Producción de portainjertos de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* para establecimiento de huertos semilleros asexuales

J. Trinidad Sáenz-Reyes[1], Martín Gómez-Cárdenas[1], Hipólito Jesús Muñoz-Flores[1], Rubén Barrera-Ramírez[1], Agustín Rueda-Sánchez[2] y Dora Alicia García-García[3*]

[1]Campo Experimental Uruapan, INIFAP. [2]Campo Experimental Centro Altos de Jalisco, INIFAP. [3]Campo, Experimental Saltillo, INIFAP.

Artículo recibido el 4 de septiembre de 2026 y aceptado el 29 de septiembre de 2026

Production of Pinus pseudostrobus var. apulcensis rootstocks for the establishment of asexual seed orchards

Abstract

Grafting is essential for establishing clonal seed orchards in conifers, but its success depends on rootstock quality. This study evaluated the effect of different substrates and application frequencies of a compound liquid biofertilizer on the production of Pinus pseudostrobus var. apulcensis rootstock plants at the Uruapan Experimental Station nursery, INIFAP. After an initial eight-month phase in trays, seedlings were transplanted into 5.2 L bags under a completely randomized design to evaluate mixtures of pine bark, forest litter, and sand combined with monthly biofertilization. Analysis of variance showed highly significant differences in basal diameter. The best treatment consisted of pine bark (50%), forest litter (25%), and sand (25%), with 3 kg/m of Multicote® and biofertilizer every 30 days. At 18 months, rootstocks reached an average height of 91 cm and a basal diameter of 22.6 mm, optimum dimensions that guarantee grafting success for forest improvement programs in Mexico.

Key words: Biofertilization, conifers, forest tree improvement, plant quality, rootstocks.

Resumen

El injerto es clave para establecer huertos semilleros clonales en coníferas, pero su éxito depende de la calidad del portainjerto. Este estudio evaluó el efecto de diferentes sustratos y frecuencias de aplicación de un biofertilizante líquido compuesto en la producción de plantas patrón de Pinus pseudostrobus var. apulcensis en el vivero del Campo Experimental Uruapan, INIFAP. Tras una fase inicial de ocho meses en charolas, las plantas se trasplantaron a bolsas de 5.2 L bajo un diseño completamente al azar para evaluar mezclas de corteza de pino, mantillo y arena combinadas con biofertilización mensual. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas en el diámetro basal. El mejor tratamiento consistió en corteza (50%), mantillo (25%), y arena (25%), adición de 3 kg/m de Multicote® y biofertilizante cada 30 días. A los 18 meses, los portainjertos alcanzaron 91 cm de altura y 22.6 mm de diámetro basal, dimensiones óptimas que garantizan el éxito del injertado para programas de mejoramiento genético en México.

Palabras clave: Biofertilización, coníferas, huertos semilleros, mejoramiento forestal, portainjertos.

*Autor de correspondencia
Email: doragarcia101275@gmail.com
ISSN 2594-0384 (Electrónica)

Introducción

La propagación vegetativa (asexual, agámica o clonal), transfiere toda la diversidad genética de un individuo de alto valor a sus descendientes, lo que permite obtener copias genéticamente idénticas. En este contexto, el injerto es la técnica más empleada en especies de *Pinus* para la producción de planta en bancos clonales y huertos semilleros asexuales, ya que facilita la multiplicación rápida de árboles adultos con características fenotípicas de interés económico (Barrera *et al*., 2021; Pérez-Luna *et al*., 2023).

A pesar de que el injerto es una alternativa biológicamente viable para preservar estos genotipos superiores, su éxito productivo se ve limitado por diversos factores técnicos y fisiológicos. Entre ellos destacan la edad del árbol donador (debido a la pérdida de vigor por madurez celular y cambios hormonales), la condición del patrón o portainjerto (estado nutricional, hídrico y compatibilidad de diámetro), y la posible incompatibilidad anatómica o genotípica entre ambos tejidos.

El éxito, vigor y supervivencia de la unión están condicionados por múltiples factores; entre ellos destaca la afinidad taxonómica de los componentes, pudiendo realizarse un injerto intraespecífico (portainjerto y púa de la misma especie), o interespecífico (portainjerto y púa de diferentes especies) (López-Avendaño *et al*., 2022).

En coníferas, la producción del portainjerto o planta patrón inicia durante el primer año con la siembra de la semilla; posteriormente, estas plantas se someten a un proceso de acondicionamiento físico y nutricional que las habilita de manera óptima para la etapa de injertado (Ortiz y Gutiérrez, 2005). Las características morfofisiológicas y la calidad general de estos portainjertos son determinantes para el éxito de la unión celular, debido a que el sistema radicular del patrón será el encargado de suministrar el agua y los nutrientes esenciales requeridos para el posterior crecimiento y desarrollo de la púa (Castro *et al*., 2022)

A pesar de su importancia, la literatura científica sobre técnicas específicas para la producción de portainjertos en el género *Pinus* sigue siendo escasa. Dado que en la mayoría de los ensayos de injertado la supervivencia histórica ha sido inferior al 50% (Pérez-Luna *et al*., 2023), resulta imperativo investigar alternativas técnicas que incrementen este porcentaje de prendimiento. Optimizar estos protocolos permitirá abastecer de manera eficiente los clones de genotipos superiores demandados para el establecimiento de huertos semilleros asexuales en las diferentes regiones ecológicas del país.

Pinus pseudostrobus var. *apulcensis* es un árbol que alcanza entre 25 y 40 m de altura y un diámetro normal de hasta 1 m. Esta variedad exhibe un crecimiento moderado, corteza gruesa, agrietada y de coloración oscura, así como un follaje perennifolio. Su periodo de floración ocurre de febrero a mayo, mientras que los conos maduran y quedan listos para su recolecta entre noviembre y febrero. Biológicamente, la especie es tolerante a las heladas y se distribuye en regiones con climas templados y semiáridos subhúmedos (CONAFOR, 2017).

Respecto a la taxonomía de la especie, se han descrito diversas formas taxonómicas, entre las cuales actualmente se reconoce a *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* (Lindley) Shaw (cuyos sinónimos incluyen a *P. oaxacana* y *P. pseudostrobus* var. *oaxacana*) (Rodríguez-Ortiz *et al*., 2022). Debido al alto valor ecológico y comercial de este taxón, existe un creciente interés en implementar programas de mejoramiento genético que contemplen el establecimiento de huertos semilleros. Por lo antes expuesto, el objetivo de este trabajo fue evaluar el efecto de diferentes sustratos y frecuencias de aplicación de un biofertilizante líquido compuesto en la producción y calidad de plantas portainjerto de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis*..

Materiales y métodos

El estudio se llevó a cabo en el vivero forestal del Campo Experimental Uruapan, perteneciente al Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). El sitio se localiza en las coordenadas 19° 24’ 25.55’’ N y 102° 03’ 05.37’’ O, a una altitud de 1,619 msnm. De acuerdo con la clasificación de Köppen modificada por García, el clima de la región corresponde al tipo (A)C(w_2)(w), definido como semicálido subhúmedo con lluvias en verano. Presenta una temperatura media anual de 23.8 °C, registrando la mínima en el mes de enero con 5.4 °C. Por su parte, la precipitación media anual es de 1,600.8 mm, con un porcentaje de lluvia invernal inferior al 5% (Anguiano *et al*., 2003).

La producción de plantas portainjerto de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis* se llevó a cabo bajo condiciones de vivero, empleando una fase inicial en charolas de germinación y un posterior trasplante a bolsas de polietileno. El germoplasma se recolectó a partir de árboles selectos en rodales naturales de

Santiago Comaltepec, Oaxaca. Los conos se trasladaron en costales para su secado al aire libre. El beneficio de la semilla consistió en la eliminación manual de impurezas y propágulos vanos, seguido de un proceso de flotación en agua adicionada con Captán Ultra 50® (1.0 g/1.0 L de agua) durante 60 min, procediendo a su secado inmediato. Previo a la siembra, las semillas se sometieron a un periodo de remojo y posterior desinfección por 24 h en una solución del fungicida Captán 50® (1 g/L), para prevenir micosis. La siembra se realizó en charolas de plástico rígido de color negro con 54 cavidades (capacidad de 310 cm³ por tubete), utilizando un sustrato a base de turba de musgo (*peat moss*), vermiculita y perlita en proporción 2:1:1. La fertilización base se incorporó al sustrato mediante Osmocote® (15-7-15+2MgO+ micronutrientes), en dosis de 3 kg m³.

Ocho meses después de la siembra, las plantas se trasplantaron a bolsas de polietileno negro calibre 400 con capacidad de 5.2 L. En esta etapa se evaluaron diferentes sustratos formulados a base de corteza molida de pino, mantillo de monte y arena, enriquecidos con la adición basal de 3 kg/m³ de Multicote®. Asimismo, se evaluó la frecuencia de aplicación de un biofertilizante líquido compuesto al 10% (en dosis de 100 ml por planta). El periodo experimental abarcó un ciclo de evaluación activa de 6 meses, seguido de una fase de mantenimiento de 4 meses previos al análisis final.

El experimento se estableció bajo un diseño completamente al azar. Se utilizaron 8 repeticiones y la unidad experimental consistió en un grupo de 3 plantas. Los tratamientos evaluados se describen detalladamente en el cuadro 1. Las variables de respuesta correspondieron a los incrementos en altura y diámetro basal. Tras verificar el cumplimiento de los supuestos de normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk (p=0.05), se procedió a realizar un análisis de varianza (ANOVA). Las diferencias significativas entre tratamientos se determinaron a través de la prueba de comparación de medias de rango múltiple de Duncan (α=0.05). Todos los análisis estadísticos se ejecutaron utilizando el software R versión 3.4.3 (R Core Team, 2017).

Resultados y discusión

Al concluir la fase de producción en contenedor (ocho meses), las plantas alcanzaron una altura promedio que osciló entre 20.46 y 24.96 cm, y un diámetro basal de 3.90 a 4.59 mm. Con respecto a las variables morfológicas finales registradas a los 18 meses de evaluación, la prueba de Shapiro-Wilk confirmó que los datos se ajustaron a una distribución normal (W = 0.9159; p –value=0.083).

El análisis de varianza (ANOVA), reveló que no existieron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para la variable altura; figura 1. En contraste, el diámetro basal mostró variaciones altamente significativas, lo que demuestra un efecto diferenciado atribuible tanto al tipo de sustrato evaluado como a la frecuencia de aplicación del biofertilizante líquido compuesto (Figura 2).

El tratamiento 6 demostró ser el más eficiente; este consistió en un sustrato a base de corteza molida de pino (50%), mantillo (25%), y arena (25%), enriquecido con 3 kg/m³ de Multicote® y complementado con la aplicación mensual de 100 ml/planta de biofertilizante líquido compuesto al 10% durante un periodo de 6 meses. Tras concluir una fase adicional de 4 meses de mantenimiento en vivero, los portainjertos alcanzaron una altura promedio de 91 cm (intervalo de 78.67 a 101.33 cm), y un diámetro basal medio de 22.6 mm (intervalo de 20.73 a 23.77 mm); dimensiones que cumplen holgadamente con los estándares morfológicos requeridos para el injertado.

Cuadro 1. Tratamientos probados en la producción de planta portainjerto para el establecimiento de huertos semilleros asexuales de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis.*

Tratamiento No.	Corteza molida de pino (%)	Mantillo (%)	Arena (%)	Multicote (kg m^3 de sustrato)	Frecuencia de aplicación de biofertilizante líquido compuesto (días)
1	70	15	15	3	0
2	70	15	15	3	15
3	70	15	15	3	30
4	50	25	25	3	0
5	50	25	25	3	15
6	50	25	25	3	30

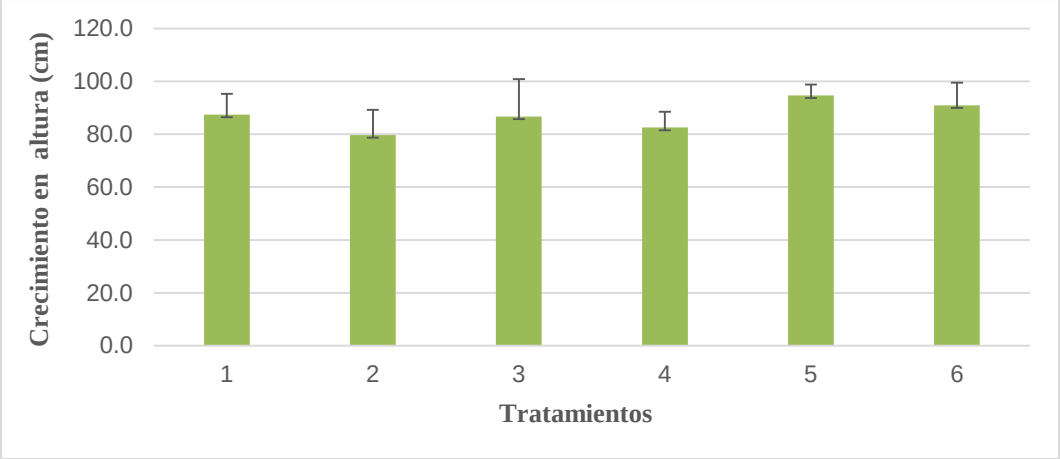


Figura 1. Crecimiento en altura por efecto de sustratos y biofertilizante líquido compuesto, para la producción de planta portainjerto de *P. pseudostrobus* var. *apulcensis.*

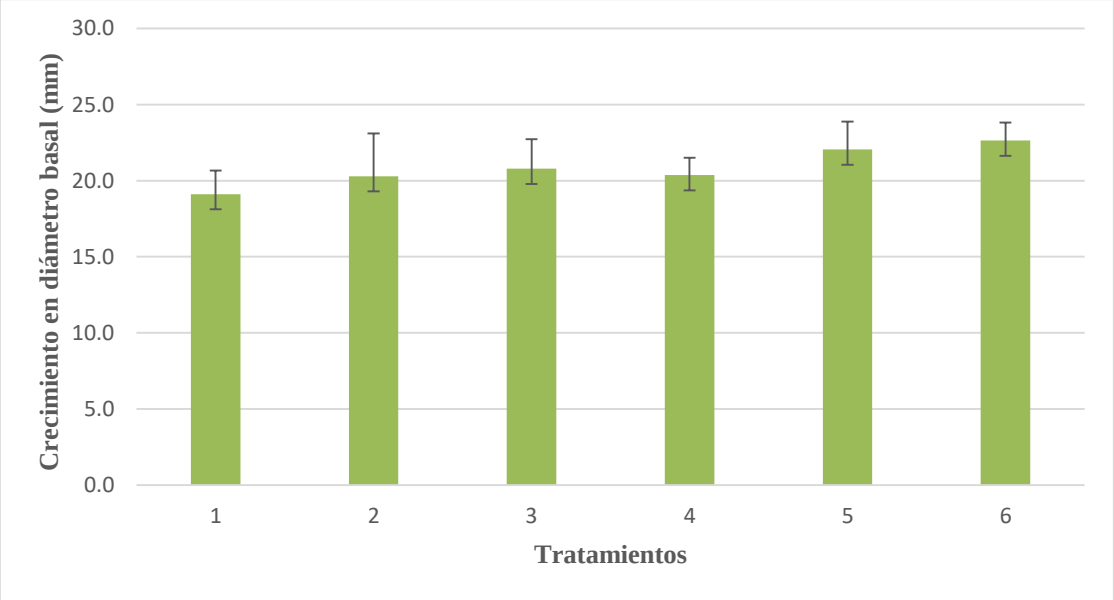


Figura 2. Crecimiento en diámetro basal por efecto de sustratos y biofertilizante líquido compuesto, para la producción de planta portainjerto de *P. pseudostrobus* var. *Apulcensis.*

Estos valores resultaron marcadamente superiores a los consignados por González (2023), en plantas de la misma edad de *Pinus patula* (60 cm de altura y 8.1 mm de diámetro basal). Dicho autor empleó un sistema de producción basado en envases plásticos de 1 L con un sustrato de turba de musgo, perlita y vermiculita (60%, 20% y 2%, respectivamente), adicionado con una dosis de 8 g/L de Multicote®.

El éxito de un ciclo de injertación depende fundamentalmente del desarrollo de portainjertos con atributos de alta calidad. A pesar del rol determinante que posee el patrón en el prendimiento y crecimiento posterior de la púa, la literatura científica enfocada en optimizar las técnicas de producción de portainjertos para el género *Pinus* sigue siendo escasa (López-Avendaño *et al*., 2022). Al respecto, Barrera-Ramírez (2020), señala que el desarrollo operativo de un programa de mejoramiento genético para *Pinus pseudostrobus* exige resolver diversos desafíos tecnológicos. La complejidad de su implementación radica en la amplia distribución geográfica de este taxón en México, lo que implica su adaptación a condiciones ambientales sumamente diversas, sumado a que

forma parte de un complejo taxonómico de difícil delimitación

Estudios recientes reportan diferencias significativas en los atributos de crecimiento y valor adaptativo entre las variedades *pseudostrobus* y *apulcensis* (Viveros-Viveros *et al*., 2006). Mientras que la var. *pseudostrobus* prospera en sitios con suelos profundos y de alta fertilidad, la var. *apulcensis* está adaptada a condiciones de mayor xericidad o sequía (Barrera-Ramírez *et al*., 2020). Debido a la heterogeneidad ambiental y la versatilidad de uso de las especies de *Pinus*, resulta fundamental delimitar unidades ecológicas específicas que regulen y optimicen el movimiento de su germoplasma (Flores *et al*., 2019). Cabe destacar que, aunque *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* no se encuentra bajo ninguna categoría de riesgo oficial, factores antropogénicos como el cambio de uso de suelo, el aislamiento poblacional y el aprovechamiento excesivo y disgénico representan amenazas críticas que propician la degradación genética y el agotamiento de sus mejores rodales (Barrera *et al*., 2020)

A pesar de que este estudio no evaluó directamente el crecimiento de la planta bajo escenarios de cambio climático, los resultados sientan las bases metodológicas para contrarrestar sus efectos adversos. Al optimizar la producción de portainjertos de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* variedad caracterizada por su tolerancia a condiciones de mayor xericidad; se facilita el establecimiento de huertos semilleros que sirvan como fuentes estables de germoplasma adaptado al estrés hídrico. Por lo tanto, estos protocolos son aplicables en programas futuros de conservación genética y restauración adaptativa de áreas boscosas ante la variabilidad climática global. Asimismo, esta información técnica permite el diseño de planes integrales de gestión forestal que articulen estrategias de productividad, preservación y restauración ecológica, garantizando así la continuidad evolutiva y distribución de este taxón

Conclusiones

La producción óptima de plantas portainjerto de *Pinus pseudostrobus* var. *apulcensis* se logra mediante la germinación de la semilla en contenedores con un sustrato a base de turba de musgo, vermiculita y perlita en proporción 2:1:1. Tras un periodo inicial de ocho meses, las plantas deben ser trasplantadas a bolsas de polietileno negro de 5.2 L, empleando un sustrato compuesto por corteza molida de pino (50%), mantillo de monte (25%), y arena (25%), enriquecido con 3 kg/m³ de Multicote® y complementado con la aplicación mensual de 100 ml/planta de biofertilizante líquido compuesto al 10% durante seis meses.

En términos generales, los avances en la propagación vegetativa mediante la técnica de injerto en coníferas siguen siendo limitados en México. Por lo tanto, resulta de suma importancia dar continuidad a estas líneas de investigación para consolidar protocolos estandarizados de injertado en taxones con alto valor económico, ecológico y social.

Agradecimientos

Se agradece al Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal (CONAFOR-CONACyT), por el financiamiento del Proyecto: “Establecimiento de huertos semilleros regionales y ensayos de progenie de *Pinus pseudostrobus* para la evaluación genética de los progenitores”, del cual formó parte este trabajo.

Fuente financiadora

Fondo Sectorial para la Investigación, el Desarrollo y la Innovación Tecnológica Forestal (CONAFOR-CONACyT).

Referencias

Barrera, R.R., Vargas, H.J.J., López, A.R., Muñoz, F.H.J., Treviño, G.J.E., Aguirre, C.O.A. 2021. Impact of external and internal factors on successful grafting of *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) Harrison. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 27(2): 243-256.

Barrera-Ramírez, R. 2020. *Interacción y compatibilidad de diferentes métodos de injertado en patrones de Pinus pseudostrobus Lindl* (Tesis doctoral, Universidad Autónoma de Nuevo León).

Castro, G.S.L., Villegas, M.A., López, U.J., Sandoval, V.M., Arévalo, G.L. 2022. Effective protocol increase the percentage of grafting success of *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* Donahue. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, 28(2): 225-240.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2017. Disponible en: http://www.conafor.gob.mx:8080/documentos/docs/13/973Pinus%20oaxacana.pdf

González-Jiménez, B. 2023. Clonación por injerto de *Pinus patula* Schiede Ex Schltdl. Et Cham. Tesis Doctoral. Postgrado en Ciencia Forestales. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México. 103 P.

López-Avendaño, E.D. 2022. Efectos de algunos factores que impactan la respuesta a la injertación en *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. Tesis Doctoral. Postgrado en Ciencia Forestales. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México. México.

Ortiz, N.O., Gutiérrez, C.B. 2005. Macropropagación vegetativa de raulí (*Nothofagus obliqua* (Mirb.) Oerst): Injertación y

enraizamiento de estacas. *En*: Gutiérrez B., Ortiz, O. y Molina, M. P. (Eds.). Clonación de raulí: estado actual y perspectivas. CEFOR-INFOR-UACH. Chile. pp. 19-40.

Ortiz, G.R., Vásquez, M.E.R., del Valle, J.R.E., Ángeles, G.V.C., Velasco, V.A.V., Hernández, A.H. 2021. Ensayos de progenies y huertos semilleros de especies forestales en México. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *8*(1), 79-88.

Pérez-Luna, A., Soto-Cervantes, J.A., Madrid-Aispuro, R.E., Sigala-Rodríguez, J.Á., Solís-González, S., Prieto-Ruíz, J.Á. 2023. Supervivencia de injertos de tres especies de *Pinus* con dos técnicas y dos métodos cicatrizantes. Revista mexicana de ciencias forestales, 14(76), 50-70.

R Core Team. 2017. R project 4.3.4. https://www.r-project.org/

Rodríguez-Ortiz, G., De los Reyes-Flores, J.A., Hernández-Hernández, A., Enríquez-del-Valle, J.R., Menes-Matías, M. 2022. FENOTIPOS SOBRESALIENTES DE Pinus pseudostrobus var. apulcencis DE LA SIERRA NORTE DE OAXACA, MÉXICO. *Revista Mexicana de Agroecosistemas*, *9*(2), 8-18.

Viveros-Viveros, H., Sáenz-Romero, C., Vargas-Hernández, J., López-Upton, J. 2006. Variación entre procedencias de *Pinus pseudostrobus* establecidas en dos sitios en Michoacán, México. Revista Fitotecnia Mexicana, 29(2): 121 126