



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN CIENCIAS FORESTALES

**EFFECTOS DE ALGUNOS FACTORES QUE
IMPACTAN LA RESPUESTA A LA
INJERTACIÓN EN *Pinus patula* Schiede ex
Schltdl. et Cham.**

EDGAR DAVID LÓPEZ AVENDAÑO

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

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO, MÉXICO

2022

La presente tesis titulada: **Efectos de algunos factores que afectan la injertación en *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.**, realizada por el alumno: **Edgar David López Avendaño**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
CIENCIAS FORESTALES

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO



DR. MIGUEL ÁNGEL LÓPEZ LÓPEZ

ASESOR



DR. CARLOS RAMÍREZ HERRERA

ASESOR



DR. MANUEL AGUILERA RODRÍGUEZ

Montecillo, Texcoco, Estado de México, México, mayo de 2022

EFFECTOS DE ALGUNOS FACTORES QUE AFECTAN LA RESPUESTA A LA INJERTACIÓN EN *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

Edgar David López Avendaño M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

RESUMEN

El injerto es una técnica de la propagación vegetativa que permite multiplicar, preservar y perpetuar árboles maduros con características genéticas superiores de interés, debido a que produce plantas genéticamente idénticas al árbol madre. En el mejoramiento genético forestal comúnmente se utilizan injertos para establecer huertos semilleros asexuales y bancos clonales, sin embargo, existen condiciones fisiológicas y ambientales principalmente que limitan el éxito de la propagación a gran escala. Por ello, se han realizado estudios sobre factores que intervienen en el éxito de prendimiento de injertos. En el capítulo I, el objetivo particular fue evaluar el prendimiento de injertos de brotes de árboles de *P. patula* en función de factores asociados al patrón, probando tipos de envase, niveles de fertilización y niveles de riego. Se realizaron 120 injertos con la técnica de fisura terminal; se utilizó planta patrón de 9 meses de edad. Los tipos de envase probados fueron tubete de 330 mL y maceta de 1.9 L. Los niveles de fertilización estudiados fueron fertilización ligera (2 gL^{-1} de osmocote®) y pesada (7 gL^{-1} de osmocote® + solución nutritiva), finalmente los niveles de riego fueron 100% y 40% de riego saturado. Se evaluó el prendimiento de los injertos, así como el diámetro basal del injerto, longitud, índice de robustez, incremento en diámetro basal e incremento de longitud del injerto. La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostró que ninguno de los factores aplicados en el estudio es significativo para el prendimiento de los injertos y en el análisis de varianza se obtuvo que cada factor influye directamente en el diámetro y la longitud del injerto por sí solo. El porcentaje de prendimiento promedio de los injertos fue de 72.5%, siendo los injertos en maceta + 100% de riego saturado + 2 g L^{-1} de osmocote® 14-14-14 (fertilización ligera) los que presentaron mayor porcentaje de prendimiento. Se concluye que el porcentaje de prendimiento de los injertos no es afectado por los niveles probados de riego, fertilización y contenedor.

En el capítulo II el objetivo particular fue determinar el efecto de la injertación de púas de árboles adultos (21 años de edad) en tres tamaños de portainjertos 20, 50 y 80 cm por encima de la base de *Pinus patula* sobre el prendimiento y crecimiento de los injertos. Los portainjertos se produjeron en un sistema de fertirriego hidropónico por inundación total con dos niveles de riego; después se trasplantaron a bolsas de 5.2 L y se mantuvieron en vivero. La planta patrón tenía 18 meses de edad cuando se realizaron los injertos de fisura terminal. Las variables evaluadas fueron el porcentaje de prendimiento, diámetro basal del injerto, longitud y número de brotes por injerto. El análisis de varianza muestra que las diferentes alturas de injertación afectan el crecimiento en diámetro y longitud de los injertos, pero no al porcentaje de prendimiento ni al número de brotes por injerto. El porcentaje de prendimiento promedio fue de 37.8%, siendo los tratamientos T3 (patrón de 80 cm de altura) y T2 (patrón de 50 cm de altura) los que presentaron los mayores prendimientos; además se encontró que a mayor altura de injertación, los injertos crecen más en altura y diámetro. Se concluye que las diferentes alturas afectan la tasa de crecimiento de diámetro y altura, pero no influye en el prendimiento de los injertos.

Palabras clave: injerto, fertirriego, planta patrón, prendimiento, propagación vegetativa.

EFFECTS OF SOME FACTORS THAT IMPACT THE RESPONSE TO GRAFTING IN *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham.

Edgar David López Avendaño M.C.
Colegio de Postgraduados, 2022

ABSTRACT

Grafting is a vegetative propagation technique that allows multiplication, conservation and perpetuation of mature trees with superior genetic characteristics of interest, since they produce plants genetically identical to the mother tree. In a forest genetic improvement context, grafts may be used to establish asexual seed orchards and clonal banks; however, there are many physiological and environmental conditions that limit the success of large-scale propagation this means. This is why many studies have been carried out on factors that influence grafting success rates. In chapter I, the particular objective was to evaluate grafting of *Pinus patula* tree shoots as a function of factors associated with the rootstock, so that we tested types of container, and fertilization and irrigation levels. One hundred and twenty grafts were made by using the terminal fisure technique on 9-month-old rootstock seedlings. The types of containers tested were 330 mL Deepot™ cells and 1.9 L pots. Fertilization levels studied were light fertilization (2 g L⁻¹ osmocote^R) and heavy fertilization (7 g L⁻¹ osmocote^R + nutrient solution). Finally, irrigation levels tested were 40% and 100 % of saturated irrigation. The non-parametric Kruskal-Wallis test showed that none of the factors applied in the study is significant for the taking of the grafts and in the analysis of variance it was obtained that each factor directly influences the diameter and length of the graft on its own. Besides of grafting success rate, we evaluated basal diameter, length, robustness index, increment of basal diameter, and increment of height on the grafted shoot. Average grafting success rate was 72.5 %, with potted graftings + 100 % field capacity + 2 g L⁻¹ osmocote^R 14-14-14 (light fertilization) showing the highest grafting success. It is concluded that the grafting percentage is not affected by the tested levels of irrigation, fertilization and container.

Particular objective of chapter II was to determine the effect of grafting scions from adult *Pinus patula* trees (21 years old) on three rootstock sizes (20, 50 and 80 cm above root collar), on grafting success rate and growth. The rootstocks were produced in a hydroponic fertigation system with total flooding and two irrigation levels; thereafter, seedlings were transplanted into 5.2 L bags and they stayed in the nursery. When rootstock plant was 18-month-old, terminal fisure graftings were performed. We evaluated grafting success rate, grafted-shoot diameter and height, and number of shoots per grafting. The analysis of variance shows that the different grafting heights affect the growth in diameter and length of the grafts, but not the percentage of establishment or the number of shoots per graft. Mean grafting success rate was 37.8 %, being treatments T3 (rootstock 80 cm in height) and T2 (rootstock 60 cm in height) the ones showing the highest grafting success rates; moreover, we found that the higher the grafting height, the maximum the diameter and length growth of shoots. It is concluded that the different heights affect the growth rate of diameter and height, but it does not influence the taking of the grafts.

Keywords: graft; fertigation; rootstock; successful graft; vegetative propagation.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo económico brindado para realizar mis estudios de maestría.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, por darme la oportunidad de realizar mi formación académica en el Postgrado en Ciencias Forestales, a todos los profesores que lo integran y que tuve la dicha de aprender de ellos durante este tiempo.

Al Dr. Miguel Ángel López López por su enorme apoyo, dedicación y confianza brindada durante el desarrollo de este estudio. También por compartir su conocimiento en todo momento, gracias por ser una excelente persona.

Al Dr. Carlos Ramírez Herrera por su gran apoyo en la recolecta de material vegetal, por sus recomendaciones y aportaciones que enriqueció este proyecto de investigación.

Al Dr. Manuel Aguilera Rodríguez por su apoyo al facilitar el contacto con el vivero forestal Pueblo Nuevo y sus recomendaciones al escrito de la tesis.

Al M.C. Benito González Jiménez por su gran apoyo a la hora de realizar los injertos, por facilitarnos consejos e información basados en su experiencia, que ayudaron al éxito de este trabajo.

Al Sr. José Luis López y Fermán Juárez por su enorme apoyo en la etapa de establecimiento y producción de planta patrón en vivero.

A mis compañeros Leoncio, Rigoberto, Diana, Karla, Deyanira, Reynol y Marcelina por la ayuda que me brindaron durante la investigación y por compartir momentos agradables.

A mis tíos Agustín López y Verónica Flores por brindarle a mi familia y a mí el apoyo durante la estancia en la ciudad.

DEDICATORIA

A mis padres, Carmen Aurora Avendaño Garnica y David López Gómez por brindarme su amor infinito y por guiar mis pasos, por el apoyo brindado en cada una de las etapas y decisiones tomadas en mi vida. Me siento feliz y orgulloso de tenerlos y llamarlos padres. Por las enseñanzas de humildad, perseverancia, gratitud y respeto inculcados en mi persona a lo largo de estos años. ¡Gracias mamá y papá!

A mi querida hermana Marlen López Avendaño, gracias por demostrarme tu apoyo y cariño. Gracias por ser mi ejemplo de vida.

A mis sobrinos, Erick Alonso y Eli Aurora. Gracias por el enorme cariño que nos tenemos, a pesar de su corta edad, ustedes hacen que yo quiera ser mejor persona cada día, por su nobleza y alegría y por permitirme ser su tío.

A mis hermanos de vida y seres queridos que han formado parte de este maravilloso camino.

CONTENIDO

RESUMEN.....	iii
ABSTRACT.....	iv
AGRADECIMIENTOS.....	v
DEDICATORIA.....	vi
LISTA DE CUADROS	ix
LISTA DE FIGURAS.....	x
INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
CAPÍTULO 1. EFECTOS DE RIEGO, FERTILIZACIÓN Y CONTENEDOR SOBRE LA RESPUESTA A LA INJERTACIÓN DE <i>Pinus patula</i>	2
1.1 RESUMEN.....	2
1.2 ABSTRACT	3
1.3 INTRODUCCIÓN.....	4
1.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	7
1.4.1 Área de estudio y procedencia de las púas	7
1.4.2 Origen y preparación de planta patrón.....	7
1.4.4 Diseño experimental.....	8
1.4.5 Procedimiento de injertación.....	9
1.4.6 Implementación de tratamientos de riego y fertilización soluble	10
1.4.7 Solución nutritiva	11
1.4.8 variables evaluadas.....	11
1.4.9 Análisis de datos	12
1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
1.5.1 Prendimiento de los injertos	14
1.5.2 Variables morfológicas evaluadas.....	15
1.6 CONCLUSIONES.....	19
CAPÍTULO 2. INJERTACIÓN DE BROTES DE ÁRBOLES MADUROS DE <i>Pinus patula</i> A DIFERENTES ALTURAS DEL PORTAINJERTO	20
2.1 RESUMEN.....	20
2.2 ABSTRACT	21
2.3 INTRODUCCIÓN.....	22

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
2.4.1 Área de estudio y procedencia de púas.....	25
2.4.2 Origen y preparación del portainjerto	25
2.4.3 Área experimental de injertación.....	28
2.4.4 Diseño experimental	28
2.4.5 Procedimiento de injertación.....	29
2.4.6 Actividades complementarias.....	30
2.4.7 Variables evaluadas.....	30
2.4.8 Análisis de datos	30
2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	31
2.5.1 Prendimiento de injertos.....	31
2.5.2 Variables morfológicas evaluadas.....	33
2.6 CONCLUSIONES	35
CONCLUSIONES GENERALES.....	36
LITERATURA CITADA	37

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. 1. Solución nutritiva sugerida por landis (1989).....	11
Cuadro 1. 2. Prendimiento de los injertos de fisura terminal de pinus patula probando 2 tipos de contenedores, dos niveles de riego y 2 niveles de fertilización.	14
Cuadro 1. 3. Análisis de varianza del efecto de los factores probados y sus interacciones sobre el crecimiento en diámetro, longitud, índice de robustez e incrementos de los injertos en <i>P. patula</i>	16
Cuadro 1. 4. Comparación de medias de tukey ($\alpha=0.05$) para el crecimiento en diámetro, longitud, índice de robustez e incrementos de diámetro basal y longitud de los injertos en <i>P. patula</i>	18
Cuadro 2. 1. Solución nutritiva sugerida por landis, (1989).....	27
Cuadro 2. 2. Prueba de supuestos estadísticos para validar el anova.	31
Cuadro 2. 3. Anova para las variables morfológicas evaluadas y prendimiento, en injertos de <i>P. patula</i>	34
Cuadro 2. 4. Comparación de medias de tukey ($\alpha=0.05$) para el crecimiento en diámetro, longitud, número de brotes y prendimiento de los injertos a diferentes alturas del portainjerto en <i>P. patula</i>	34

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. 1.** Plantas injertadas con cinta roja/amarilla= 100% riego-7g L-1fertilizante de liberación lenta solución nutritiva; cinta roja= 100% riego-2g L-1fertilizante de liberación lenta; cinta azul/amarilla=40% riego-7g L-1fertilizante de liberación lenta + solución nutritiva; cinta azul= 40% riego-2g L-1fertilizante de liberación lenta, para ambos tipos de envase a) maceta, b) tubete..... 10
- Figura 1. 2.** Medición del diámetro (B) y diámetro (C) en la base del injerto, marcando el área como referencia inicial para posteriores mediciones (A). 12
- Figura 2. 1.** Sistema de fertirriego para la producción de planta patrón de *Pinus patula*. A) almacenamiento y suministro de solución nutritiva para los riegos; B) control del flujo de agua para el llenado de las camas (cajas) de crecimiento; C) inundación completa de las charolas con planta; D) vaciado de solución de las camas (cajas) de crecimiento; E) nivel máximo permitido de inundación y F) retorno de la solución al tinaco de almacenamiento. 26
- Figura 2. 2.** Trasplante a bolsa, de planta patrón de *Pinus patula* producida en un sistema de inundación total..... 28
- Figura 2. 3.** Porcentaje de prendimiento de injertos de *Pinus patula* por tratamiento. T1 corresponde a 20 cm de altura del portainjerto; T2 corresponde a 50 cm de altura del portainjerto y T3 corresponde a 80 cm de altura del portainjerto. 32

INTRODUCCIÓN GENERAL

Las especies del género *Pinus* son utilizadas a nivel mundial para establecer plantaciones forestales comerciales (PFC) por diversos atributos como su extensa distribución geográfica, adaptabilidad y rentabilidad (FAO, 2020). De las 120 especies descritas a nivel mundial, 49 existen en el territorio mexicano (Farjon y Styles, 1997; Farjon, 2008). *Pinus patula* es una especie de rápido crecimiento y nativa de México, se distribuye naturalmente sobre la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur (Farjón *et al.*, 1997; Perry, 1991).

Para fomentar que se establezcan PFC con germoplasma de buena calidad, es necesario fortalecer los programas de mejoramiento genético forestal (MGF) lo cual contribuirá a incrementar la productividad y calidad de los productos derivados de estas. Con el uso de herramientas de propagación clonal o vegetativa es posible obtener ganancias en la calidad y productividad y dichas ganancias pueden convertirse en ganancias económicas (CONAFOR, 2017). Como parte de las actividades del mejoramiento genético forestal se establecen huertos semilleros asexuales (HSA) y bancos clonales (BC) (Stewart *et al.*, 2016). Para su establecimiento, el injerto es el método de propagación vegetativa de mayor uso debido a que se permite multiplicar genotipos con características de interés que poseen algunos árboles adultos (Wang, 2011; Pérez-Luna, *et al.*, 2020). El injerto es un trasplante de una parte de una planta (púa) sobre otra (portainjerto) que posteriormente se fusionan y dan lugar a una nueva planta (Mudge *et al.*, 2009; Darikova *et al.*, 2013). Para especies de coníferas, el injerto de fisura terminal y enchapado lateral son las técnicas con mayor popularidad (Muñoz *et al.*, 2013; Pérez-Luna *et al.*, 2020), debido a que se han obtenido buenos resultados para algunas especies. (Muñoz *et al.*, 2013; Castro-Garibay *et al.*, 2017).

El éxito de los injertos depende de factores que lo condicionan, tales como (Darikova *et al.*, 2013; Pérez-Luna *et al.*, 2020): el tipo y la técnica de injerto; incompatibilidad entre púa y portainjerto; calidad y origen del portainjerto; vigor y origen de la púa; posición de la púa en la copa de los árboles donantes; época de injertado; experiencia del injertador; características genéticas, taxonómicas y anatómicas; conexión del tejido celular y presencia/ausencia de hormonas reguladoras de crecimiento (Villaseñor & Carrera, 1980; Moore, 1984; Jayawickrama *et al.*, 1991; Lott *et al.*, 2003; Valdés *et al.*, 2003; Pina & Errea, 2005; Hibertt-Frey *et al.*, 2011; Darikova *et al.*, 2013; Muñoz *et al.*, 2013; Goldschmidt, 2014; Pérez-Luna *et al.*, 2019 y 2020)

CAPÍTULO 1. EFECTOS DE RIEGO, FERTILIZACIÓN Y CONTENEDOR SOBRE LA RESPUESTA A LA INJERTACIÓN DE *Pinus patula*

1.1 RESUMEN

Pinus patula Schiede ex Schltdl. et Cham es una de las especies forestales maderables más importantes en México, por su velocidad de crecimiento y calidad de su madera; razón por la cual, es importante mantener y reproducir genotipos de alta calidad. El uso de injertos permite clonar genotipos valiosos y establecer huertos semilleros para producir masivamente semilla mejorada. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el prendimiento de injertos de brotes de árboles adultos de *Pinus patula* en función de factores asociados al patrón. Los injertos se realizaron en las instalaciones del vivero del Postgrado en Ciencias Forestales en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Los brotes se recolectaron en una plantación comercial localizada en Huayacocotla, Veracruz. Un mes antes de la injertación, los patrones se expusieron a los siguientes factores en un experimento factorial 2 x 2 x 2: dos tipos de envase (tubete de 330 m L y maceta de 1.9 L), dos niveles de riego (40% y 100% de riego saturado) y dos niveles de fertilización (ligera: 2 g L⁻¹ de osmocote® y pesada: 7 g L⁻¹ de osmocote® + solución nutritiva de Landis, 1989). El mismo régimen de riego y fertilización se siguió después de la injertación y durante el desarrollo del injerto. Se incluyeron 15 repeticiones por tratamiento. Las variables evaluadas fueron: prendimiento de los injertos, diámetro basal, longitud del injerto, índice de robustez del injerto, incremento en diámetro basal e incremento de longitud del injerto. Se realizó un análisis de varianza de acuerdo con un diseño experimental factorial completamente al azar y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Los factores aplicados al portainjerto estadísticamente no influyen directamente en el PI, cuyo valor general fue de 72.5%; el tratamiento con mayor prendimiento fue el T2 (maceta-100% de riego saturado -2 g de osmocote por litro de sustrato) con 13 injertos prendidos de 15 realizados. La comparación de medias indicó efectos significativos de los tres factores estudiados (envase, riego y fertilización) sobre el diámetro basal, longitud del injerto, índice de robustez, incremento en diámetro y longitud del injerto. Se concluye que el porcentaje de prendimiento de los injertos no es afectado por los niveles probados de riego, fertilización y contenedor.

Palabras clave: Injerto; planta patrón; prendimiento; riego saturado; fertilizante de liberación lenta; reproducción asexual.

EFFECTS OF IRRIGATION, FERTILIZATION AND CONTAINER ON THE GRAFTING RESPONSE OF *Pinus patula*

1.2 ABSTRACT

Pinus patula is one of the most important timber forest species in Mexico, due to its rapid growth rates and high quality of its wood; for this reason, it is important to maintain and reproduce high quality genotypes. The use of grafting allows cloning of valuable genotypes and the establishment of seed orchards to mass produce improved seed. The objective of this study was to evaluate grafting of adult *Pinus patula* trees as a function of factors associated with the rootstock. The grafts were made in the nursery facilities of Postgrado en Ciencias Forestales, Colegio de Postgraduados. The shoots were collected in a commercial plantation located at Huayacocotla, Veracruz. One month before grafting, the rootstocks were exposed to the following factors in a 2 x 2 x 2 factorial experiment: two types of container (330 m L Deepot™ cels and 1.9 L pot), two irrigation levels (40% and 100% saturated irrigation) and two levels of fertilization (light: 2 g L⁻¹ of osmocote ® and heavy: 7 g L⁻¹ of osmocote ® + Landis nutrient solution). The same irrigation and fertilization regime was continued after grafting and during conduction of the grafts. Fifteen replicates per treatment were established. The variables evaluated were: grafting success, basal diameter, shoot length, shoot robustness index, increment in basal diameter and increment in shoot length. An analysis of variance was performed according to a completely randomized factorial experimental design and the means were compared with Tukey's test ($\alpha=0.05$). The treatments applied to the rootstock did not influence statistically the grafting success, whose general mean value was 72.5%; the treatment with the highest grafting success was T2 (pot-100% saturated irrigation-2 g of osmocote per liter of substrate) with 13 successful grafts out of 15. The comparison of means indicated significant effects of the three factors studied (container, irrigation and fertilization) on the basal diameter, shoot length, shoot robustness index, increment in basal diameter and increment in shoot length. It is concluded that the grafting percentage is not affected by the tested levels of irrigation, fertilization and container.

Keywords: Graft; rootstock; successful graft; saturated irrigation; slow release fertilizer; asexual reproduction.

1.3 INTRODUCCIÓN

La alta diversidad biológica que México posee, se deriva de su posición geográfica, topográfica y diversidad de climas presentes (Jiménez-Sierra *et al.*, 2010), albergando entre 10% y 12% del total de especies descritas en el planeta (Sierra *et al.*, 2014). De estas especies, cerca de 25,000 pertenecen al grupo de plantas vasculares (Rzedowski, 1991; Villaseñor, 2003), mostrando el género *Pinus* una importante abundancia y distribución en el territorio mexicano (Perry, 1991; Valencia-A., 2004; Gernandt & Pérez-De La Rosa, 2014).

Pinus patula Schiede *ex* Schltl. *et* Cham. es una especie endémica de México que se distribuye sobre la Sierra Madre Oriental, Eje Neovolcánico Transversal y la Sierra Madre del Sur en los estados de Nuevo León, Tamaulipas, San Luis Potosí, Hidalgo, Puebla, Veracruz, Oaxaca, Querétaro, Tlaxcala, Distrito Federal y Estado de México a una altitud que varía entre 1800 m y 3100 m (Farjon y Styles, 1997; Perry, 1991). Esta especie posee atributos que la hacen una de la especie de mayor importancia en México por la alta productividad, rápido crecimiento, fuste recto, libre de nudos, madera de alta calidad abundancia y calidad de los bosques donde hábitat (Dvorak *et al.*, 2002; Velásquez *et al.*, 2004; Rivera-Rodríguez *et al.*, 2016); además esta especie se planta ampliamente en África, Asia, Oceanía, el caribe y Sudamérica (Nyoka, 2002).

En México las plantaciones forestales comerciales (PFC) en general, se realizan con germoplasma recolectado en rodales naturales sin tomar en cuenta la calidad de los progenitores (Vargas, 2003), contrario al enfoque que se busca en el mejoramiento genético forestal (Salaya-Domínguez, 2012). Para iniciar a un programa de mejoramiento genético se tienen que seleccionar árboles con características fenotípicas superiores, evaluando el crecimiento de la progenie como sinónimo de calidad del progenitor en los terrenos donde se plantará (White *et al.*, 2007).

Recientemente, la investigación en México ha mostrado interés por desarrollar programas de mejoramiento genético forestal a partir de progenitores seleccionados, con la finalidad de conservar germoplasma valioso (CAMCORE, 2008), estableciéndose huertos semilleros, cruza controladas y herramientas de propagación clonal como parte de la mejora clásica del mejoramiento genético forestal y así, mantener, aumentar y mejorar la calidad en los árboles (Ledig, 2004; Zabala *et al.*, 2008).

La propagación vegetativa o clonal produce plantas con características genéticas idénticas al

progenitor (Zobel y Talbert, 1988; Aparicio-Rentería *et al*, 2013) a partir de secciones vegetativas de órganos como hojas, tallos, raíces y tejidos (meristemos) (Hartmann y Kester, 1988). Esto es posible debido a que cada célula que forma a la planta posee información genética necesaria para desarrollar nuevos individuos o clones (Hartman y Kester, 2011; MacDonald, 1986).

Existen varios métodos que se emplean para obtener clones a través de la propagación vegetativa, tales como micropropagación *in vitro*, acodos aéreos, enraizamiento de estacas e injertación (Hartmann y Kester, 1988), sin embargo, es complicado propagar árboles maduros a gran escala debido a que existen condiciones naturales (ambientales y fisiológicas) que limitan el éxito de la propagación (Celestino *et al.*, 2005).

La clonación de árboles forestales a través de la injertación permite multiplicar genotipos de árboles maduros con características de interés económico y ecológico (Wang, 2011), además el injerto es el método de la propagación vegetativa comúnmente aplicado para establecer huertos semilleros asexuales y bancos clonales como parte del mejoramiento genético forestal (Vargas-Hernández & Vargas-Abonce, 2016; Pérez-Luna *et al.*, 2020).

El injerto lo componen la púa y el patrón o portainjerto, que unidos forman una planta nueva con genotipos distintos, siendo la púa el brote o yema donado por el árbol con características genéticas deseadas y el componente de la parte superior del injerto, mientras que el patrón es la parte inferior de la planta y es el que proporciona el sistema radical, además de agua y nutrimentos para que en conjunto haya crecimiento de la planta (Wright, 1976; Mudge *et al.*, 2009; Ranjith e Ilango, 2017; Kita *et al.*, 2018). Una de las técnicas de injerto de mayor uso en coníferas es el injerto de hendidura terminal, también conocida como injerto terminal (Muñoz *et al.*, 2013) y consiste en decapitar ligeramente la punta del tallo para después hacer un corte longitudinal de 3 a 5 cm en el centro del tallo. En esta hendidura se inserta la púa, a la que, previamente se le realizan dos cortes diagonales en caras opuestas de la base, de 3 a 5 cm, adoptando la base de la púa, una forma de “v”, una vez hecha la unión de patrón y púa, la herida se cubre con una cinta plástica y el injerto con una bolsa transparente para generar condiciones de humedad y temperatura adecuadas (Muñoz *et al.*, 2013; Pérez-Luna *et al.*, 2020).

El éxito en el prendimiento del injerto depende de varios factores como: la afinidad taxonómica, compatibilidad genética y anatómica, cantidad de canales de resina, fenología de la yema, vigor,

sanidad, edad y origen de la yema, edad y vigor del patrón, tipo de injerto y experiencia del injertador por mencionar algunos (Jayawickrama *et al.*, 1991; Larson, 2006; González, 2017; Pérez-Luna *et al.*, 2020). Sin embargo, la información generada sobre la influencia de estos factores sobre la supervivencia del injerto es escasa (Valdés *et al.*, 2003; Gomes *et al.*, 2017).

Para someter plantas a un ciclo de injertación, es necesario producir portainjertos de alta calidad, sin embargo, existen pocos estudios sobre técnicas de producción de portainjertos de calidad en especies de pino, dejando a la deriva esta actividad aun sabiendo la importancia que tiene el portainjerto en el prendimiento y crecimiento del injerto (Hibbert-Frey *et al.*, 2011; Darikova *et al.*, 2013; Kita *et al.*, 2018).

De las investigaciones documentadas sobre injertos en coníferas, en México se han reportado pocos estudios en al menos la última década. Se han realizado estudios en *Pinus pseudostrobus* Lindl (Muñoz *et al.*, 2011 y 2013); *P. arizonica* Englem (Rodríguez-Villa, 2013); *P. patula* (Aparicio-Rentería *et al.*, 2013); *P. leophylla* Schiede ex Schltld. *et* Cham (Cuevas, 2014); *P. leophylla* (González, 2017); *P. patula*, *P. greggi* Englem, *P. leiophylla* y *P. teocote* Schiede ex Schltld (Castro-Garibay *et al.*, 2017); *P. engelmannii* Carr (Pérez-Luna *et al.*, 2019), *P. arizonica* (Pérez-Luna *et al.*, 2020), *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Barrera-Ramírez *et al.*, 2021) y *P. rzedowskii* Madrigal & Caball. Del. (Solorio-Barragán *et al.*, 2021), con diferentes grados de éxito, considerando algunos factores involucrados en el prendimiento.

El objetivo del presente estudio fue evaluar el prendimiento de injertos de brotes de árboles de *Pinus patula* en función de factores asociados al patrón, probando tipos de envase, niveles de fertilización y niveles de riego.

La hipótesis planteada en la investigación fue que el envase, la fertilización y el riego determinan el éxito en el prendimiento y crecimiento de los injertos de *Pinus patula*.

1.4 MATERIALES Y MÉTODOS

1.4.1 Área de estudio y procedencia de las púas

Se utilizaron púas de seis árboles de nueve años de edad, seleccionados en una plantación forestal que se estableció en agosto de 2011 en el predio Casa Redonda en el Ejido Palo Bendito, municipio de Huayacocotla, en el estado de Veracruz, México en las coordenadas geográficas 20° 27' 20.26" N y 98° 29' 00.91" O. Los suelos son principalmente lutitas y areniscas con textura franco-arcillosa (Miranda & Hernández-X., 1963).

La selección de los árboles se basó principalmente en el estado fenológico de las yemas, cuidando que los árboles estuvieran libres de plagas y enfermedades aparentes y que mostraran buenas características fenotípicas, tales como: auto poda de ramas bajas, rectitud de fuste y tasas de crecimiento superiores a los demás árboles de la plantación. Los brotes recolectados el 14 de enero del año 2021, aún se encontraban en etapa de latencia y presentaron una longitud promedio de 6 cm.

Las púas fueron seleccionadas de la zona externa de la copa, donde se presenta el crecimiento vegetativo reciente. Se escaló el árbol y con ayuda de tijeras de podar expandibles se recolectaron los brotes. Las púas se agruparon por árbol donador y se guardaron en bolsas previamente rotuladas con el número de árbol correspondiente; se almacenaron en una hielera con latas con agua congelada. Se cubrieron con un trapo húmedo para mantenerlas a una temperatura baja y evitar estrés y pérdida de turgencia; las púas fueron injertadas 24 horas después de ser cortadas.

1.4.2 Origen y preparación de planta patrón

Se utilizaron patrones de planta de *Pinus patula* menores a un año de edad (9 meses aproximadamente) procedentes del Vivero Forestal Pueblo Nuevo, ubicado en la comunidad de Peñuelas Pueblo Nuevo, municipio de Chignahuapan, Puebla. Las plantas se produjeron en charolas de poliestireno con 77 cavidades de 170 cm² y en condiciones de vivero comercial.

Antes de someter las plantas a injertación (un mes antes), se trasplantaron a dos tipos de contenedores, un grupo en macetas de 1.9 L y el otro en tubetes de 310 mL. El sustrato fue una mezcla homogénea de turba de musgo (*peat-moss*), perlita y vermiculita en una proporción 6:3:1 respectivamente. A la mitad de plantas patrón se agregaron 2 g L⁻¹ (fertilización ligera) y a la otra

mitad 7 g L⁻¹ de osmocote 14-14-14 de ocho meses de longevidad (fertilización pesada). A este último grupo de plantas patrón, se le adicionó un riego con solución nutritiva de Landis (1989) cada 15 días. El régimen de riego aplicado fue cada tercer día donde, a un grupo de plantas se regó a 100% de riego saturado y otro sólo el 40% del riego saturado.

1.4.3 Área experimental de injertación

La injertación se realizó durante la segunda semana del mes de enero de 2021 en las instalaciones del vivero forestal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, localizado a 19° 27' 38.25" latitud norte y 98° 54' 23.91" longitud oeste y una altitud de 2,240 m. Para disminuir la radiación solar y la temperatura dentro del invernadero se colocó malla de color negro con 50% de sombra.

1.4.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial 2*2*2: dos tipos de envase (tubete de 310 mL y maceta de 1.9 L), dos niveles de riego (100 % y 40% de CC) y dos niveles de fertilización (2 g L⁻¹ de osmocote ® 14-14-14 solamente y 7 g L⁻¹ osmocote ® 14-14-14 + solución nutritiva de Landis, 1989). La combinación de los niveles de los tres factores probados produjo un total de ocho tratamientos, los cuales se replicaron 15 veces y cada planta representó una unidad experimental. El modelo utilizado fue:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + C_k + AB_{ij} + AC_{ik} + BC_{jk} + ABC_{ijk} + \varepsilon_{ijkl}$$

Donde:

Y_{ijkl} = valor de la variable respuesta de l del nivel i de A , nivel j de B , nivel k de C .

μ = media general.

A_i = efecto del nivel i del factor A (envase)

B_j = efecto del nivel j del factor B (riego)

C_k = efecto del nivel k del factor C (fertilización)

AB_{ij} = interacción $A * B$ correspondiente al nivel i de A y nivel j de B

AC_{ik} = interacción $A * C$ correspondiente al nivel i de A y nivel k de C

BC_{jk} = interacción $B * C$ correspondiente al nivel j de B y nivel k de C

ABC_{ijk} = interacción $A * B * C$ correspondiente al nivel i de A , nivel j de B y nivel de k de C

ε_{ijkl} = error experimental correspondiente a la repetición l del nivel i de A , j de B y k de C

1.4.5 Procedimiento de injertación

Previo a la injertación, las púas se lavaron durante tres tiempos; a) inmersión en agua con solución preparada de jabón líquido comercial y cloro (hipoclorito de sodio) diluido al 1% y se agitaron manualmente durante 5 minutos para asegurar la eliminación de polvo, resina y organismos que pudieran estar sobre su superficie. b) enjuague con agua corriente y se volvieron a sumergir en una segunda solución preparada con captan ® 1.5 g L⁻¹ durante 15 minutos para prevenir y evitar problemas fitosanitarios posteriores y c), se volvieron a enjuagar con agua corriente y se depositaron en una hielera para seguir manteniendo frescos y turgentes los brotes, previo a la injertación púa por púa.

La injertación se realizó durante la segunda semana del mes de enero de 2021 en las instalaciones del vivero forestal del Colegio de Postgraduados Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México. Se realizaron 120 injertos en total, y la técnica de injertado implementada en el experimento fue la de fisura terminal descrita por Muñoz *et al.* (2011 y 2013). Participaron tres personas; una realizó los cortes (de la púa y del patrón), otra cubrió la inserción con plástico (parafilm ®) y otra colocó bolsas de plástico transparente para cubrir el injerto y proporcionar condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa.

La técnica de injerto terminal consistió en hacer un corte transversal para decapitar ligeramente parte del tallo principal de la planta patrón, luego se hizo un corte longitudinal de 3 a 5 cm justo en el centro del tallo del patrón, para que en ésta hendidura se insertara la púa, a la que previamente se le realizaron dos cortes diagonales en lados opuestos de la base de la púa (del tamaño de la hendidura del patrón), dejando la púa en forma “v”. La púa se insertó en la hendidura de la planta patrón, de tal manera que el cambium de ambos coincidiese. Una vez realizada la unión, se fijó con cinta parafilm ® en toda la herida, para evitar problemas fitosanitarios en el área del injerto. Finalmente se colocó una bolsa de plástico transparente (30-40 días) que le ayudó a crear una atmósfera de humedad y temperatura óptima para el prendimiento. La bolsa se retiró gradualmente (mediante cortes con tijeras) hasta lograr un injerto “prendido” y adaptado a las condiciones del invernadero. Una vez terminado el proceso de injertación, las plantas injertadas se acomodaron en un espacio dentro del invernadero de manera completamente aleatoria y se implementaron las

actividades complementarias de riego y fertilización de acuerdo a los tratamientos correspondientes.

1.4.6 Implementación de tratamientos de riego y fertilización soluble

A las plantas de cada tratamiento se les ataron cintas de colores claros en el tallo, para facilitar el manejo por tratamiento (Figura 1.1).

El riego se realizó cada dos días; en cada fecha de riego se seleccionaron cuatro plantas injertadas al azar por cada tipo de envase y se determinó la cantidad de agua necesaria para saturar por completo el sustrato. La cantidad promedio (de los cuatro envases) necesaria para saturar el sustrato se aplicó a todos los envases con régimen de riego de 100% de CC. Sólo 40% de esa cantidad se aplicó a los envases cuyo régimen de riego fue de 40% de CC.

El agua que se utilizó para todo el régimen de riego, se monitoreó en todo momento ajustando el pH a 5.5. Para saber la cantidad de agua (o dosis de fertilizante soluble cuando se requirió necesaria para saturar el sustrato a 100% de CC, se utilizó el peso del agua necesaria para saturar el sustrato de cuatro plantas seleccionadas aleatoriamente en cada fecha de riego. Sobre una báscula se pesó la planta, gradualmente se le agregó agua al sustrato hasta iniciado el proceso de lixiviación de agua por las aberturas de drenaje de los contenedores, ubicadas en la base de los mismos, la cantidad de agua aplicada se registró puntualmente. El promedio de las cuatro plantas (en maceta y tubete) se aplicó a todas las unidades experimentales que debieron recibir 100% de CC; y por diferencia se obtuvo la cantidad de agua a aplicar al grupo de plantas con 40% de CC.



A



B

Figura 1. 1. Plantas injertadas con cinta roja/amarilla= 100% riego-7g L-1fertilizante de liberación lenta solución nutritiva; cinta roja= 100% riego-2g L-1fertilizante de liberación lenta; cinta azul/amarilla=40% riego-7g L-1fertilizante de liberación lenta + solución nutritiva; cinta azul= 40% riego-2g L-1fertilizante de liberación lenta, para ambos tipos de envase a) maceta, b) tubete.

1.4.7 Solución nutritiva

Para los tratamientos que recibieron fertilización soluble, se utilizó la solución nutritiva sugerida por Landis (1989; Cuadro 1.1), misma que se aplicó cada 15 días como parte de la fertilización complementaria al grupo de plantas que recibió 7 g L^{-1} de fertilizante de liberación lenta, para que, en conjunto existiera una fertilización completa.

Además, en la semana que no se aplicó fertilizante, se preparó una solución de captan ® 1.5 g L^{-1} y se regaron todas las plantas con la proporción de agua que le correspondió según el régimen de riego, con la finalidad de prevenir problemas fitosanitarios que pudiesen influir en el éxito del injerto.

Cuadro 1. 1. Solución nutritiva sugerida por Landis (1989).

Nutrimiento mineral	Concentración
Macronutriente	(ppm)
N	50
P	60
K	150
Ca	80
Mg	40
S	60
Micronutriente	
Fe	4
Mn	0.8
Zn	0.32
Cu	0.15
B	0.5
Cl	4

1.4.8 variables evaluadas

El prendimiento del injerto (PI) se evaluó 70 días después de haberse realizado los injertos, haciendo referencia sólo a los injertos vivos como sinónimo de prendimiento; además se evaluaron variables como diámetro basal del injerto y longitud del injerto a los 70 y 100 días después del injertado, se marcó en la base un punto de referencia para que, en ambos tiempos de medición, ésta se realizara en el mismo lugar. El periodo de evaluación del prendimiento de los injertos a los

70 días se encuentra en el rango de evaluación por diversos autores como Cuevas. (2014), González. (2017) y Pérez-Luna *et al.* (2019) que evaluaron el prendimiento de acuerdo a lo descrito por Muñoz *et al.* (2013), quienes definen que aproximadamente a los dos meses (60 días) comienza la formación de acículas nuevas, estructuras florales y la brotación o rompimiento de yemas, siendo esto un indicador del PI, sin embargo esto va a depender de la época de injertado y la especie; por ejemplo, Barrera-Ramírez *et al.* (2021) reporta que desde los 45 días después del injertado, en los injertos de *Pinus pseudostrabus* var. oaxacana se manifestó esta condición. Con éstas mediciones se derivaron el índice de robustez y los incrementos en diámetro basal y la longitud del injerto.

Con un vernier calibrador digital marca Mitutoyo, modelo CD67-S6"PM se midió el diámetro basal del injerto y con una regla de 30 cm se midió la longitud del injerto (Figura 1.2), el índice de robustez se obtuvo dividiendo el diámetro basal del injerto / longitud del injerto; el incremento en diámetro basal del injerto se obtuvo a partir de los diámetros basales correspondientes a la primera y segunda evaluación, es decir, $\text{incremento en diámetro} = \text{diámetro basal}_{(100 \text{ días})} - \text{diámetro basal}_{(70 \text{ días})}$. Análogamente el incremento en longitud del injerto se obtuvo con la diferencia de crecimiento en longitud entre la segunda y la primera evaluación, $\text{incremento en longitud} = \text{longitud}_{(100 \text{ días})} - \text{longitud}_{(70 \text{ días})}$.



Figura 1. 2. Medición del diámetro (B) y diámetro (C) en la base del injerto, marcando el área como referencia inicial para posteriores mediciones (A).

1.4.9 Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto de los factores y las

interacciones sobre el diámetro basal, longitud, índice de robustez, incremento en diámetro e incremento en longitud de los injertos con los datos de la evaluación a los 100 días. Adicionalmente, se realizó una comparación de medias por Tukey, con un valor de probabilidad de $\alpha=0.05$. El procesamiento estadístico se realizó con la versión 9.0 del software estadístico Statistical Analysis System (SAS, 2002).

Para analizar el prendimiento de los injertos, debido a que no se cumplieron los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianza, aun haciendo la transformación con la función arcoseno de la raíz cuadrada del valor original expresado en fracción decimal [$T = \text{arcoseno}(\sqrt{Y})$], se aplicó una prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis para hacer válido el análisis.

1.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1.5.1 Prendimiento de los injertos

Al realizar el análisis estadístico (Kruskal-Wallis) no se encontraron diferencias significativas ($p < 0.05$) entre los tres factores estudiados (envase, fertilización y riego) en cuanto al prendimiento. El porcentaje de prendimiento promedio de injertos (PI) fue de 72.5%. Los injertos que se desarrollan en Maceta + 100% de riego saturado + 2 gL⁻¹ de Osmocote ® 14-14-14 tuvieron mayor prendimiento (86.6%) (Cuadro 2). Similar al estudio realizado por Muñoz *et al.* (2013) donde obtuvo 82.8% de prendimiento al realizar injertos de fisura terminal en *P. pseudostrobus*, estos estudios tuvieron mayor éxito comparados con los obtenidos por Barrera-Ramírez *et al.* (2021) con 41% de prendimiento de injertos de *P. pseudostrobus*, González (2017) obtuvo 47.5% de prendimiento de injertos en *P. leiophylla*. Todos estos estudios probaron diferentes factores a los de este estudio que afectan o no al éxito de los injertos.

Cuadro 1. 2. Prendimiento de los injertos de fisura terminal de *Pinus patula* probando 2 tipos de contenedores, dos niveles de riego y 2 niveles de fertilización.

Contenedor	Riego 100 %		Riego 40 %		Promedio
	F2gOsmo	F7gOsm+Sn	F2gOsmo	F7gOsm+Sn	%
	%	%	%	%	
Maceta	86.6 ns	60 ns	60 ns	80 ns	71.8
Tubete	80 ns	73.3 ns	66.6 ns	73.3 ns	73.3
Promedio	83.8	66.6	63.3	76.6	72.5
Promedio	75.2		69.9		

† ns = no significativa a $p < 0.05$ con la prueba Kruskal-Wallis

Estadísticamente, ninguno de los factores probados contribuyó significativamente al éxito del PI de los injertos, lo que conduce a pensar que hay otros factores que no se consideraron pero que seguramente influyeron en el alto porcentaje de prendimiento de los injertos de *P. patula*.

La afinidad genética entre el portainjerto y la púa en este estudio seguramente favoreció al prendimiento de los injertos, ya que los injertos intraespecíficos habitualmente son más exitosos debido a que poseen mayor afinidad anatómica, morfológica, fisiológica y bioquímica entre los componentes del injerto (Barnett & Miller, 1994; Yin *et al.*, 2012; Goldschmidt, 2014), lo cual favorece a que la unión de los tejidos sea más rápida y evita el riesgo de deshidratación del injerto. Darikova *et al.* (2013) mencionan que un factor que limita el éxito en el prendimiento de los injertos es la incompatibilidad entre la púa y el portainjerto debido a que presentan en la unión una conexión discontinua en el floema, provocando incompatibilidad, poco desarrollo y mortandad del injerto en el proceso o inclusive tiempo después (plantación en campo) (Goldschmidt, 2014; Barrera-Ramírez *et al.*, 2022; Castro-Garibay *et al.*, 2017).

La época de injertación fue otro factor que pudo influir en el alto porcentaje de prendimiento de este trabajo ya que ha sido señalada como determinante en el PI en coníferas. Muñoz *et al.* (2013), Goldschmidt (2014), Gaspar *et al.* (2017) y Pérez-Luna *et al.* (2020) mencionan en sus trabajos que el mejor momento para injertar especies leñosas es entre diciembre y febrero (temporada invernal), donde las yemas a injertar se encuentran en estado de quiescencia inicial, pues la yema permanece turgente durante más tiempo una vez que se corta del árbol donador; pese a esto, también se ha reportado éxito al injertar coníferas en cualquier época del año, teniendo control de la temperatura y la humedad, sin embargo, esto depende de la especie (Hans, 1965; Gil-Sánchez *et al.*, 1986; Salvo *et al.*, 2013; Pérez-Luna *et al.*, 2020).

La edad del árbol de origen de la vareta también se considera como un factor que influye en el prendimiento, pues estudios realizados en coníferas han demostrado que injertos obtenidos de árboles menores de 50 años tienden a aumentar el éxito del injerto (Goldschmidt, 2014; Bonga, 2016).

1.5.2 Variables morfológicas evaluadas

Para las variables diámetro basal del injerto y longitud del injerto se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) para envase, fertilización y riego (Cuadro 1.3). Ninguna interacción entre los factores probados resultó significativa en términos del diámetro y longitud de los injertos.

Cuadro 1. 3. Análisis de varianza del efecto de los factores probados y sus interacciones sobre el crecimiento en diámetro, longitud, índice de robustez e incrementos de los injertos en *P. patula*.

Fuente de variación	GL	Diámetro Basal del injerto	Longitud del injerto	Índice de robustez	Incremento en diámetro	Incremento en longitud
		Pr > F	Pr > F	Pr > F	Pr > F	Pr > F
Env	1	0.0004	<.0001	0.184	0.6394	0.0091
Fert	1	0.0026	0.0292	0.4248	0.0079	0.0193
Riego	1	0.0103	0.0006	0.0216	0.7204	0.1433
env*fert	1	0.8367	0.1122	0.101	0.0746	0.0082
env*riego	1	0.9468	0.7554	0.9602	0.301	0.3047
fert*riego	1	0.8478	0.1696	0.2249	0.7933	0.0742
env*fert*riego	1	0.4061	0.4268	0.0589	0.8597	0.0988

*=con diferencia significativa ($p \leq 0.05$); GL= grados de libertad; Env= envase; Fert=fertilizante.

La importancia de preparar los portainjertos antes de someterlos a injertación radica principalmente en que son los encargados de aportar al injerto el sistema radical y este a su vez proveerá de agua y nutrimentos al injerto (Ranjith e llango., 2017; Kita *et al.*, 2018); el desarrollo del sistema radical va a depender del espacio que tenga la planta para crecer y de acuerdo con Landis (1990) el tipo de envase (tamaño y color) afecta directamente la temperatura del sustrato y este; el desarrollo de la raíz; por ende, el tipo de envase tiene efecto en las características morfológicas (diámetro y altura) de las plantas (Castro-Garibay *et al.*, 2016). Muñoz *et al.* (2013) recomiendan producir plantas patrón en envases de 5 a 8 litros de capacidad para favorecer su crecimiento (vigor) antes de someterlas a injertación. Sin embargo, se han probado diferentes tamaños de contenedores en la injertación, por ejemplo, Pérez-Luna *et al.* (2021) utilizaron portainjertos plantados en bolsas negras de polietileno de 3.5 L en *Pinus engelmannii* carr; González (2017) utilizó bolsas negras de polietileno de 4.5 L en *Pinus leiophylla*; Pérez-Luna *et al.* (2019) utilizó plantas patrón de *Pinus engelmannii* Carr. plantadas en bolsas de polietileno con capacidad de 5 L; Barrera-Ramírez *et al.* (2021) injertó en patrones producidos en bolsas de polietileno con capacidad de 5.2 L en *Pinus pseudostrobus* Lindl y se han obtenido buenos resultados de prendimiento y crecimiento del injerto. De la misma manera, en este estudio se utilizaron contenedores de 310 m L y 1.9 L y se obtuvo diferencias estadísticas altamente significativas en el crecimiento (en diámetro y longitud) del injerto. Con estos resultados

confirmamos para este estudio que el envase que se utiliza en la producción de planta patrón en vivero influye directamente sobre el crecimiento de los injertos.

La nutrición es un factor importante a considerar en la producción de plantas patrón en vivero, debido a que las plantas toman los nutrimentos disponibles del medio de crecimiento. Al suministrar agua, nutrimentos y organismos benéficos a la planta, éstas tendrán recursos disponibles suficientes para crecer (Ramírez-Galicia, 2021). El uso de fertilizantes minerales de acción lenta aumenta el crecimiento longitudinal de la planta (Cañelas *et al.*, 1999), dependiendo de cuanto se le suministre y la cantidad y tipo de nutrimentos que contenga. Para producir portainjertos, Pérez-Luna *et al.* (2021) utilizaron 10 g L⁻¹ de multicote™ 6: 18-6-12 (NPK) + micronutrientes; González, (2017) 5 g L⁻¹ de osmocote® 15-9-12 (NPK); Barrera-Ramírez *et al.* (2021) utilizaron tres dosis distintas de fertilización 3, 5 y 8 kg de fertilizante de liberación controlada Multicote® 15-7-15 (NPK) + 2 MgO + micronutrientes por metro cúbico de sustrato.

El nivel de fertilización influyó sobre el crecimiento en diámetro basal del injerto ya que éste aumentó cuando se aplicó una fertilización completa (7 g L⁻¹ de osmocote 14-14-14 + solución nutritiva de Landis, 1989); sin embargo, no ocurrió lo mismo con la longitud del injerto pues no existieron diferencias estadísticas significativas en la elongación del brote, como tampoco sucedió con el índice de robustez; por su parte los incrementos (entre la primera y segunda evaluación) en diámetro y elongación del brote aumentan cuando la fertilización es completa.

La tasa de riego que recibieron los injertos marcó diferencias significativas en el diámetro basal del injerto y longitud del injerto pues los injertos crecieron más cuando se saturó el sustrato a 100%; por su parte, Hibbert-Frey *et al.* (2010) obtuvieron que la disponibilidad de agua no afectó el crecimiento de la púa al injertar brotes de abeto fraser en portainjertos de abeto turco.

El índice de robustez del injerto tuvo diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre tasas de riego. Éste índice es un indicador de resistencia de la planta a la desecación por viento, su supervivencia y crecimiento en sitios secos; además es un criterio que influye en la producción de plantas de calidad, su valor tiene que ser menor a seis; de lo contrario la planta presenta un tallo muy delgado y alto (Prieto *et al.*, 1999). De los factores estudiados (envase, fertilización y riego) sólo el riego influye significativamente en su valor; sin embargo, Sáenz *et al.* (2014) mencionan que para mejorar el índice de robustez es necesario producir plantas en contenedores grandes para favorecer

el desarrollo de la raíz. En proyectos de injertación ésta variable no se ha aplicado; sin embargo, será necesario establecer los injertos en campo y ver cuál es su comportamiento respecto al índice.

Al incremento en diámetro basal del injerto sólo lo afecta significativamente ($p \leq 0.05$) la fertilización y al incremento en longitud del injerto, el envase, la fertilización y la interacción doble entre el envase*fertilización. Los incrementos (en diámetro y longitud) de los injertos se aprecian mejor al paso del tiempo debido a que entre mayor sea la edad de los injertos, su hábito y potencial de crecimiento se van hacer notar (González, 2017). El crecimiento del injerto está influenciado por la época en la que se realiza el injerto, la fase en la que se encuentra la púa injertada (quiescencia inicial o quiescencia post-dormancia) (Martínez-Ballesta *et al.*, 2010) y sobre todo la unión sólida del injerto (Jayawickrama *et al.*, 1991).

Al realizar la comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$; Cuadro 1.4) se obtuvieron diferencias entre factores. El crecimiento tanto en diámetro como en longitud del injerto es mayor cuando se utiliza planta patrón en un envase más grande, debido a que el volumen y el diseño del envase son variables que inciden en el tamaño de la planta, principalmente para conformar el sistema radical (Prieto *et al.*, 2007; Sánchez-Aguilar *et al.*, 2016), mismo que suministra al portainjerto de nutrimentos y al existir una unión sólida con la yema injertada, el flujo de agua y nutrimentos requeridos para el crecimiento del injerto no se verá afectado a pesar de que la yema principal fue sustituida por un nuevo genotipo (González, 2017; Barrera-Ramírez, 2020).

Cuadro 1. 4. Comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) para el crecimiento en diámetro, longitud, índice de robustez e incrementos de diámetro basal y longitud de los injertos en *P. patula*.

Factor	Nivel	DBI	LI	IR	IDBI	ILI
Envase	Maceta	6.1709 a	28.191 a	0.27445 a	0.41093 a	10.0047 a
	Tubete	5.535 b	20.483 b	0.32683 a	0.44571 a	7.4762 b
Fertilizante	7 g L ⁻¹ + sol. nutritiva	6.1072 a	26.021 a	0.28577 a	0.52837 a	9.8256 a
	2 g L ⁻¹	5.6002 b	22.705 a	0.31525 a	0.32548 b	7.6595 b
Riego	100% CC	6.0222 a	27.236 a	0.2604 b	0.40378 a	9.2244 a
	40% CC	5.6705 b	21.173 b	0.34526 a	0.4555 a	8.2275 a

Dentro de una columna y un factor las letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) entre los niveles del factor.

1.6 CONCLUSIONES

En las condiciones experimentales del estudio, con la técnica de injertación de fisura terminal, se obtiene un porcentaje de prendimiento promedio de 72.5%.

El porcentaje de prendimiento de los injertos no es afectado por los niveles probados de riego, fertilización y contenedor.

El crecimiento en diámetro y longitud del injerto es influenciado por el riego, la fertilización y las dimensiones del contenedor; a mayor volumen del contenedor, fertilización y riego, mayor desarrollo del injerto; el índice de robustez sólo es influenciado por el factor riego y el incremento diámetro basal por la fertilización. El incremento en longitud del injerto es afectado por el envase y la fertilización, así como por la doble interacción envase*fertilización; estas variables morfológicas se pueden ver como indicadores de vigor de los injertos de *Pinus patula*.

En general, los mejores atributos de los injertos se obtienen con la combinación de maceta, 100% de riego saturado y fertilización completa.

CAPÍTULO 2. INJERTACIÓN DE BROTES DE ÁRBOLES MADUROS DE *Pinus patula* A DIFERENTES ALTURAS DEL PORTAINJERTO

2.1 RESUMEN

El uso de injertos para reproducir y preservar características de interés en el ámbito forestal es una alternativa biológicamente viable, sin embargo, existen factores que limitan la reproducción a gran escala, como la edad del árbol donador de púas y la condición del patrón. El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de tres alturas de injertación sobre el prendimiento y crecimiento de brotes de árboles adultos (21 años de edad) de *Pinus patula*. Los injertos se realizaron en las instalaciones del vivero del Postgrado en Ciencias Forestales en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Los brotes se recolectaron en una plantación comercial localizada en Huayacocotla, Veracruz. La planta patrón fue producida en un sistema de fertirriego hidropónico por inundación total, donde permaneció por 5 meses. Después la planta se trasplantó a bolsas de polietileno de 30 cm * 30 cm y se mantuvo en invernadero hasta los 18 meses de edad. La planta patrón se decapitó y se injertó a tres alturas diferentes: 20, 50 y 80 cm por encima de la base. Se establecieron tres repeticiones por cada tratamiento y cada repetición constó de ocho plantas, con un total de 72 injertos. Las variables evaluadas fueron: prendimiento de los injertos, diámetro basal, longitud del injerto y número de brotes por injerto. Se realizó un análisis de varianza de acuerdo con un diseño experimental completamente al azar y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($\alpha=0.05$). Las alturas de los injertos no influyeron estadísticamente en el prendimiento de los injertos, cuyo valor promedio fue de 38.8%; los tratamientos con mayor prendimiento fueron T3 y T2 (80 y 50 cm de la base). La comparación de medias indicó efectos significativos de los tratamientos T3 y T2 sobre el diámetro basal y longitud de los injertos. Las mayores tasas de prendimiento de injertos, el mayor crecimiento de los mismos y la mayor emisión de brotes laterales se obtiene cuando el injerto de *Pinus patula* se practica a 80 o 50 cm de altura.

Palabras clave: Injerto; Altura del injerto; planta patrón; prendimiento; fertirriego; inundación total.

GRAFTING OF MATURE TREE SHOOTS OF *Pinus patula* AT DIFFERENT HEIGHTS OF THE ROOTSTOCK

2.2 ABSTRACT

The use of grafting to reproduce and preserve characteristics of interest in the forest context is a biologically viable alternative; however, there are factors that limit large-scale reproduction, such as the age of the donor tree and the condition of the rootstock. The objective of this study was to determine the effect of three grafting heights on the establishment and growth of shoots of adult trees (21 years old) of *Pinus patula*. The grafts were made in the nursery facilities of the Postgrado en Ciencias Forestales of Colegio de Postgraduados. The shoots were collected in a commercial plantation located at Huayacocotla, Veracruz. Rootstock plant was produced in a hydroponic fertigation system by total flooding, where it remained for five months. The plant was then transplanted into 30 cm * 30 cm polyethylene bags and kept in a greenhouse until 18 months of age. Rootstock plant was decapitated and grafted at three different heights: 20, 50 and 80 cm above root collar. Three replicates were established for each treatment and each replicate consisted of eight plants, with a total of 72 grafts. The variables evaluated were: grafting success, basal diameter, shoot length and number of shoots produced per graft. An analysis of variance was performed according to a completely randomized experimental design and the means were compared with Tukey's test ($\alpha=0.05$). The heights of the grafts did not have a statistical influence on the PI, whose average value was 38.8%; the treatments with the highest yield were T3 and T2 (80 and 50 cm from root collar).

Key words: Graft; grafting height; rootstock plant; successful graft; fertigation; full flooding.

2.3 INTRODUCCIÓN

La propagación masiva de especies forestales por vía sexual en viveros es una técnica relativamente sencilla en la mayoría de los grupos taxonómicos, pero tiene el inconveniente de producir planta con características genotípicas y fenotípicas muy variables que introducen incertidumbre en el éxito de los programas de plantaciones forestales comerciales (Mendizabal-Hernández *et al.*, 2006; Márquez-Ramírez *et al.*, 2020). Alternativamente, se han desarrollado técnicas de reproducción vegetativa de especies vegetales, las cuales han generado excelentes resultados en especies frutícolas; sin embargo, en especies forestales aún existen múltiples aspectos, para muchas especies, que requieren mayor investigación, para aprovechar las bondades de estas técnicas.

La propagación vegetativa es un conjunto de técnicas que producen plantas con características genéticamente idénticas a las del árbol donante del material vegetal, por lo que pueden utilizarse para reproducir características deseables de estos, además incluye técnicas de enraizado de estacas, cultivo *in vitro* e injertos entre otras (Aparicio-Rentería *et al.*, 2013). El injerto es la técnica más utilizada en árboles frutales, sin embargo, cada vez es más frecuente su uso en cultivos hortícolas y forestales (Bonga, 2016; Castro-Garibay *et al.*, 2017; Barrera-Ramírez, 2020). En el sector forestal, los injertos se utilizan principalmente para establecer huertos semilleros asexuales con genotipos superiores, de los cuales se obtienen plantas de calidad, mismas que son destinadas a las plantaciones forestales comerciales por tener material genético de calidad, mismo que permitirá asegurar el éxito en el establecimiento en campo (Zobel & Talbert, 1988; Yuan *et al.*, 2016; Pérez-Luna *et al.*, 2020).

El injerto se define como un sistema de dos o más componentes genéticos y donde cada componente mantiene su identidad sobre el desarrollo de la planta injertada (Mudge *et al.*, 2009). El desarrollo del injerto se da cuando los tejidos con actividad meristemática y las regiones cambiales se unen fijamente, las células del cambium producen células de parénquima que forma el callo (tejido de cicatrización) (Darikova *et al.*, 2013; González, 2017).

Existen muchos factores que condicionan el éxito, vigor y supervivencia de los injertos, por ejemplo, el tipo de injerto ya sea intraespecífico (portainjerto y púa de la misma especie) o interespecífico (portainjerto y púa de diferente especie) (Opoku *et al.*, 2018), la técnica aplicada

(en especies forestales el enchapado lateral y de fisura terminal son las más utilizadas) (Muñoz *et al.*, 2013; Pérez-Luna *et al.*, 2019), estado y vigor del portainjerto (Darikova *et al.*, 2013), temporada de injertación (Pérez-Luna *et al.*, 2019), procedencia y edad de la planta donante (Muñoz *et al.*, 2013; González, 2017), experiencia del injertador (Pérez-Luna *et al.*, 2020) por mencionar algunos que en los últimos años se han estudiado, no obstante que aún falta generar mayor información al respecto (Gomes *et al.*, 2017).

La técnica de injerto de fisura terminal consiste en decapitar parte del tallo principal de la planta patrón, luego se realiza un corte longitudinal de 3 a 5 cm justo en el centro del tallo de la planta patrón y en ese corte es donde se inserta la púa. Antes de insertar la púa se hacen dos cortes diagonales a ésta en los extremos de la base de la púa, del tamaño del corte central del portainjerto, simulando la púa una forma de cuña o “v”. La púa se une con el portainjerto cuidando que el cambium de ambos coincida. Ya que se acomoda la púa en el portainjerto, la herida se recubre por completo con plástico transparente (de bolsa o parafilm ®) con la finalidad de proteger y evitar problemas fitosanitarios en el área injertada. Finalmente se coloca una bolsa de plástico transparente cubriendo 5 cm por debajo de la herida y hasta el término de la púa durante 30-40 días completamente cerrada (las primeras 2 semanas) con la finalidad de favorecer la humedad relativa y temperatura del injerto. Posteriormente se retira gradualmente la bolsa (haciendo cortes en las esquinas para permitir la entrada de aire y aclimatar poco a poco al injerto) (Muñoz *et al.*, 2011 y 2013; Pérez-Luna *et al.*, 2020).

En general, para realizar injertos, es necesario tener manipulación y dominio de la técnica para unir la púa con el portainjerto; los cortes tienen que ser precisos para dañar lo menos posible las células del material vegetal, además es importante cubrir la unión por completo para evitar la entrada de aire y agua que pudiese influir en el injerto y en conjunto con los otros factores aumentar el prendimiento de los injertos en coníferas (Wang, 2011; Darikova *et al.*, 2013).

Una vez realizado los injertos, se reconocen al menos tres etapas importantes en el desarrollo del injerto: formación de callos, diferenciación cambial y continuidad cambial; la formación de callo se da a partir de que, al unir la púa con el portainjerto, la capa externa cambial produce células parenquimáticas; la diferenciación cambial ocurre cuando algunas de las células del callo se diferencian, se produce nuevo tejido vascular y se presenta continuidad cambial debido a que al

unirse existe xilema interior y floema hacia exterior permitiendo la unión de ambos tejidos del injerto (Hartmann *et al.*, 2011).

Gil-Sánchez *et al.* (1986) mencionan que cuando los otros factores favorecen al éxito del injerto y además se utilizan púas en estado de dormancia o al salir de esta, aumenta la posibilidad de tener éxito en los injertos, pues la actividad de sus células contribuye a la formación de callo y a la conexión vascular al unirse la púa y el portainjerto, sin embargo, si ésta unión no se forma rápido se deseca y, por consecuencia el injerto muere. Castro-Garibay *et al.* (2017) estudiaron la anatomía del portainjerto y púas en cuatro especies de pino (*Pinus patula*, *P. greggii*, *P. leophylla* y *P. teocote*) y encontraron que la forma del cambium vascular de los pinos puede ser circular u ondulada, siendo un factor en la compatibilidad anatómica del injerto entre el vástago y el portainjerto de algunas especies; Chum (2011) determinó el efecto de la injertación a diferentes alturas del portainjerto de macadamia (20, 25, 30, 35, 40 cm por encima de la base) y encontró que hay mayor número de brotes al injertar en portainjertos de 35 cm; Karlidag & Esitken, (2012) realizaron injertos a diferentes alturas del patrón en dos cultivares de manzana y encontraron que el crecimiento en diámetro y altura del injerto es afectado por la altura a la que se realiza el injerto; Karlidag *et al.*, (2016) injertaron en cuatro especies de frutales a diferentes alturas del portainjerto y encontraron que a diferentes alturas de injerto, el diámetro, la altura y el número de brotes por injerto se ven afectados significativamente.

El objetivo del presente trabajo fue determinar el efecto de tres alturas de injertación sobre el prendimiento y crecimiento de brotes de árboles adultos (21 años) de *Pinus patula*. La hipótesis planteada fue que la altura a la que se hacen los injertos de *Pinus patula* afecta el prendimiento y el desarrollo de los injertos.

2.4 MATERIALES Y MÉTODOS

2.4.1 Área de estudio y procedencia de púas

Se identificaron cuatro árboles superiores de *Pinus patula* de una plantación forestal de veintiún años de edad, ubicada en el Ejido de Palo Bendito, municipio de Huayacocotla, Veracruz a los 20° 27' 20.26" N y 98° 29' 00.91" O, a una altitud de 2460 m. El clima es templado subhúmedo, con lluvias en verano y nieblas frecuentes, con una temperatura media anual del mes más frío (enero) entre 3 y 8 °C y del más caliente (mayo) mayor que 16 °C. La precipitación pluvial media anual varía de 633 a 1 385 mm (Vásquez *et al.*, 2015). Los suelos son principalmente lutitas y areniscas con textura franco-arcillosa (Miranda & Hernández-X., 1963).

La selección de los árboles donadores de púas se basó principalmente en el estado fenológico de las yemas, cuidando que los árboles estuvieran libres de plagas y enfermedades aparentes y que mostraran buenas características fenotípicas, tales como la autopoda, rectitud de fuste y tasas de crecimiento adecuadas. Los brotes se recolectaron el 12 de marzo del año 2021, cuando las yemas (púas) terminaban su etapa de dormancia y comenzaba el crecimiento del brote de acuerdo con su ciclo anual de crecimiento; el tamaño medio en esa fecha fue superior a 10 cm de longitud.

Las púas fueron seleccionadas de la zona externa de la copa, donde se presenta el crecimiento vegetativo más reciente; para ello fue necesario escalar el árbol y además con ayuda de tijeras de podar expandibles se recolectaron los brotes. Las púas se agruparon por árbol donador y se guardaron en bolsas previamente rotuladas con el número de árbol correspondiente; se almacenaron en una hielera con latas de agua congelada y con un trapo húmedo se cubrieron para mantenerlas a una temperatura baja y evitar estrés y pérdida de turgencia; las púas fueron injertadas 24 horas después de ser cortadas.

2.4.2 Origen y preparación del portainjerto

Se produjo planta patrón de *Pinus patula* con semillars de los mismos árboles seleccionados. La siembra se realizó en el mes de septiembre de 2019 en charolas de poliestireno de 77 cavidades de 170 cc³, cubiertas con hidróxido de cobre para propiciar la poda de las raíces laterales de las plantas; el sustrato utilizado fue una mezcla homogénea de turba de musgo (peat moss) y agrolita

en proporción 6:4. El régimen de riego fue por subirrigación bajo el principio de inundación total, donde un grupo de plantas recibió un riego y otro grupo de plantas recibió dos riegos por día.

El sistema constó de un tinaco de 1100 L para almacenar la solución nutritiva y abastecer los riegos correspondientes; en el interior del tinaco se colocaron dos bombas de pecera para suministrar al sistema que estaba conectado a cuatro mesas de madera a una altura de 1.30 m por encima del suelo. Se utilizaron tubos de PVC de media pulgada que permitían el flujo de la solución para suministrarla a cada mesa. Una vez que el agua alcanzaba el nivel previamente decidido (que permitía inundar por completo las charolas), ésta regresaba de manera automática (por efecto sifón) al tinaco de almacenamiento. Las mesas que se utilizaron fueron de madera y se cubrieron con membrana plástica (de nylon) color de negro para evitar pérdidas de nutrientes y agua (Figura 2.1).

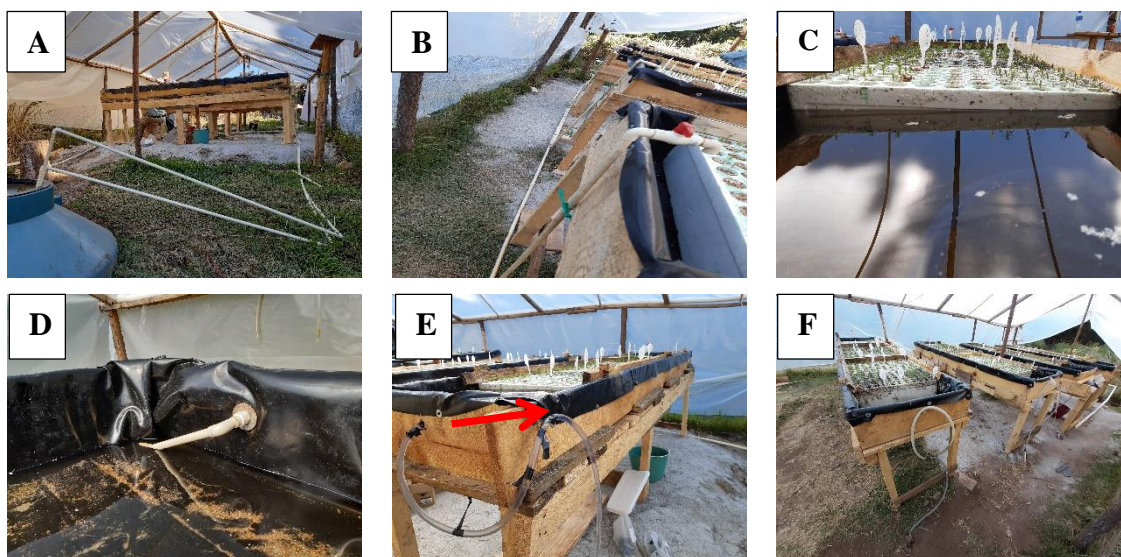


Figura 2. 1. Sistema de fertirriego para la producción de planta patrón de *Pinus patula*. A) almacenamiento y suministro de solución nutritiva para los riegos; B) control del flujo de agua para el llenado de las camas (cajas) de crecimiento; C) inundación completa de las charolas con planta; D) vaciado de solución de las camas (cajas) de crecimiento; E) nivel máximo permitido de inundación y F) retorno de la solución al tinaco de almacenamiento.

Los riegos se programaron diariamente utilizando temporizadores y a un grupo de plantas les correspondió un riego y al otro grupo dos riegos diarios. La solución nutritiva utilizada fue la propuesta por Landis, (1989) que consta de tres etapas; la primera etapa es la de crecimiento inicial, posteriormente crecimiento pleno y finalmente la de endurecimiento (Cuadro 2.1).

Cuadro 2. 1. Solución nutritiva sugerida por Landis, (1989).

Nutrimento mineral	Concentración de nutrimentos (ppm)		
	Crecimiento inicial	Crecimiento pleno	Endurecimiento
Macronutrimentos			
N	50	150	50
P	100	60	60
K	100	150	150
Ca	80	80	80
Mg	40	40	40
S	60	60	60
Micronutrimentos			
Fe	4	4	4
Mn	0.8	0.8	0.8
Zn	0.32	0.32	0.32
Cu	0.15	0.15	0.15
B	0.5	0.5	0.5
Cl	4	4	4

La planta se mantuvo bajo este régimen de fertirriego durante cinco meses (de diciembre del 2019 a abril del 2020), posteriormente se trasladaron a bolsa de poliestireno color negro de 5.2 L y el sustrato utilizado fue turba de musgo (peat moss), agrolita y vermiculita en proporción 6:3:1, respectivamente. Al momento del llenado de las bolsas se adicionó al sustrato 8 g L⁻¹ de fertilizante de liberación lenta multicote ® 18-06-12 con actividad de 8 meses. A partir del trasplante, se implementaron riegos con regadera cada tercer día y cada 20 días se preparó una solución a partir de fertilizante Peters Profesional ® 20-20-20 (NPK) (Figura 2.1).



Figura 2. 2. Trasplante a bolsa, de planta patrón de *Pinus patula* producida en un sistema de inundación total

2.4.3 Área experimental de injertación

Los injertos se realizaron el 13 de marzo de 2021 en las instalaciones del Vivero Forestal del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Texcoco, Estado de México, localizado a 19° 27' 38.25" latitud norte y 98° 54' 23.91" longitud oeste y una altitud de 2,240 m (Vasquez-García *et al.*, 2019). Para disminuir la cantidad de luz y temperatura en el interior del invernadero se instaló una malla con 50% de sombra.

2.4.4 Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Se utilizó planta patrón de una sola edad, pero la injertación fue a distintas alturas (tratamiento): 20 (T1), 50 (T2) Y 80 (T3) cm por arriba de la base. Se establecieron tres repeticiones por tratamiento y ocho plantas por repetición, dando como resultado 72 plantas injertadas. El modelo utilizado en el experimento fue:

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

Y_{ij} =valor de la variable respuesta del tratamiento i en la repetición j

μ =media general.

τ_i =efecto del tratamiento i

ε_{ij} =error experimental correspondiente a la unidad experimental ij .

2.4.5 Procedimiento de injertación

Las púas se lavaron en tres tiempos: a) inmersión en agua con solución de jabón líquido comercial y cloro (hipoclorito de sodio) diluido al 1% y se agitaron manualmente durante 5 minutos para eliminar impurezas que pudieran contener; b) enjuague con agua corriente y se volvieron a sumergir en una segunda solución preparada con captan ® 1.5 g L⁻¹ durante 15 minutos para prevenir y evitar problemas fitosanitarios posteriores; c) enjuague con agua corriente y se depositaron en la hielera (con hielos) para seguir manteniendo frescos y turgentes los brotes en lo que se realizaba la injertación púa por púa.

La injertación se realizó durante la segunda semana del mes de marzo de 2021. Se realizaron 72 injertos en total, y la técnica de injertado fue la de fisura terminal descrita por Muñoz *et al.* (2011 y 2013). Las personas que participaron en la actividad fueron tres, una persona realizó los cortes (de la púa y del patrón), otra cubrió la inserción con plástico (de una bolsa transparente) y la última colocó bolsas de plástico transparente para cubrir el injerto y proporcionar condiciones adecuadas de temperatura y humedad relativa.

La técnica de injerto terminal consistió primero en hacer un corte transversal para decapitar el tallo y mantener el portainjerto a 20, 50 y 80 cm por arriba de la base dependiendo del tratamiento que correspondió a cada planta. Posteriormente se hizo un corte longitudinal de 3 a 5 cm justo en el centro del tallo del patrón, para que en esta hendidura se insertara la púa, a la que previamente se le realizaron dos cortes diagonales en lados opuestos de su base (del tamaño de la hendidura del patrón), dejando la púa en forma “v”. La púa se insertó en la hendidura de la planta patrón, cuidando que los cambiums de ambos coincidiesen. Una vez realizada la unión, ésta se fijó con plástico transparente de bolsa en toda la herida, para evitar problemas fitosanitarios en el área del injerto. Finalmente se colocó una bolsa de plástico transparente que le ayudó a crear una atmósfera de humedad y temperatura óptima para el prendimiento, durante 20 a 40 días. La bolsa se retiró gradualmente (mediante cortes con tijeras) para permitir que el injerto se considerara “prendido” y adaptado a las condiciones del invernadero. Una vez terminado el proceso de injertación, las plantas injertadas se acomodaron en un espacio dentro del invernadero de manera completamente aleatoria y se implementaron las actividades complementarias.

2.4.6 Actividades complementarias

Se aplicó riego dos veces por semana y una fertilización soluble Peters Profesional ® 20-20-20 cada 15 días; además, en el primer mes después de la injertación, se aplicó 1.5 g L⁻¹ de Captan ® para prevenir algún ataque de hongos u otros patógenos que pudieran interferir en el prendimiento y desarrollo del injerto.

Además, se realizaron deshierbes y podas recurrentes para asegurar que todos los nutrientes disponibles se concentraran en la planta injertada y favorecer su crecimiento.

2.4.7 Variables evaluadas

El prendimiento del injerto, se evaluó 45 días después de haber realizado los injertos, haciendo referencia sólo a los injertos vivos como sinónimo de prendimiento; además se evaluaron variables como diámetro basal del injerto y longitud del injerto a los 45, 200 y 249 días después del injertado, marcando en la base un punto de referencia para que en ambos tiempos de medición se realizara en el mismo lugar. También se registró el número de brotes emitidos por injerto.

Con un vernier calibrador digital marca Mitutoyo, modelo CD67-S6”PM se midió el diámetro basal del injerto y con una regla de 30 cm se midió la longitud del injerto; con el vernier se obtuvo el diámetro basal del injerto marcando la base del injerto con un plumón permanente, que sería el punto de medición para las mediciones posteriores; el número de brotes emitidos por injerto se obtuvo contando todos los brotes en elongación (sin tomar en cuenta las yemas).

2.4.8 Análisis de datos

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para determinar el efecto de la altura del patrón sobre prendimiento, diámetro basal, longitud, y número de brotes emitidos del injerto utilizando los datos obtenidos de la evaluación a los 200 días. Además, se realizó una comparación de medias por Tukey, con una confiabilidad de $\alpha=0.05$. El procesamiento estadístico se realizó utilizando la versión 9.0 del Statistical Analysis System (SAS, 2002).

Antes de realizar el análisis de varianza se realizaron las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianza donde se muestra que los datos de las variables estudiadas se distribuyen de manera normal y de manera homogénea.

2.5 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.5.1 Prendimiento de injertos

Las pruebas de normalidad y homogeneidad de varianzas. Las pruebas indican que las variables estudiadas presentan normalidad y homogeneidad de varianzas, dado que no permiten rechazar las hipótesis nulas de existencia de normalidad y homogeneidad de varianzas (Cuadro 2.2).

Cuadro 2. 2. Prueba de supuestos estadísticos para validar el ANOVA.

Pruebas para normalidad					
	P valor				
	Prendimiento	Diámetro basal del injerto	Longitud del injerto	Número de brotes emitidos por injerto	
Shapiro-Wilk	0.1326	0.1323	0.1996	0.785	
Kolmogorov-Smirnov	>0.1500	>0.1500	>0.1500	>0.1500	
Pruebas para homogeneidad					
	Prendimiento	Diámetro basal del injerto	Longitud del injerto	Número de brotes emitidos por injerto	
Levene	0.3510	0.1313	0.3599	0.6797	Pr > F
Brown	0.6937	0.4617	0.7881	0.8448	Pr > F
Bartlett	0.6329	0.1022	0.605	0.8395	Pr > ChiSq

A los 45 días de haber realizado los injertos, el porcentaje de prendimiento (PI) fue de 37.8%; donde el T2 y T3 (50 y 80 cm de altura de la planta patrón, respectivamente) tuvieron mayor prendimiento (54.1%) (Figura 2.3). Un estudio similar de injertación en *Macadamia integrifolia* se realizó a 20, 25, 30, 35 y 40 cm de altura del portainjerto y se obtuvo un prendimiento de más de 90% utilizando patrones con una altura de 35 cm y menos del 50% de prendimiento en injertos de 20 cm de altura del patrón (Chum, 2011). González (2017) obtuvo 53.8% de prendimiento en injertos laterales de *P. leiophylla* que se injertaron entre 5-10 cm por encima de la base.

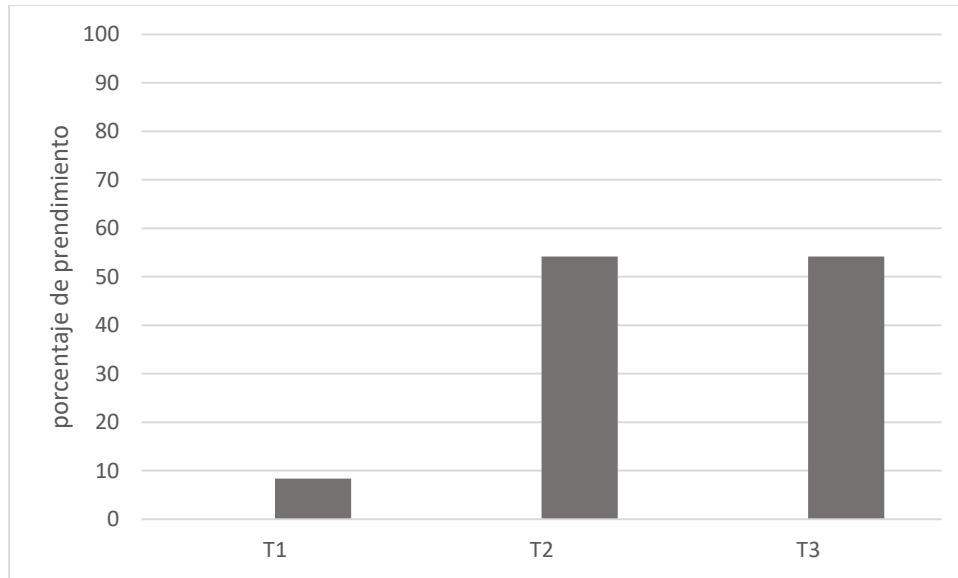


Figura 2.3. Porcentaje de prendimiento de injertos de *Pinus patula* por tratamiento. T1 corresponde a 20 cm de altura del portainjerto; T2 corresponde a 50 cm de altura del portainjerto y T3 corresponde a 80 cm de altura del portainjerto.

A pesar de que la Figura 6 muestra que el tratamiento uno (T1; injertación a 20 cm de altura) produjo un prendimiento muy bajo comparado con el correspondiente a los otros dos tratamientos, estadísticamente, ningún tratamiento afectó significativamente el éxito del prendimiento de los injertos, lo cual, lleva a considerar que hay otros factores (internos y externos) que intervienen en el éxito/fracaso de los injertos en coníferas. Yin *et al.* (2012) mencionan que en el éxito de los injertos involucra aspectos morfológicos, anatómicos, fisiológicos y bioquímicos. Un factor que posiblemente frenó el éxito fue la compatibilidad entre la púa y el portainjerto ya que la planta patrón tuvo un diámetro mayor que la púa, lo que provocó una unión discontinua en el floema (Darikova *et al.*, 2013; Goldschmidt, 2014; Castro-Garibay *et al.*, 2017). Normalmente al realizar injertos se busca que la unión entre la púa y portainjerto sea precisa para tratar de aumentar el prendimiento del injerto o al menos reducir el riesgo por este factor.

La edad es otro factor que condiciona el éxito de los injertos, para este estudio se utilizaron púas de árboles de 21 años de edad, lo cual tiene la posibilidad de tener buenos resultados de prendimientos en los injertos pues Goldschmidt, (2014) y Bonga, (2016) mencionan que injertos realizados con púas de árboles menores de 50 años tienden a aumentar el éxito del injerto.

El estado y preparación de la planta patrón es otro factor que interfiere en el prendimiento (Pérez-Luna *et al.*, 2020), para este estudio se produjo planta en vivero y se mantuvo por 18 meses. A esta edad la altura media de la planta fue 1.30 m y un diámetro mucho mayor que las púas que se consiguieron para injertarlas, al decapitar el ápice de la planta patrón para lograr las alturas que los tratamientos requerían; para el caso del T1, que necesitaba patrones de 20 cm de altura, se le cortó más de 1 m de altura, lo que provocó un estrés muy agudo para las plantas que recibieron este tratamiento; a esto se le pudiera atribuir el poco éxito de prendimiento para el tratamiento T1, pues sólo produjo 8.3% de prendimiento.

Otro factor importante a considerar es la temporada de injertación pues autores como Gaspar *et al.* (2017) y Świerczyński *et al.* (2018) mencionan que la mejor época para realizar injertos en coníferas es en temporada invernal, cuando las púas se encuentran latentes, pues en esta temporada se ha reportado mayor éxito de prendimiento de injertos. Por ejemplo, Barrera-Ramírez, (2020) injertó en tres épocas del año y obtuvo un mayor éxito en la temporada 2 (febrero), con 41% de éxito en injertos de fisura terminal con *P. pseudostrobus* var. Oaxacana. Hibbert-Frey *et al.* (2010) realizaron injertos en *Abies fraseri* en tres temporadas: primavera, verano y a principios de otoño y obtuvieron que la fecha del injerto fue significativa para el éxito del injerto, y menciona que el éxito fue bajo (30% a 52%) en verano. Para el presente estudio los injertos se realizaron la segunda semana de marzo donde las púas ya habían roto su fase de dormancia y comenzaban a activar su crecimiento vegetativo. No obstante, el factor “temporada de injertación” difícilmente puede explicar la baja tasa de prendimiento del T1.

La habilidad del injertador también influye en el éxito de los injertos (Pérez-Luna *et al.*, 2020) para este estudio el injertador contaba con poca experiencia y en conjunto con los factores antes mencionados, el éxito en el prendimiento de los injertos fue limitado, sin embargo, el porcentaje es similar al reportado por la mayoría de estudios publicados.

2.5.2 Variables morfológicas evaluadas

Para las variables diámetro basal del injerto y longitud del injerto se obtuvieron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos aplicados (Cuadro 2.3), es decir, las diferentes alturas de injertación afectan el crecimiento en diámetro y longitud de los injertos; por su parte el número

de brotes y el prendimiento no se vieron afectados significativamente por las diferentes alturas de los injertos.

Cuadro 2.3. ANOVA para las variables morfológicas evaluadas y prendimiento, en injertos de *P. patula*.

Fuente de variación	GL	Diámetro Basal del injerto	Longitud del injerto	Número de brotes emitidos por injerto	Prendimiento
		Pr > F	Pr > F	Pr > F	Pr > F
Trat	1	0.0151	0.0112	0.0736	0.6479

Karlidag & Esitken, (2012) obtuvieron que las diferentes alturas de injertación afectaron significativamente la altura y diámetro del árbol, también encontraron que el número de brotes laterales aumentó significativamente al aumentar la altura de injerto pues a la mayor altura (60 cm) se obtuvieron mayor número de brotes para los dos cultivares de manzana. Karlidag *et al.* (2016) reafirman estos resultados al estudiar cuatro especies de frutales y por cada especie estudiaron diferentes cultivares sometiendo a injertación cuatro distintas alturas, 15, 30, 45 y 60 cm por encima de la base y obtuvieron que a diferentes alturas de injerto se produjeron diferencias significativas en el diámetro, la altura y el número de brotes por injerto.

En injertos de *Macadamia integrifolia* realizados por Chum, (2011) se logró el mayor número de brotes en plantas injertadas a 35 cm por encima de la base.

Al realizar la comparación de medias de Tukey, sólo se encontraron diferencias para el diámetro basal y longitud de los injertos; mostrando que, a mayor altura del injerto mayor será su crecimiento en diámetro y altura para *P. patula*; en el número de brotes y el prendimiento no hubo diferencias entre tratamientos (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Comparación de medias de Tukey ($\alpha=0.05$) para el crecimiento en diámetro, longitud, número de brotes y prendimiento de los injertos a diferentes alturas del portainjerto en *P. patula*.

Factor	Nivel	Diámetro basal del injerto	Longitud del injerto	Número de brotes emitidos por injerto	Prendimiento
Tratamiento	T3 (80 cm)	12.56 a	60.176 a	5.8889 a	54.17 a
	T2 (50 cm)	10.2183 b	43.553 b	4.0278 a	54.17 a
	T1 (20 cm)	.	.	.	8.33 a

2.6 CONCLUSIONES

El prendimiento de los injertos de *Pinus patula* se ve afectada por la altura en la que se realizan los injertos, además este es menor cuando la decapitación del brote principal es excesiva, también las tasas de crecimiento de diámetro y altura del injerto en los primeros 200 días son menores.

Las mayores tasas de prendimiento de injertos, el mayor crecimiento de los mismos y la mayor emisión de brotes laterales se obtiene cuando el injerto de *Pinus patula* se practica a 80 o 50 cm de altura.

CONCLUSIONES GENERALES

En general, se obtuvieron buenos resultados al propagar por injertos utilizando la técnica de fisura terminal de *Pinus patula*.

El riego, la fertilización y el tamaño de envase afectan al crecimiento en diámetro y longitud a los injertos de *P. patula*. Dichas variables morfológicas se pueden ver como indicadores de vigor de los injertos.

Los mejores atributos de los injertos se obtienen utilizando la combinación de maceta, 100% de riego saturado y fertilización completa.

Entre menor sea el grado de decapitación del ápice para realizar el procedimiento de injertación, mayor es su prendimiento.

Es posible realizar injertos en *P. patula* a una altura de 80 cm de la planta patrón y tener prendimientos arriba del 50% de éxito.

El crecimiento en diámetro y longitud del injerto se ve favorecido por una mayor altura del punto de injertación.

LITERATURA CITADA

- Aparicio-Rentería, A., S.F. Juárez-Cerrillo., & L.R. Sánchez-Velásquez. 2013. Propagación por enraizamiento de estacas y conservación de árboles plus extintos de *Pinus patula* procedentes del norte de Veracruz, México. *Madera y bosques* 20(1): 85–96.
- Aparicio-Rentería, A., H. Viveros-Viveros., & V. Rebolledo-Camacho. 2018. Huertos semilleros clonales: una alternativa para los programas de reforestación en Veracruz. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*. 4(20): 90–97. doi: 10.29298/rmcf.v4i20.373.
- Barnett, J.R., & H. Miller. 1994. The effect of applied heat on graft union formation in dormant *Picea sitchensis* (bong.) carr. *Journal of Experimental Botany*. 45(1): 135–143. doi: 10.1093/jxb/45.1.135.
- Barrera-Ramírez, R., J.J. Vargas-Hernández., R. Lopez-Aguillon., H.J. Muñoz, F., E.J. Treviño-Garza, & O.A. Aguirre-Calderón. 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. doi: 10.5154/r.rchscfa.2020.05.037
- 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. Linares, Nuevo León. México. 113 p.
- Bonga, J. M. 2016. Conifer clonal propagation in tree improvement programs. In Park, Y., Bonga, J., & Moon, H., *Vegetative propagation of forest trees*. Seoul, Korea: National Institute of Forest Science. 3-31.
- CAMCORE (Programa Internacional para el Mejoramiento Genético y Conservación de Especies Forestales). 2008. Boletín de noticias CAMCORE para México y Centroamérica. Universidad Estatal de Carolina del Norte. Raleigh, Carolina del Norte, EUA. 2(1):6
- Cañelas, I., L. Finat., A. Bachiller., & G. Montero. 1999. Comportamiento de planta de “*Pinus pinea*” en vivero y campo: ensayos de técnicas de cultivo de planta, fertilización y aplicación de herbicidas. *Revista Investigación Agraria*, 8(2), 335-359.
- Castro-Garibay, S.L., A. Aldrete., J. López-Upton., & V.M. Ordáz-Chaparro. 2016. Efecto del envase, sustrato y fertilización en el crecimiento de *Pinus greggii* Var. *australis* en vivero. *Agrociencia* 52(1): 115–127.
- Castro-Garibay, S.L., Á. Villegas-Monter., & J. Lopez Upton. 2017. Anatomy of rootstocks and scions in four pine species. *Forest Research*, 6:1-6. doi: 10.4172/2168-9776.1000211.
- Celestino, C., I. Hernández, E. Carneros., D. Lopez-Vela., & M. Toribio. 2005. Somatic embryogenesis as a main tool in forest biotechnology. *Investig. Agrar: Sist Recur For*. 14(3): 345. doi: 10.5424/srf/2005143-00925.
- Chum , G. B. G. 2011. Efecto de la injertación a diferente altura del portainjerto sobre el prendimiento y brotación en macadamia (*Macadamia integrifolia*), en finca santa Emilia, Pochuta, Chimaltenango. Tesis de licenciatura. Universidad Rafael Landívar. Guatemala de

la Asunción, Guatemala. 46 p.

- Comisión Forestal Forestal (CONAFOR). 2017. Propuesta de mejora genética en apoyo a los programas de plantaciones forestales comerciales en el sureste de México. AMEPLANFOR-CONAFOR. México. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/246715/Estrategia_de_mejora_genetica_de_especies_para_PFC_en_el_sureste.pdf
- CONABIO. 2019. Alimentar a México sin deforestar. Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. Ciudad de México. Disponible en http://www.sadsma.cdmx.gob.mx:9000/datos/storage/app/media/docpub/conabio/conabio_alimentacion.pdf
- Cuevas, C. J. C. 2014. Propagación vegetativa de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltld. et Cham. Teis de maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, Edo. de México, México. 72 p.
- Darikova, Y.A., E.A. Vaganov., G.V. Kuznetsova., & A.M. Grachev. 2013. Changes in the anatomical structure of tree rings of the rootstock and scion in the heterografts of Siberian pine. *Trees*. 27(6): 1621–1631. doi: 10.1007/s00468-013-0909-6.
- Dvorak, W.S. 2002. *Pinus patula* Schiede & Schltld. & Cham. In: Vozzo, J. (ed.). *Tropical Tree Seed Manual*. Agricultural Handbook 721. USDA, Forest Service. pp: 632-635.
- Farjon, A & T.B. Styles. 1997. *Pinus* (pinacea). *Flora Neotropica*, Monograph 75. Organization for Flora Neotropica. The New York Botanical Garden, New York, USA. 291 p.
- Farjon, A. 2005. *Pines: Drawings and descriptions of the genus Pinus* (2da. ed.). Boston, Estados Unidos: Brill
- Farjon, A. (2008). *A natural history of conifers*. Timber Press, London, UK. 304p.
- Gaspar, B. R.G., I. Wendling., C.A. Stuepp., & A.C. Angelo. 2017. Rootstock age and growth habit influence top grafting in *Araucaria angustifolia*. *Cerne*. 23(4): 465-471. doi: 10.1590/01047760201723042447
- Gernandt, D.S., & J.A. Pérez-De La Rosa. 2014. Biodiversidad de Pinophyta (coníferas) en México. *Revista Mexicana de Biodiversidad*. 85(SUPPL.): 126–133. doi: 10.7550/rmb.32195.
- Gil-Sánchez, L., V. Pérez-Borrego., & J. Palomar-Palomar. 1986. El injerto en los pinos. *Hojas Divulgadoras* Num. 20; Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación: Madrid, España.
- Goldschmidt, E.E. 2014. Plant grafting: New mechanisms, evolutionary implications. *Frontiers Plant Science*. 5(DEC): 1–9. doi: 10.3389/fpls.2014.00727.
- Gomes, R., B. Gaspar., I. Wendling., C.A. Stuepp., & C. Angelo. 2017. Rootstock age and growth habit influence top grafting in *Araucaria angustifolia*. *CERNE*: 465–471. doi: 10.1590/01047760201723042447.
- González, J. B. 2017. Clonación de árboles maduros de *Pinus leiophylla* Schiede ex Schltld. et

- Cham. de un huerto sexual. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, Edo. de México, México. 68 p.
- Hans, N. 1965. Grafting northern conifers with special reference to white spruce. Proc. Reg. Nine State Nurserymen's Conf. Duluth, MN, USA: 24–26.
- Hartmann, H.T. & Kester D. 1980. Propagación de plantas. Principios y prácticas. México. Compañía Editorial Continental. México, DF. 814p.
- Hartmann, H.T. & Kester D. 1988. Propagación de plantas. Principios y prácticas. CECSA, Continental. 2a ed. México, DF. 760p.
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies, F.T., Jr., Geneve, R. L. 2011. Hartmann and Kester's Plant Propagation: Principles and Practices, 8th Ed. Pearson Education, Inc. Hoboken, NJ, USA. 928 p.
- Hibbert-Frey, H., J. Frampton., F.A. Blazich., D. Hundley., & L.E. Hinesley. 2011. Grafting fraser fir (*Abies fraseri*): Effect of scion origin (crown position and branch order). HortScience. 46(1): 91–94. doi: 10.21273/hortsci.46.1.91.
- Jayawickrama, K. J.S., J.B. Jett., & S.E. McKeand. 1991. Rootstock effects in grafted conifers: A review. New Forest. 5(2): 157–173. doi: 10.1007/BF00029306.
- Karlidag, H & A. Esitken. 2012. Effects of grafting height of MM106 rootstock on growth, lateral shoot formation and yield in apple trees, The Journal of Horticultural Science and Biotechnology, 87:5, 409-412, DOI: 10.1080/14620316.2012.11512886
- Karlidag H, G. Eren., Fe. Karaat., & T. Kan. 2016. Grafting height effects on lateral branching shoot angles and growth of some fruit species saplings. International Journal of Agriculture Innovations and Research, 5: 1-5.
- Kita, K., H. Kon., W. Ishizuka., E. Agathokleous., & M. Kuromaru. 2018. Survival rate and shoot growth of grafted Dahurian larch (*Larix gmelinii* var. *japonica*): a comparison between Japanese larch (*L. kaempferi*) and F1 hybrid larch (*L. gmelinii* var. *japonica* × *L. kaempferi*) rootstocks. Silvae Genetic. 67(1): 111–116. doi: 10.2478/sg-2018-0016.
- Landis, T. D., R.W. Tinus., S.E. Mc Donald., & J.P. Barnett. 1989. The container tree nursery manual. Seedling nutrition and irrigation. Vol. 4. Agric. Handbook. 674. USDA, Forest service. Washington, DC. 119 p.
- Landis, T. D., R.W. Tinus., S.E. Mc Donald., & J.P. Barnett. 1990. The container tree nursery manual. Seedling nutrition and irrigation. Vol. 2. Agric. Handbook. 674. USDA, Forest service. Washington, DC. 88 p.
- Larson, R.A. 2006. Grafting: A review of basics as well as special problems associated with conifer grafting. Combined Proceedings International Plant Propagators. Soc.56: 318–322.
- Ledig, F. T. 2004. Conservación y manejo de recursos genéticos forestales. In: Vargas, J. J. J., Bermejo, V. B., & Ledig, T. F.(Eds.), Manejo de recursos genéticos forestales (2ª ed.). Estado de México, México: COLPOS Y CONAFOR. 3-18pp.

- Lott, L.H., M. Stine., T.L. Kubisiak., & C.D. Nelson. 2003. Top grafting longleaf × slash pine F1 hybrids on mature longleaf and slash pine interstocks. In: Tree Improvement and Genetics 27th Southern Forest Tree Improvement Conference, Oklahoma. 96–101.
- MacDonald, B. 1986. Practical woody plant propagation for nursery growers. London. Ed. Batsford. 669 p.
- Márquez-Ramírez, J., H. Cruz-Jiménez., J. Alba-Landa., L.D.C. Mendizabal-Hernández., E.O. Ramírez-García., & P. Pérez, S. 2020. Variación de semillas de *Pinus patula* Schl. et Cham sw una prueba de progenies en Potrero de García, Veracruz. *Foresta Veracruzana*. 22(2): 25-34.
- Martínez-Ballesta, M.C., C. Alcaraz-López, B. Muries, C. Mota-Cadenas, & M. Carvajal. 2010. Physiological aspects of rootstock-scion interactions. *Scientia Horticulturae*. (Amsterdam). 127(2): 112–118. doi: 10.1016/j.scienta.2010.08.002.
- Mendizibal-Hernández, L.D.C., J. Alba-Landa., & M.I. Cabrera, C. 2006. Variación de semillas de *Pinus patula* Schl. et Cham. con respecto a su posición en el fruto. *Foresta Veracruzana*. 8(1): 13-16.
- Miranda, F., & E. Hernández-X. 1963. Los tipos de vegetación de México y su clasificación. *Boletín de la Sociedad Botánica de México*. (28): 29–179. doi: 10.17129/botsci.1084.
- Moore, R. 1984. A model for graft compatibility-incompatibility in higher plants. *American Journal of Botany* 71(5):752–758 doi: 10.1002/j.1537-2197.1984.tb14182.x.
- Mudge, K., J. Janick., S. Scofield., & E.E. Goldschmidt. 2009. A history of grafting. *Horticultural Reviews*, 35: 437-493.
- Muñoz, F. H.J., G. Orozco, G., V.M. Coria, A., R. Toledo, B., & H. Aguilar, G. 2011. Validación de dos métodos de injerto de *Pinus pseudostrobus* Lindl., en Michoacán. Folleto técnico Núm. 24. INIFAP. C.E. Uruapan, Michoacán, México. 43 p.
- Muñoz, F. H.J., J.Á. Prieto-Ruiz., A. Flores, G., T. Pineda, O., & E. Morales, G. 2013. Técnicas de injertado "enchapado lateral" y "fisura terminal" en *Pinus pseudostrobus* Lindl. Folleto técnico Núm. 68. C. E. Valle del Guadiana Centro de Investigación Regional Norte Centro. Durango, Dgo.48 p.
- Nyoka, B.I. 2002. *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. En CAB International (Comp.), Pines of silvicultural importance. London, UK: CABI Publishing. p. 303-316 .
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). 2020. Global Forest Resources Assessment 2020 – Key findings. Rome. 16 p. DOI: 10.4060/ca8753en
- Opoku, E.M., E. Opuni-frimpong., & D. Dompok. 2018. Developing sustainable regeneration techniques for four African mahogany species : grafting methods for success and growth. *New Forest*. (0123456789). doi: 10.1007/s11056-018-9677-x.
- Perry, J.P. 1991. The pines of Mexico and Central American. Timber Press, Portland, OR. USA. 231 p.

- Pérez-Luna, A., J.Á. Prieto-Ruíz., J. López-Upton., A. Carrillo-Parra., & C. Wehenkel. 2019. Some factors involved in the success of side veneer grafting of *Pinus engelmannii* Carr. *Forests* 10(2). doi: 10.3390/f10020112.
- Pérez-Luna, A., C. Wehenkel., J.Á. Prieto-Ruíz., J. López-Upton., & S. Solís-González. 2020. Grafting in conifers: A review. *Pakistan J. Bot.* 52(4): 1369–1378. doi: 10.30848/PJB2020-4(10).
- Pérez-Luna, A., J.C. Hernández-Díaz., C. Wehenkel., S.L. Simental-Rodríguez., J. Hernández-Velasco., & J.Á. Prieto-Ruiz. 2021. Supervivencia del injerto de *Pinus engelmannii* Carr. en relación a dos técnicas de injerto con cogollos latentes y brotantes. *PeerJ.* 9:e12182 doi: 10.7717/peerj.12182
- Pina, A., & P. Errea. 2005. A review of new advances in mechanism of graft compatibility–incompatibility. *Scientia Horticulturae* 106(1):1–11 doi: 10.1016/j.scienta.2005.04.003.
- Prieto, R. J.Á., Soto, G. M., and Hernández-Díaz, J.C. 2007. Efecto del tamaño de envase en el crecimiento de *Pinus engelmannii* Carr. en vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales.* 32(102): 23–38.
- Ramírez-Galicia, K. 2021. Prototipo para la producción de especies forestales en vivero mediante un sistema hidropónico por subirrigación. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, Edo. de México, México. 76p.
- Ranjith, K., & R.V. J. Ilango 2017. Impact of grafting methods, scion materials and number of scions on graft success, vigour and flowering of top worked plants in tea (*Camellia* spp.). *Scientia Horticulturae.* (Amsterdam). 220: 139–146. doi: 10.1016/j.scienta.2017.03.039.
- Rivera-Rodríguez, M.O., J.J. Vargas-Hernández, J. López-Upton, Á. Villegas-Monter, & M. Jiménez-Casas. 2016. Enraizamiento de estacas de *Pinus patula*. *Revista Fitotecnia Mexicana.* 39(4): 385–392.
- Rodríguez-Villa, J. 2013. Establecimiento y evaluación de huerto semillero clonal de *Pinus arizonica* Englem en el Ejido El Largo y Anexos, Madera, Chihuahua. Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Saltillo, Coahuila, México. 51p.
- Rzedowski, J. 1991. Diversidad y orígenes de la flora fanerogámica de México. *Acta Botánica Mex.* 14: 3–21.
- Sáenz, R. J.T., H.J. Muñoz, F., C. M.Á. Pérez, D., A. Rueda, S., & J. Hernández-Ramos. 2014. Calidad de planta de tres especies de pino en el vivero "Morelia", estado de Michoacán. *Revista mexicana de ciencias forestales,* 5(26), 98-111.
- Salaya-Domínguez. J.M. 2012. Variación genética y ambiental en un ensayo de progenies de *Pinus patula*. Tesis Doctoral. Colegio de Postgraduados. Texcoco, Edo. de México, México. 105 p.
- Salvo del P, J., Guzmán, L. A., and Núñez, F. M.. 2013. Guía de campo Injertación del palto. *Persea americana* Mill. Boletín INIA N°273, Instituto de investigaciones agropecuarias, INIA La Cruz, Chile. 84p.

- Sánchez-Aguilar, H., A. Aldrete., J.J. Vargas-Hernández., & V. Ordaz-Chaparro. 2016. Influencia del tipo y color de envase en el desarrollo de plantas de pino en vivero. *Agrociencia*. 50(4): 481–492.
- Statistical Analysis System (SAS). 2002. SAS 9.0. SAS Institute. Cary, NC, USA.
- SEMARNAT. 2016. Informe de la Situación del Medio Ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Indicadores clave de Desempeño Ambiental y de Crecimiento Verde. Edición 2015. Semarnat, México. 1689-1699.
- Sierra, J., C. Leonor., S. Ramírez., B. Solís., e Í. Dávalos. 2014. México país megadiverso y la relevancia de las áreas naturales protegidas. *Investigación y Ciencia*. 22(60): 16-22.
- Solorio-Barragán, E. R., P. Delgado-Valerio., A. Molina-Sánchez., V. Rebolledo-Camacho., & M.Á. Tafolla-Martínez. 2021. Interspecific grafting as an alternative for asexual propagation of *Pinus rzedowskii* Madrigal & Caball. Del. in danger extinction. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(2), 277–288. doi: 10.5154/r.rchscfa.2020.06.046
- Stewart, J.F., R. Will., B.S. Crane., & D. Nelson. 2016. Occurrence of shortleaf x loblolly pine hybrids in shortleaf pine orchards: implications for ecosystem restoration. *Forest Science* 63(2):225–231 DOI 10.5849/forsci.15-167.
- Świerczyński, S., M. Kolasiński., M. Urbaniak., A. Stachowiak., & N. Nowaczyk. 2018. Influence of rootstock and grafting date on the success and grafts growth of two cultivars of pines. *Horticulture*, 21(4): 06. DOI: 10.30825/5.EJPAU.165.2018.21.4
- Valdés, A.E., M.L. Centeno, & B. Fernández. 2003. Changes in the branching pattern of *Pinus radiata* derived from grafting are supported by variations in the hormonal content. *Plant Sci*. 165: 1397–1401. doi: 10.1016/j.plantsci.2003.08.003.
- Valencia-A, S. 2004. Diversidad del género *Quercus* (Fagaceae) en México. *Bot. Sci.* 75(75): 33–53. doi: 10.17129/botsci.1692.
- Vargas-Hernández, J.J. 2003. Estado de la diversidad biológica de los árboles y bosques en el Norte de México. Documentos de Trabajo: Recursos Genéticos Forestales. FGR/60S. Servicio de Desarrollo de Recursos Forestales, Dirección de Recursos forestales, FAO, Roma. 42 p.
- Vargas-Hernandez, J.J., & J.I. Vargas-Abonce. 2016. Effect of giberellic acid (GA4/7) and girdling on induction of reproductive structures in *Pinus patula*. *Forest systems*, 25(2): e063. doi:10.5424/fs/2016252-09254.
- Vasquez-García, I., V.M. Cetina-Alcala., & L. Mohedano-Caballero. 2019. Propagación asexual de *Bursera glabrifolia*, *Bursera copallifera*, Y *Bursera bipinnata* bajo tratamientos de enraizadores en condiciones de vivero. *AGROPRODUCTIVIDAD*. 12(10). doi: 10.32854/agrop.vi0.1423.
- Velásquez, M.A., G. Ángeles P., T. Llanderal O., A. Román J., & V.J. Reyes, H. 2004. Monografía de *Pinus patula*. CONAFOR/Colegio de Postgraduados. México, D.F. 124 p.

- Villaseñor, R. R. & Carrera, G. M. 1980. Tres ensayos de injertado en *Pinus patula* Schl. et Cham. *Ciencia Forestales en México*. 5 (23): 21-3.
- Villaseñor, J.L. 2003. Diversidad y distribución de las Magnoliophyta de México. *Interciencia*. 28: 160–167.
- Wang, Y. 2011. Plant grafting and its application in biological research. *Chinese Science Bulletin*. 56(33): 3511–3517. doi: 10.1007/s11434-011-4816-1.
- White, T.L., W.T. Adms., & D.B. Neale. 2007. *Forest Genetics*. CAB International. London, UK. 682 p.
- Wright, W. J. 1976. *Introduction to Forest Genetics*. California, EUA: Academic Press. 463 p.
- Yin, H., Y. Bo., J. Sun., P. Jia., & Z. Zhang. 2012. Graft-union development: a delicate process that involves cell-cell communication between scion and stock for local auxin accumulation. *Journal of Experimental Botany*. 63 (11): 4219–4232. doi: 10.1093/jxb/err313.
- Yuan, H., S. Niu., X. Zhou., Q. Du., & Y. Li. 2016. Evaluation of seed production in a first-generation seed orchard of Chinese pine (*Pinus tabuliformis*). *Journal of Forestry Research*. 27 (5). doi: 10.1007/s11676-016-0238-x.
- Zabala, J.S., U.O. Lasuen., J.M. Guijo., K.T. Urkiri., & D. Aurrekoetxea. 2008. Optimización de la propagación vegetativa por estaquillado de genotipos de interés comercial de *pinus radiata*. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*. 28: 201–205.
- Zarate, L.H. 2013. Crecimiento de *Pinus montezumae* Lamb . influenciado por el sustrato y la fertilización en vivero. Tesis de maestría. Colegio de Postgraduados, Texcoco, Edo. de México, México. 109 p.
- Zobel, B. & J. Talbert. 1988. *Técnicas de Mejoramiento Genético de Árboles Forestales*. 1a ed. Editorial Limusa. México. 545 p.