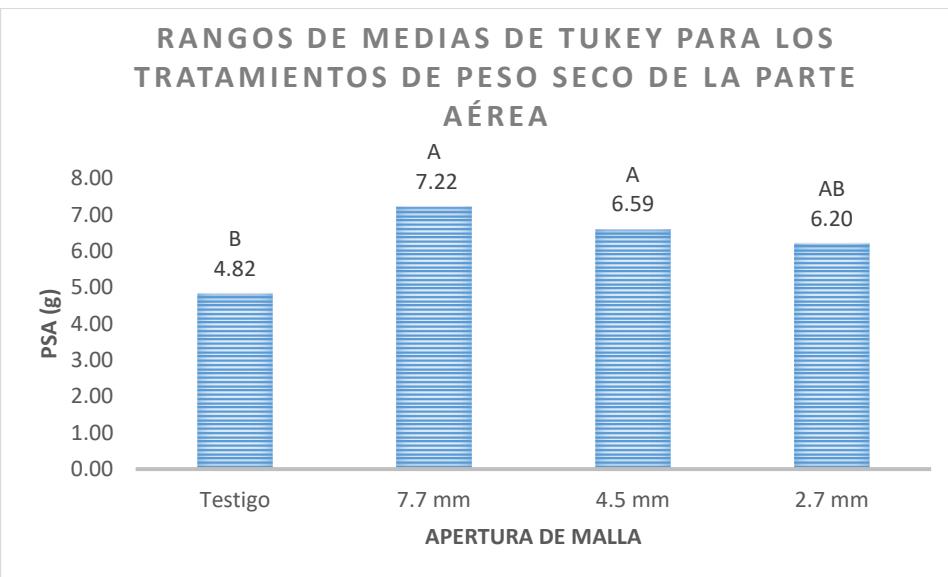


Figura 30 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos en Peso seco de la parte aérea (g).

En la figura 30, se muestran los valores de PSA, donde el tratamiento con apertura de malla de 7.7 mm alcanzó el valor más alto, seguido por el de 4.5 mm, mientras que el testigo presentó el valor más bajo para esta variable. El testigo tuvo el valor más bajo que fue de 4.82 g, correspondiendo al grupo B, la malla de apertura de 7.7 mm obtuvo el mayor valor de 7.22 g y correspondió al grupo A, esta tendencia refleja que el tamaño de partícula grande (7.7 mm) favoreció el incremento del peso seco de la parte aérea (Prieto et al., 2018).

Para el peso seco de la raíz, el comportamiento fue similar a la variable de peso seco de la parte aérea: los tratamientos de apertura de malla 2.7 mm con 2.08 g y 7.7 mm con 1.95 g, fueron los valores más altos, mientras que el testigo presentó el menor desarrollo de la sección radical. Estos resultados son similares a los reportados por Ortega et al. (2013), quienes destacan que los sustratos con mayor porosidad y aireación favorecen el desarrollo radicular.

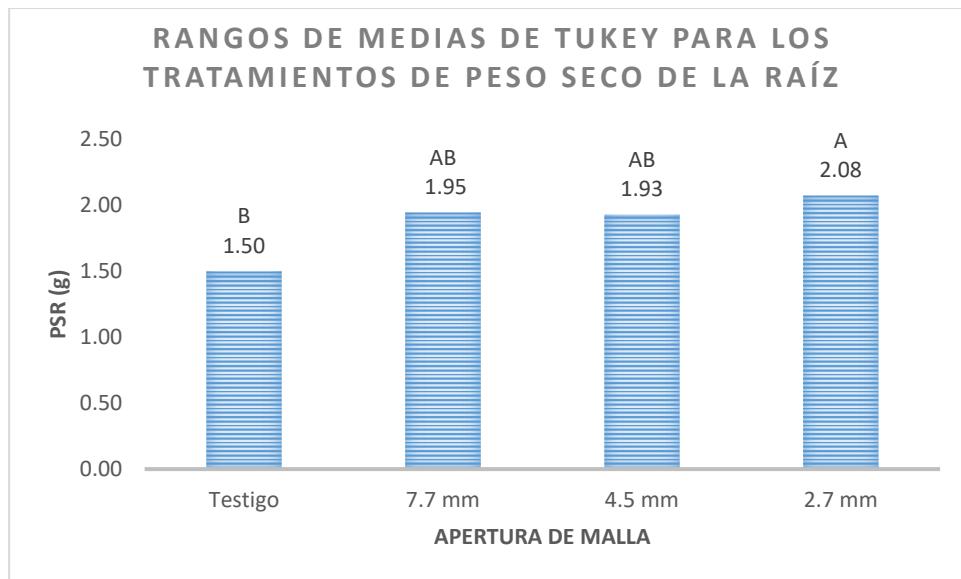


Figura 31 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos en Peso seco raíz (g).

La figura 31 del peso seco de la raíz, muestra tres grupos (A, B y AB), lo que nos indica que estadísticamente hay diferencias significativas. El tratamiento de apertura de malla de 2.7 mm obtuvo el valor más alto de 2.08 g, perteneciente al grupo A, mientras que el testigo presentó el valor más bajo de 1.50 g, perteneciente al grupo B. los tratamientos con apertura de malla 7.7 mm y 4.5 mm tuvieron valores intermedios, pero de igual forma superaron al testigo. Este resultado indica que el aserrín mejora la aireación y la oxigenación radicular, estimulando el crecimiento de raíces finas (Ortega et al., 2013). Al igual que en las variables de altura y peso seco de la parte aérea, los tratamientos compuestos totalmente por aserrín cernido superan al tratamiento testigo que está compuesto por peat moss que es un sustrato importado con un alto valor comercial.

4.6. Peso Seco Total

En cuanto al peso seco total, se observó un efecto significativo ($p \leq 0.05$), con los tratamientos de 7.7 mm y 4.5 mm, que superaron al testigo y al tratamiento de apertura de malla de 2.7 mm que registraron valores de 6.32 g y 8.27 g respectivamente. Estos dos niveles intermedios promovieron un equilibrio entre

retención de humedad y disponibilidad de nutrientes, resultando en una biomasa total promedio de 9.16 g y 8.52 g respectivamente.

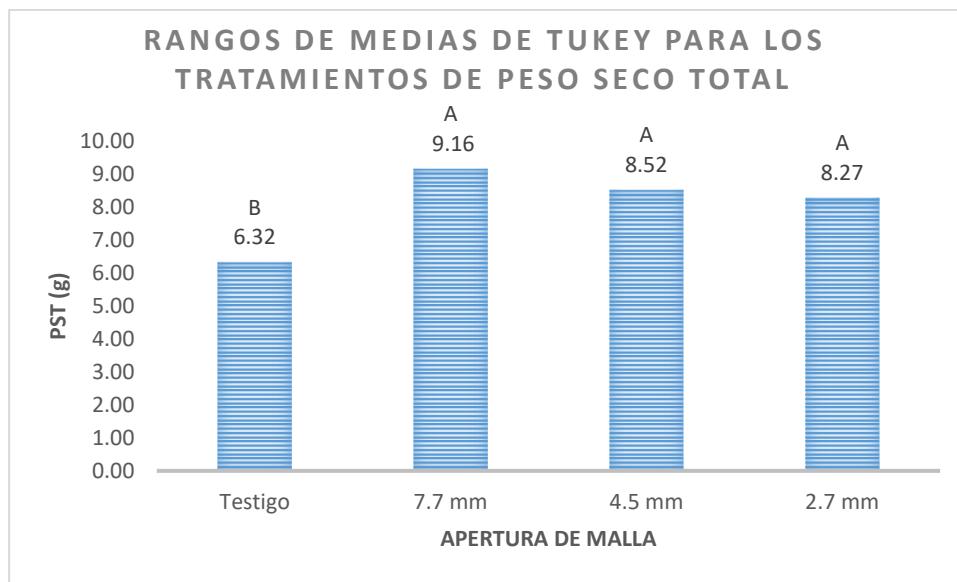


Figura 32 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos en Peso seco total (g).

La figura 32 ilustra los resultados del peso seco total, donde los tratamientos de apertura de malla de 7.7 mm y 4.5 mm registraron las medias más altas, con diferencias significativas frente al testigo, siendo que los tratamientos pertenecen al grupo A y el testigo al grupo B, el tratamiento con apertura de malla de 2.7 mm a pesar de estar por debajo de los otros dos tratamientos, también superó al testigo. Este comportamiento confirma que los tamaños intermedios de malla ofrecen un balance óptimo entre la retención de agua y la porosidad del sustrato, factores determinantes para la acumulación de biomasa total (Figueroa et al., 2017). Al igual que en las variables de altura, peso seco de la parte aérea y peso seco de la raíz superaron con valores significativos al tratamiento testigo, compuesto por el sustrato importado de peat moss.

4.7. Relación PSA/PSR

La relación del peso seco de la parte aérea (PSA) entre el peso seco de la raíz (PSR) mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, según la prueba de Tukey. Esta relación es un indicador fundamental del equilibrio morfológico de las plántulas, ya que expresa la proporción de biomasa asignada

a los órganos aéreos en comparación con el sistema radical, lo que permite inferir la capacidad de la planta para adaptarse a las condiciones del campo después del trasplante (Prieto et al., 2018).

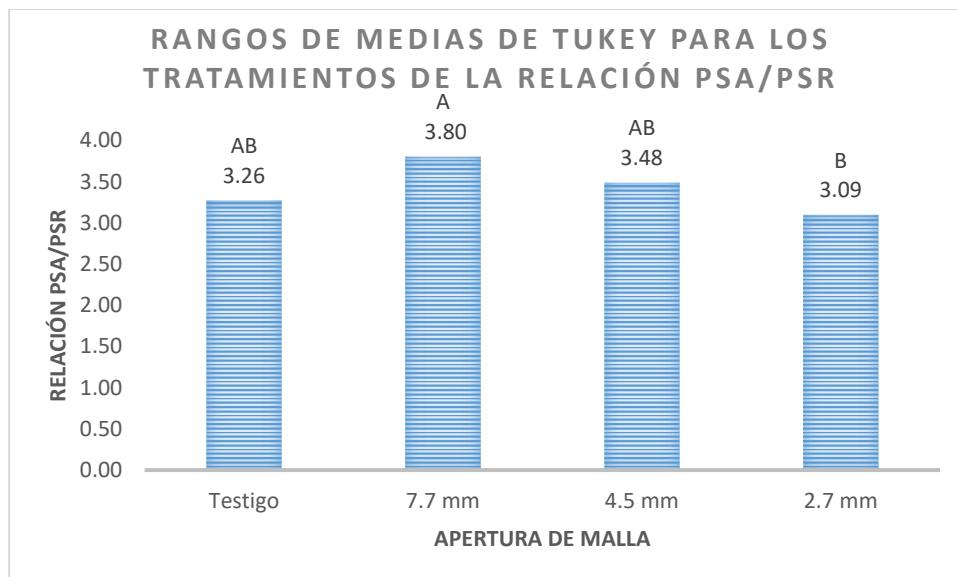


Figura 33 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos de la relación PSA/PSR

En la figura 33 se pueden observar que los valores promedio obtenidos oscilaron entre 3.09 y 3.80, y aquí también se muestran diferencias significativas obteniendo tres grupos (A, B y AB), siendo el tratamiento con apertura de malla de 7.7 mm el que presentó la relación más alta con un valor de 3.80, mientras que el tratamiento con apertura de malla 2.7 mm mostró el valor más bajo, siendo de 3.09. Los tratamientos del testigo y de malla 4.5 mm alcanzaron valores intermedios de 3.26 y 3.48 respectivamente, ubicándose en un mismo grupo estadístico según Tukey (AB). Estos resultados evidencian que las mezclas con calibres intermedios de malla favorecen un balance óptimo entre el crecimiento aéreo y el desarrollo radicular, mientras que los calibres más finos o más gruesos pueden alterar este equilibrio.

En términos de calidad de planta, los resultados confirman que el tratamiento con apertura de malla de 7.7 mm ofrece la mejor proporción estructural entre órganos aéreos y radicales, lo que coincide con los valores más altos obtenidos en el índice de calidad de Dickson, indicador integral de vigor y balance morfológico. Estos hallazgos concuerdan con estudios previos sobre la

producción de *P. greggii* en sustratos con diferentes tamaños de partícula, donde se ha reportado que las mezclas con proporciones moderadas de aserrín o materiales porosos generan plantas más equilibradas y de mejor desempeño fisiológico (Valdez Hernández et al., 2021; Figueroa et al., 2017).

4.8. Índices De Calidad De Dickson

El índice de calidad de Dickson presentó diferencias significativas ($p = 0.009$). los valores más altos correspondieron a los tratamientos de 7.7 mm y de 4.5 mm con valores de 1.08 y 0.98 respectivamente, lo que indica un crecimiento equilibrado entre la parte aérea y la raíz. Según Landis (1990), valores de ICD mayores a 0.8 se asocian a plántulas vigorosas, con alta probabilidad de supervivencia tras el trasplante.

Es importante mencionar que para la variable de índice de calidad de Dickson el tratamiento testigo registró un valor inferior a 0.8 que lo hacen relacionarse con plantas con un vigor menor al recomendado, para alcanzar un valor mínimo de calidad de planta.

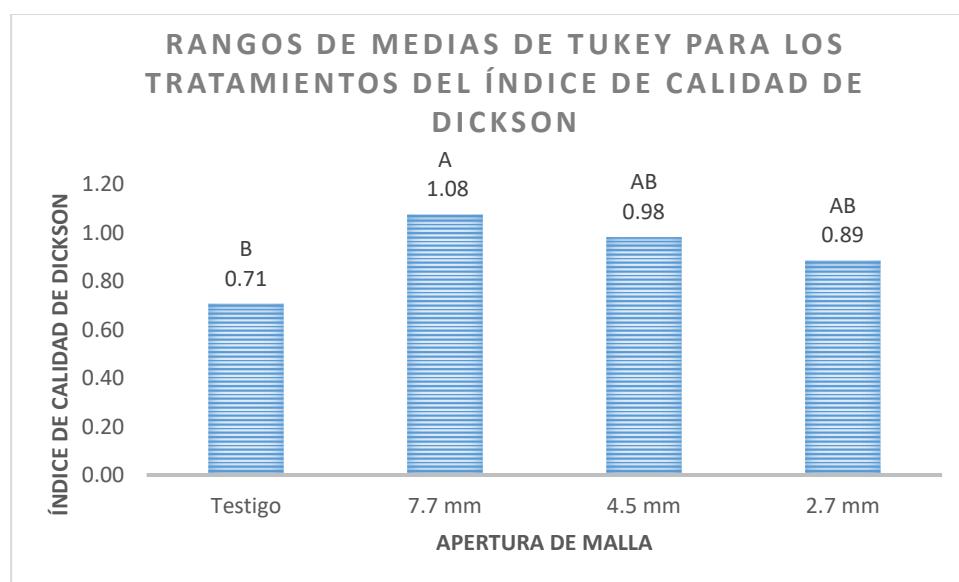


Ilustración 34 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos del índice de calidad de Dickson

En la figura 34 se puede ver que el ICD fue superior en el tratamiento de apertura de malla 7.7 mm, el cual está dentro del grupo A, indicando una calidad morfológica elevada y balanceada entre la altura, diámetro y biomasa, después los otros dos tratamientos (aperturas de 4.5 mm y 2.7 mm) lo siguieron con

valores de 0.98 y 0.89, respectivamente, ubicándose en el grupo AB, mientras que el testigo tuvo un valor bajo, quedándose en el grupo B. Los tres tratamientos compuestos por aserrín cernido reflejan valores estadísticamente superiores al tratamiento testigo, que es lo que trata de comprobar el presente trabajo.

4.9. Índice De Robustez

El índice de robustez mostró diferencias significativas ($p \leq 0.05$), donde el tratamiento de 2.7 mm presentó el valor más alto (6.43), lo que sugiere una mayor robustez en equilibrio con la altura de la planta, este comportamiento es característico de plántulas con una buena proporción entre la altura de la planta y el diámetro del cuello de la planta (Gumy et al., 2019).

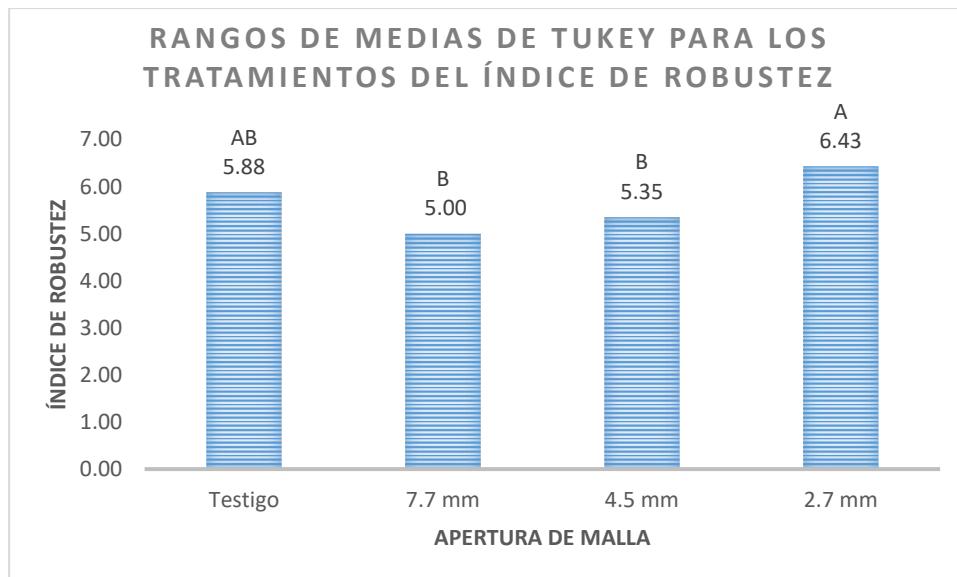


Ilustración 35 Rangos de medias de Tukey para los tratamientos del índice de robustez

Por último, la figura 35 se nos muestra que se generaron tres grupos (A, B y AB) siendo el tratamiento de apertura de malla de 2.7 mm el que presentó el mayor índice de robustez con un valor de 6.43, seguido del testigo que tuvo un valor de 5.88, perteneciendo al grupo AB. Dentro de esta variable los tratamientos con apertura de malla 7.7 mm y 4.5 mm, mostraron los valores más bajos quedándose dentro del grupo B. Pero que uno de los tratamientos haya sido el que obtuvo el valor más alto, nos está indicando plantas con una buena

proporción entre la parte aérea y el diámetro del cuello de la planta, lo que le confiere una mayor posibilidad de supervivencia en campo (Gumy et al., 2019).

5. DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos demuestran que el uso de aserrín crudo como sustrato alternativo puede representar una opción viable para la producción de plántulas de *Pinus greggii* en vivero, siempre que se controle adecuadamente el tamaño de partícula y se aplique una cantidad suficiente de fertilizante, para un adecuado desarrollo de la planta. La variación observada entre los tratamientos confirma que las propiedades físicas del sustrato, como la porosidad, aireación y capacidad de retención de agua, están directamente relacionadas con el desarrollo de la biomasa aérea y radical, coincidiendo con lo reportado por Valdez Hernández et al., (2021) y Morales et al., (2022), quienes señalaban que la textura del sustrato define la disponibilidad hídrica y la eficiencia de absorción de nutrientes en especies forestales. Además, de que el tamaño de partícula proporciona una adecuada aireación.

El tratamiento con apertura de malla de 7.7 mm presentó los valores más altos en altura, peso seco total e índice de calidad de Dickson, lo que sugiere un equilibrio óptimo entre el crecimiento aéreo y el desarrollo radicular. Este comportamiento podría explicarse por la combinación de partículas de tamaño más grande, que favorecen simultáneamente la aireación y la retención de humedad (Gumy et al., 2019; López Serrano et al., 2020). Por el contrario, los tratamientos del testigo y el de apertura de malla de 2.7 mm mostraron un desempeño inferior, probablemente por un exceso o deficiencia de drenaje; en el caso del testigo, la alta porosidad del sustrato utilizado en el sistema tecnificado puede haber favorecido una pérdida rápida de agua y una disponibilidad limitada de humedad para las raíces, mientras que en el tratamiento con apertura de malla de 7.7 mm, las partículas más gruesas del aserrín redujeron la capacidad de retención hídrica, favoreciendo el desarrollo radical. Estos resultados coinciden con lo reportado por Figueroa et al., (2017) y Castillo Téllez et al., (2021), quienes señalan que una estructura de sustrato con porosidad extrema, ya sea excesiva o insuficiente, limita la aireación y la disponibilidad de agua, repercutiendo negativamente en el crecimiento de las plántulas forestales.

La relación PSA/PSR evidenció que los sustratos con granulometría intermedias promovieron un balance más estable entre la parte aérea y el sistema radical, lo que es un indicador de alta calidad fisiológica y morfológica de planta (Landis et al., 2020), dicho equilibrio es determinante para garantizar la supervivencia post-trasplante, ya que una proporción excesiva de biomasa aérea sobre raíces puede aumentar la vulnerabilidad al estrés hídrico en campo (Prieto et al., 2018; Rodríguez Trejo et al., 2021).

Asimismo, los valores del índice de calidad de Dickson corroboran que la apertura de malla influye directamente en la calidad estructural y vigor de las plántulas, encontrándose que el tratamiento con apertura de malla de 7.7 mm produjo las plantas más equilibradas. Resultados similares fueron reportados por Vicente Arbona et al., (2019), quienes demostraron que los sustratos compuestos por aserrín de coníferas, cuando se manejan con granulometrías controladas y una fertilización adecuada, generan plántulas con mayor peso seco total y una mejor proporción de raíces funcionales.

En términos fisiológicos, las plantas desarrolladas en sustratos con aserrín de los tratamientos de partículas presentaron una mayor eficiencia en la utilización del agua y los nutrientes, debido a una mejor estructura porosa que permite el intercambio gaseoso sin perdida excesiva de humedad (Cabrera et al., 2019; Ortega Sánchez et al., 2023). Este comportamiento es consistente con los principios de manejo de sustratos orgánicos que establecen que una adecuada relación entre aire y agua mejora la calidad final de la planta (Abad et al., 2020).

En conjunto, los resultados confirman que el aserrín de genero *Pinus*, adecuadamente tamizado y mezclado, puede sustituir parcialmente o totalmente los sustratos tradicionales basados en turba o perlita, ofreciendo una alternativa económica, local y ambientalmente sostenible para la producción de planta forestal. Además, el aprovechamiento de este residuo maderero contribuye a una gestión más sustentable de los subproductos forestales, alineándose con las estrategias de bioeconomía circular recomendadas por la FAO (2022) y el INEGI (2023).

6. CONCLUSIONES

La apertura de malla tuvo un efecto significativo sobre la mayoría de las variables de crecimiento evaluadas, particularmente en altura, PSA, PSR, PSA/PSR, ICD e índice de robustez.

Los tratamientos con malla mejoran el crecimiento y la biomasa total de las plantas en comparación con el testigo. La malla con apertura 7.7 mm mostró los mejores resultados en la variable de peso seco de la parte aérea, mientras que la malla con apertura 2.7 mm destacó en la variable de peso seco de la raíz.

No se observaron diferencias significativas en el diámetro, lo que indica que esta característica para el presente ensayo no depende directamente del tamaño de partícula del sustrato. En conjunto el uso de la malla con apertura de 7.7 mm parece ofrecer condiciones más equilibradas para un desarrollo integral de las plantas.

El efecto que tiene el cernir el aserrín y favorecer los tamaños de las partículas que se encuentran en el intervalo de 0.25 mm a 0.75 mm que, de acuerdo con la bibliografía publicada relacionada con el tema relativas al tamaño de partícula, confirman de acuerdo a los resultados obtenidos, que es posible sustituir los sustratos importados constituidos por peat moss.

Estos resultados permitirán reducir los costos de producción de planta de calidad en un rango de 15 a 25%, lo que permitirá ser más competitivos a los productores que adopten la técnica de cernir el aserrín en su técnica de producción de plantas de *Pinus greggii* en vivero.

7. LITERATURA CITADA CAPITULO 2

- Abad, M., Noguera, P., & Bures, S. (2005). Physical-chemical and chemical properties of materials for use as substrates. *Acta Horticulturae*, 697, 77-87.
- Abad, M., Fornes, F., & Noguera, V. (2020). Substrates for containerized forest plant production: Physical and chemical perspectives. *Forests*, 11(3), 315.
- Bonner, F. T., & Karrfalt, R. P. (Eds.). (2008). The woody plant seed manual (Agriculture Handbook 727). U.S. Department of Agriculture, Forest Service.
- Bunt, A. C. (1988). Media and Mixes for Container-Grown Plants: A Manual on the Preparation and Use of Growing Media for Pot Plants. Unwin Hyman.
- Cabrera, R. I., & Conner, C. L. (2019). Managing pH and salinity in soilless substrates: Principles and practices. *HortTechnology*, 29(5), 595–606.
- Castillo Téllez, M. A., López-Upton, J., & Pérez, R. (2021). Evaluación de mezclas de sustratos con residuos forestales en la producción de planta. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(2), 251–262.
- Dickson, A., Leaf, A. L., & Hosner, J. F. (1960). *Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries*. *The Forestry Chronicle*, 36(1), 10–13. <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>
- FAO. (2022). *Forest products and circular bioeconomy in Latin America*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- Figueroa, R., Ríos, D., & Pérez, L. (2017). *Efecto del tamizado del sustrato sobre el crecimiento inicial de *Pinus greggii* Engelm. en vivero*. **Madera y Bosques*, 23*(1), 49–58. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311461>
- González de la Rosa, L., Mateo Sánchez, J. J., Suárez Islas, A., Capulín Grande, J., & Pacheco Trejo, J. I. (2024). *Utilización de desperdicios de la industria primaria de la madera para producción de planta en vivero*. *Boletín de Ciencias Agropecuarias del ICAP*, 9(Especial), 37–45.

González-Molina, L., Sánchez-Vargas, M., & Pérez-Ruiz, A. (2021). *Efecto del tamaño de partícula de sustratos orgánicos en la producción de plántulas forestales*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 12(65), 45–62. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v12i65.1234>

González Orozco, M. M., Prieto Ruiz, J. Á., Aldrete, A., Hernández Díaz, J. C., Chávez Simental, J. A., & Rodríguez Laguna, R. (2025). *Sustratos a base de aserrín crudo con fertilización y la calidad de planta de Pinus cooperi Blanco en vivero*. Revista Mexicana de Ciencias Forestales, 16(82), e82510.

Gumy, F., Hernández, M., & Trujillo, J. (2019). *Efecto del tamaño de partícula del sustrato en el crecimiento de plántulas forestales en vivero*. *Revista Forestal Latinoamericana, 34*(2), 115–126.

ICL. (2020). Micromax® Micronutrients product information sheet. ICL Specialty Fertilizers. <https://icl-growingsolutions.com/en-us/ornamental-horticulture/products/micronutrients-micromax/>

INEGI. (2023). *Estadísticas de residuos de manejo especial en México*. Instituto Nacional de Estadística y Geografía. <https://www.inegi.org.mx>

Jones Jr., J. B. (2001). Laboratory guide for conducting soil tests and plant analysis. CRC Press

Kostov, O., & Angelova, V. (2004). Possibility of utilization of sawdust in plant-growing. *Journal of Central European Agriculture*, 5(4), 367–374.

Landis, T. D., Tinus, R. W., McDonald, S. E., & Barnett, J. P. (1990). *The Container Tree Nursery Manual. Volume 2: Containers and Growing Media*. USDA Forest Service.

Landis, T. D., Dumroese, R. K., & Haase, D. L. (2010). *The container tree nursery manual: Volume 7. Seedling processing, storage, and outplanting*. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

Landis, T. D. (2020). *Container tree nursery manual: Volume 7. Seedling processing, storage, and outplanting*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service.

López-Serrano, P. M., Vargas-Hernández, J. J., & Álvarez-González, J. G. (2020). Influencia del tamaño de partícula en la calidad de planta forestal. *Madera y Bosques*, 26(1), e2612018.

Morales, A., Hernández, J., & Díaz, L. (2022). Physical properties of sawdust-based substrates in forest plant production. *Journal of Forestry Research*, 33(6), 2157–2168.

Ortega, U., Majada, J., & Toval, G. (2013). *La calidad de planta en viveros forestales: fundamentos y herramientas de evaluación*. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 36*, 17–27. <https://doi.org/10.31167/csef.v36i0.14211>

Ortega-Sánchez, M., Prieto, J., & Valdez-Hernández, J. I. (2023). Sustratos alternativos para viveros forestales: avances en México. *Agrociencia*, 57(4), 389–406.

Perry, J. P. (1991). *The Pines of Mexico and Central America*. Timber Press.

Pérez, A., Salgado, S., & García, A. (2007). Utilización de residuos de aserradero como sustrato para viveros forestales. *Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(2), 137–143.

Prieto, E., Carrasco, I., & Domínguez, J. (2018). *Influencia del tamaño de partícula del sustrato en el desarrollo radical y aéreo de especies forestales nativas*. *Bosque*, 39*(3), 487–496.

Prieto Ruiz, J. Á., Hernández-Díaz, J. C., Aldrete, A., & Wehenkel, C. (2021). *Evaluación de la calidad morfológica de plántulas de Pinus cembroides y Pinus engelmannii producidas en vivero*. *Madera y Bosques*, 27(3), e2732231.

Prieto, J., Martínez, E., & Ríos, C. (2018). Sustratos locales para la producción de planta forestal: avances y retos. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 9(47), 55–70.

Ramírez Contreras, R., Wehenkel, C., & Prieto-Ruiz, J. Á. (2022). *Influence of nursery cultivation factors on seedling quality and early survival of pines in northern Mexico*. *Forests*, 13(2), 181.

Rodríguez-Trejo, D. A., & Duryea, M. L. (2001). *Seedling quality and pine plantation establishment success in Mexico*. *New Forests*, 22(1-2), 31–48.

Rodríguez-Trejo, D. A., Duryea, M. L., & Villanueva-Morales, A. (2021). Root-to-shoot balance and post-transplant performance in Mexican pines. *Forest Ecology and Management*, 496, 119–134.

Sáenz-Romero, C., Rehfeldt, G. E., Duval, P., & Lindig-Cisneros, R. (2010). Incorporación de la adaptación local en la producción de planta para reforestaciones. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 1(1), 11–22.

Tecnologías Naturales Internacional, S.A. de C.V. (2024). Ficha técnica – BactivaMR. <https://www.bactiva.com/pdf/FT%20Bactiva.pdf>

Valdez-Hernández, J. I., Gómez, J. M., & Sánchez, M. (2021). *Uso de subproductos forestales como sustratos alternativos en vivero*. *Madera y Bosques*, 27(2), e2722016.

Vicente-Arbona, J. C., Carrasco-Hernández, V., Rodríguez-Trejo, D. A., & Villanueva-Morales, A. (2019). Evaluación de sustratos a base de aserrín en la producción de *Pinus greggii*. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 10(52), 21–35.

Vij, S., Sharma, N., Sharma, M., Mohanta, T. K., & Kaushik, P. (2022). Application of *Trichoderma viride* and *Pseudomonas fluorescens* to cabbage (*Brassica*

oleracea L.) improves both its seedling quality and field performance. Sustainability, 14(13), 7583. <https://doi.org/10.3390/su14137583>