



Evaluation of grafting technique in three genotypes of *Cedrela odorata* L. †

[Evaluación de la técnica de injerto en tres genotipos de *Cedrela odorata* L.]

Esther Paredes-Díaz¹, Benito González-Jiménez^{2*},
Norberto Silva-Pérez² and Rony Yair Maldonado-Fuentes¹

¹División de Ingeniería Forestal, Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza. Av. Tecnológico S/N, C. P. 73049, El Huasteco, Villa Lázaro Cárdenas, Venustiano Carranza, Puebla, México. Email: esther.paredes@itsvc.edu.mx; rony.maldonado@itsvc.edu.mx

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo. Km 36.5, Carretera México- Texcoco, C. P. 56230, Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. Email: *benitoforestal@hotmail.com; silva.norberto@colpos.mx

*Corresponding author

SUMMARY

Background. Grafting is an effective propagation technique for cloning trees with superior characteristics. **Objective.** To evaluate the effect of grafting technique and genotype on graft success of *Cedrela odorata* L. **Methodology.** *C. odorata* grafts were made using a randomized block design with factorial arrangement. Two grafting techniques (T-side-scion and T-budding) and three genotypes selected from a provenance test (CR-1, CR-2 and CR-3) were tested. At two months, graft success (%) was evaluated. **Results.** The analysis detected differences in graft success due to both factors ($p \leq 0.05$). T-side-scion grafting was 28.3 % more successful than T-budding grafting and clones CR-3, CR-1 and CR-2 showed differences in graft success with 52.5, 40 and 25 %, respectively. **Implications.** The results suggest that *C. odorata* trees can be cloned by T-side-scion and T-budding grafting, but it is necessary to test other techniques that increase the percentage of graft success. **Conclusions.** T-side-scion grafting favors graft success in *C. odorata*, compared to the T-budding graft. Grafting success varies depending on the genotype of scion used.

Key words: clone; graft success; provenance test; tropical species.

RESUMEN

Antecedentes. El injerto es una técnica efectiva de propagación para clonar árboles con características superiores. **Objetivo.** Evaluar el efecto de la técnica de injerto y el genotipo sobre el prendimiento del injerto de *Cedrela odorata* L. **Metodología.** Se hicieron injertos de *C. odorata* usando un diseño en bloques al azar con arreglo factorial. Se probaron dos técnicas de injerto (lateral de varetta y de yema en “T”) y tres genotipos seleccionados de un ensayo de procedencias (CR-1, CR-2 y CR-3). A los dos meses se evaluó el prendimiento del injerto (%). **Resultados.** El análisis detectó diferencias en el prendimiento por efecto de ambos factores ($p \leq 0.05$). El injerto de varetta tuvo 28.3 % mayor prendimiento que el de yema y los clones CR-3, CR-1 y CR-2 presentaron diferencias en el prendimiento del injerto con 52.5, 40 y 25 %, respectivamente. **Implicaciones.** Los resultados sugieren que se pueden clonar árboles de *C. odorata* por medio del injerto lateral de varetta y de yema en “T”, pero se requiere probar otras técnicas que aumenten el porcentaje de éxito del injerto. **Conclusiones.** El injerto lateral de varetta favorece el prendimiento del injerto en *C. odorata*, respecto al de yema; y el prendimiento del injerto presenta variación por efecto del genotipo de varetta utilizada.

Palabras clave: clon; prendimiento del injerto; ensayo de procedencias; especie tropical.

† Submitted May 29, 2025 – Accepted October 30, 2025. <http://doi.org/10.56369/tsaes.6366>



Copyright © the authors. Work licensed under a CC-BY 4.0 License. <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

ISSN: 1870-0462.

ORCID = E. Paredes-Díaz: <http://orcid.org/0009-0008-6655-212X>; B. González-Jiménez: <http://orcid.org/0000-0003-1684-7604>; N. Silva-Pérez: <http://orcid.org/0009-0005-1478-6491>; R.Y. Maldonado-Fuentes: <http://orcid.org/0009-0007-5144-1307>

INTRODUCCIÓN

Cedrela odorata L. (cedro rojo) es un árbol caducifolio de la familia Meliaceae que crece en zonas tropicales y subtropicales, desde el norte de México hasta el norte de Argentina. Alcanza alturas de 20 a 35 m y diámetros normales de 0.6 a 1.7 m (INIFAP, 2023). A los 25 años puede acumular un volumen de 111.2 m³ ha⁻¹ (CONAFOR, 2011). La madera de esta especie es considerada como preciosa de alto valor comercial y en México es la más plantada con 20.5 % del total de superficie establecida (Sampayo-Maldonado et al., 2019).

Sin embargo, sus plantaciones son altamente afectadas por *Hypsipyla grandella* Zeller y las poblaciones naturales se han disminuido y fragmentado (Gálvez-López et al., 2020). Por ello, está catalogada como Sujeta a Protección Especial en la NOM-059-SEMARNAT 2010 (SEMARNAT, 2010). Debido a la importancia y problemática que presenta esta especie, Cob-Uicab et al. (2023) sugieren explorar alternativas de propagación asexual para generar sistemas de clonación eficientes, requeridos en los programas de mejoramiento genético de *C. odorata*.

El injerto es una técnica de propagación vegetativa con gran potencial en la silvicultura (González-Jiménez et al., 2023). En especies forestales se ha utilizado principalmente para propagar árboles fenotípicamente superiores, con el fin de establecer huertos semilleros asexuales o bancos clonales (Olvera-Moreno et al., 2022). Además, en algunos casos, ha sido una herramienta importante para propagar individuos tolerantes al ataque de plagas (Argüello-Hernández et al., 2024; Cob-Uicab et al., 2023). En otros casos, los injertos han mejorado la resistencia a factores adversos e incluso son ampliamente utilizados para aumentar la producción de piñón, como en *Pinus pinea* L. (Han et al., 2019; Rojas-González et al., 2004).

El grado de éxito o fracaso del injerto depende de varios factores: anatomía interna, estado nutrimental, sanidad, afinidad taxonómica y genética de la veta y el portainjerto, fenología de la yema, edad del portainjerto, técnica de injerto, condiciones ambientales, manejo postinjertación y habilidad del injertador (Cob-Uicab et al., 2022; González-Jiménez et al., 2022). Se ha demostrado que la técnica de injerto es uno de los factores más importantes a considerar en estudios exploratorios de propagación por injerto (Casto-Garibay et al., 2017; Pérez-Luna et al., 2020). En cada especie, el prendimiento se favorece con alguna técnica en particular, dependiendo de las características morfológicas y hábito de crecimiento de las partes que integran el

injerto (Caldas-Mendes et al., 2021; Hartmann et al., 2014).

En la literatura se han reportado investigaciones relacionadas al efecto de la técnica de injerto en el prendimiento. En *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. se probaron tres técnicas de injerto y el terminal presentó el valor más alto (80 %), sin diferencia estadística con el lateral (73.3 %), pero sí con el inglés simple (56.7 %) (González-Jiménez et al., 2022). En *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) Harrison, el injerto de enchapado lateral favoreció el prendimiento (36 %), en comparación con el de fisura terminal (13 %) (Barrera-Ramírez et al., 2021). En *Camellia* spp. también se encontraron diferencias al evaluar cuatro técnicas, los injertos de hendidura terminal y lengüeta tuvieron mejor respuesta (70 %), respecto al injerto de silla y hendidura lateral (60 %) (Ranjith e Ilango, 2017). Particularmente, en *C. odorata* la información es escasa e incipiente, aunque, se tienen reportes que la técnica de parche favoreció 60 % mayor prendimiento respecto a la de corona (Cob-Uicab et al., 2023).

Respecto al genotipo, en *P. patula* y *P. pseudostrobus* Lindl. se encontraron diferencias significativas por efecto de este factor (Barrera-Ramírez et al., 2024; González-Jiménez et al., 2023), aunque en cinco clones de *Hevea brasiliensis* (Willd. ex A. Juss.) Müll. Arg., no hubo diferencias en el prendimiento (Navarro et al., 2024). Por ello, es importante determinar si en *C. odorata*, el genotipo del cual se obtienen las varetas y la técnica utilizada influyen en el éxito inicial del injerto, ya que generalmente a los clones generados a partir de esta técnica de propagación asexual se les evalúan características morfológicas y de crecimiento varios años después de haberse establecido en ensayos clonales, pero poco se sabe sobre la respuesta después de haberse injertado. Con el fin de contribuir al conocimiento de la clonación por injerto de *C. odorata*, el objetivo del estudio es, evaluar el efecto de dos técnicas de injerto (lateral de veta y de yema en "T") y tres genotipos (CR-1, CR-2 y CR-3), en el prendimiento del injerto, bajo el supuesto de que habrá diferencia en el prendimiento por efecto de estos dos factores de estudio.

MATERIALES Y MÉTODOS

Ensayo de procedencias-progenie

Las varetas se colectaron de árboles plantados en un ensayo de procedencias-progenie establecido en 2018 en el Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza (ITSVC), municipio de Venustiano Carranza, Puebla, entre las coordenadas 20° 28' 26.3'' LN y 97° 41' 59.0'' LO a 330 m de altitud. La zona presenta un clima (Cw), temperatura de 24 °C y

precipitación de 1,450 mm. La planta para el ensayo de procedencias se obtuvo a partir de semilla de árboles fenotípicamente superiores y con un bajo nivel de incidencia a *H. grandella*. Se conformó de 64 familias de medios hermanos de *C. odorata* procedentes de Veracruz, Puebla, Hidalgo, San Luis Potosí y Tamaulipas (Molar-Peña *et al.*, 2025).

Genotipos seleccionados

En noviembre de 2023 se seleccionaron tres árboles (CR-1, CR-2 y CR-3) del ensayo de *C. odorata* (Figura 1a-c). Estos tenían 5 años de edad y su selección se basó en las características deseables para la producción de madera: sobresalientes en altura total, diámetro normal, rectitud y longitud de fuste sin bifurcación provocado por *H. grandella* (Tabla 1). Las ramas de los árboles no tenían hojas y sus yemas estaban en dormancia debido a la época del año (finales de otoño).

Portainjertos

Se utilizaron portainjertos de *C. odorata* de 18 meses de edad, producidos en bolsa de polietileno negra de 12.5 x 25.0 cm en un sustrato de materia orgánica, perlita y tierra en una proporción de 60-10-30 %, respectivamente y 1g L⁻¹ de Osmocote® 14-14-14 de N-P-K. Los portainjertos se mantuvieron en

condiciones bajo malla sombra al 70 % en el vivero del ITSVC. Al injertar, los portainjertos tenían en promedio 1.3 ± 0.01 m de altura y 10.7 ± 0.18 mm de diámetro en la zona de injerto. Aún mantenían sus hojas, el tallo principal con una yema apical y las yemas laterales a lo largo del tallo, en dormancia (Figura 1d).

Manejo de varetas y yemas

Los injertos se realizaron del 23 al 26 de noviembre de 2023 en el vivero del ITSVC. A los árboles seleccionados se les cortaron en promedio 5 ramas de aproximadamente 2 m de longitud de las cuales se obtuvieron dos tipos de material vegetal para injertar, de acuerdo al tipo de injerto (Figura 1e). Para el injerto lateral se utilizaron varetas que se cortaron con una longitud de 12 cm a partir de los ápices (yema terminal), con 4 a 5 yemas laterales vivas, pero en dormancia. Para el injerto de yema en “T” se utilizaron yemas individuales que se obtuvieron de segmentos del extremo apical de 30-40 cm de longitud, 7.1 ± 0.1 mm de diámetro y que contenían de 10 a 12 yemas laterales en dormancia. Las varetas y segmentos de ramas se lavaron con jabón líquido comercial y 1 ml L⁻¹ de hipoclorito de sodio, se enjuagaron con agua corriente y posteriormente se pusieron en una solución de agua con Captan® 2 g L⁻¹ durante 10 min para su desinfección.

Tabla 1. Procedencia y características morfológicas de los árboles seleccionados de un ensayo de procedencias de *Cedrela odorata*, para clonar por medio de injerto.

Genotipo	Familia	Procedencia	Altura total (m)	Diámetro normal (cm)
CR-1	41	Jalpan, Puebla	8.0	11.1
CR-2	27	Coyutla, Veracruz	6.5	11.9
CR-3	13	San Pedro Miahuapan, Veracruz	7.5	11.2
Promedio			7.3 ± 0.4	11.4 ± 0.3

Los valores ± representan el error estándar.

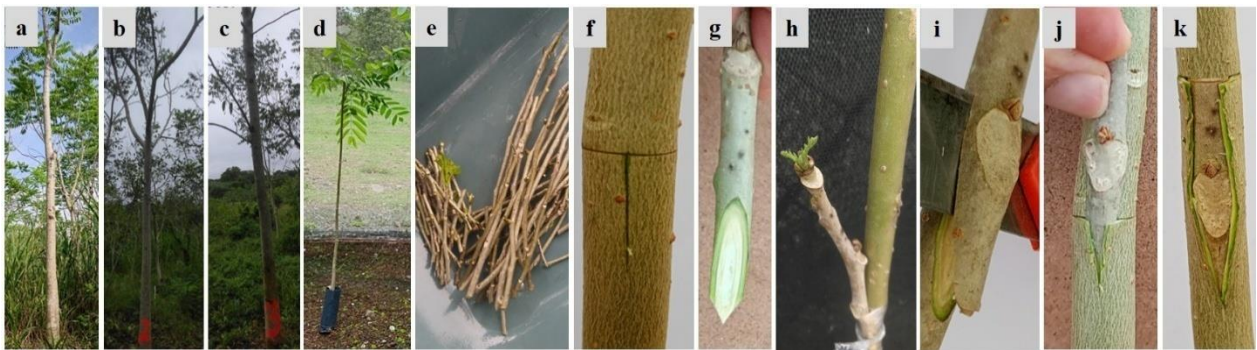


Figura 1. Material vegetal de *Cedrela odorata* y técnicas de injerto utilizadas: a) genotipo CR-1; b) genotipo CR-2; c) genotipo CR-3; d) portainjerto; e) varetas y segmentos de rama; f) corte en “T” en el portainjerto; g) corte en la base de la varetas para el injerto lateral; h) injerto lateral de varetas; i) disección de yema; j) inserción de la yema en el portainjerto; K) injerto de yema en T. Foto: Esther Paredes Díaz.

Injerto lateral de vareta

Se hizo un corte horizontal de 1 cm de longitud y uno vertical de 2 cm a la altura de 25 cm de la base del tallo del portainjerto para formar una “T” en la corteza, hasta tocar el xilema (Figura 1f). Por otro lado, las varetas se ajustaron a 10 cm de longitud y tenían en promedio 6.2 ± 0.1 cm de diámetro. En la base de la vareta se hizo un corte en diagonal de 2.5 cm en un solo lado de su base, dejando un solo plano expuesto (Figura 1g), luego del lado opuesto de la base de la vareta se hizo un corte de 3 mm y un corte a los lados para formar una punta. Luego, con un levantador de corteza, esta se despegó del xilema y se colocó la punta de la vareta en la parte superior del corte vertical, deslizándola hacia abajo hasta que tuvieron un contacto total el cambium de la vareta con el del portainjerto. Posteriormente se cubrió la zona de injerto con plástico vitafilm de 3 cm de ancho (Figura 1h).

Injerto de yema en “T” o escudete

La altura de injertado y los cortes en el tallo del patrón fueron los mismos que en el injerto lateral. De los segmentos de rama, se seleccionó una yema con vigor sobresaliente y se hizo un corte casi plano de 4 cm rebanando por debajo de la yema, iniciando por debajo de esta y luego se hacía un corte transversal a los 4 cm para separar la yema (Figura 1i). La yema cortada se manipuló con la punta de la navaja para insertarla por debajo de la corteza, en la parte superior del corte vertical hecho en el portainjerto, luego se deslizó hacia abajo hasta quedar en contacto toda la superficie de la yema con el portainjerto (Figura 1j y 1k). Con el fin de mantener el contacto entre el cambium de la yema con el del portainjerto, se cubrió la zona del injerto con plástico vitafilm, pero sin

envolver la protuberancia de la yema para que pudiera brotar de manera libre. Luego, en ambos tipos de injerto, se puso una bolsa de polietileno transparente de 15 x 25 cm y finalmente se rotuló la bolsa de cada planta injertada.

Mantenimiento

Los injertos se mantuvieron en condiciones de vivero en el ITSVC con una temperatura media de 22 °C y humedad relativa de 82.9 % durante el prendimiento (23 de noviembre 2023 al 23 de enero 2024) (Figura 2a). En ambos tipos de injerto se hicieron dos podas de la parte aérea del portainjerto para liberar al injerto, a los dos y tres meses después del injertado. En la primera, el tallo del portainjerto se podó a una altura de 50 cm de la base y en la segunda se dejaron solo 5 cm del tallo por arriba del injerto (Figura 2b y 2c). Los injertos se regaron en promedio 2 veces por semana de manera manual.

Diseño experimental

Se aplicó un diseño experimental en bloques al azar con arreglo factorial: 1) técnica de injerto con dos niveles (injerto lateral de vareta y de yema en “T”); y 2) el genotipo de la vareta con tres niveles (CR-1, CR-2 y CR-3). Se establecieron cuatro bloques y seis tratamientos, cada tratamiento representado por cinco injertos por bloque, haciendo en total 120 injertos. La variable evaluada fue el prendimiento del injerto (%) a los dos meses después de haberse injertado. Considerando como injerto prendido a las varetas que se encontraban vivas al momento de la evaluación, aunque aún no brotaran las yemas. Y los injertos no prendidos, aquellas varetas que se encontraban muertas.



Figura 3. Injertos de siete meses de *Cedrela odorata*: a) injertos prendidos; b) injerto lateral de vareta; c) injerto de yema en “T”; d) unión de injerto lateral de vareta; e) unión de injerto de yema en “T”. Foto: Esther Paredes Díaz.

A los datos la variable evaluada se les hizo la comprobación del cumplimiento de los supuestos del modelo factorial (normalidad y homogeneidad de varianzas). En la prueba de normalidad de Shapiro Wilk se obtuvo un valor de $p < 0.05$, por lo tanto, al no cumplir con este supuesto, a los datos del prendimiento en porcentaje se les aplicó una transformación con la función $[T = \arcseno(\sqrt{Y})]$, con lo cual se cumplió el supuesto de normalidad (Shapiro Wilk = 0.0974) y el de homogeneidad de varianzas mediante la prueba gráfica de los predichos contra residuales. Posteriormente, a los datos, se les aplicó un ANOVA de dos vías y la prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) en el programa estadístico Statistical Analysis System 9.4 (SAS Institute, 2013). Finalmente, los datos de la variable en porcentaje se retransformaron a las unidades originales con la función $[Y = 100 \text{ seno}^2(T)]$ (Barrera-Ramírez *et al.*, 2021). El modelo estadístico que se utilizó fue el aplicado por González-Jiménez *et al.* (2023), pero adaptado a los factores de este estudio:

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_k + T_i + G_j + TG_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Y_{ijk} = valor de la variable respuesta correspondiente a la repetición k del nivel i de T y nivel j de G ; μ = media general; β_k = efecto del bloque; T_i = efecto de la técnica de injerto; G_j = efecto del genotipo de la vareta; TG_{ij} = efecto de la interacción, técnica de injerto * genotipo de la vareta; ϵ_{ijk} = error experimental i = tipo de injerto: injerto lateral de vareta e injerto de yema; j = genotipo: CR-1, CR-2 y CR-3; k = repeticiones: 1, 2, 3 y 4.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Dos meses después de haber realizado los injertos se obtuvo en promedio un prendimiento de 39.2 %. El análisis detectó diferencias ($p \leq 0.05$) para la técnica de injerto y el genotipo de la vareta, pero no para la interacción (Tabla 2).

Efecto de la técnica de injerto

Con el injerto lateral de vareta se obtuvo en promedio el 53.3 ± 6.4 % de prendimiento en los injertos de *C. odorata*, mientras que con el de yema en "T", 25.0 ± 6.7 % (Tabla 2). Estos resultados pueden deberse a que las varetas de 12 cm de longitud utilizadas en el injerto lateral tenían mayores reservas de agua y carbohidratos que las yemas (porción del tallo de 4 cm), y estas fueron suficientes para mantenerlas vivas mientras se daba la reconexión de los tejidos y hasta que el portainjerto fue capaz de suministrar agua y nutrimentos a la vareta injertada (Pina *et al.*, 2017). Esta respuesta puede ser similar a lo que ocurre en la propagación por estacas, donde se ha demostrado que

el estado nutricional o de reservas que tiene el material vegetal utilizado, es determinante para mantener viva a la estaca durante el proceso de enraizamiento (Martínez-Alonso *et al.*, 2012).

Tabla 2. Análisis de varianza y prueba de medias (\pm error estándar) del prendimiento para los factores de la técnica de injerto (TI), genotipo de la vareta (GV) e interacción (TI * GV) en injertos de *Cedrela odorata*.

Fuente de variación	GL	Prendimiento (%)
Bloque ($p=0.9883$)		
<i>Técnica de injerto</i>		
($p=0.0035^*$)		
Injerto de yema en T	1	25.0 ± 6.7 b
Injerto lateral de vareta	1	53.3 ± 6.4 a
<i>Genotipo de la vareta</i>		
($p=0.0475^*$)		
CR-1	2	40.0 ± 11.2 ab
CR-2	2	25.0 ± 5.9 b
CR-3	2	52.5 ± 7.9 a
Promedio		39.2 ± 5.5
TI * GV ($p=0.403^{ns}$)	2	

Los valores medios de tratamientos con letra diferente dentro de cada factor de estudio, indican diferencia estadística; GL: Grados de libertad; *: Diferencias estadísticas con $p \leq 0.05$ y ns, sin diferencia estadística.

En otros estudios también se ha favorecido el prendimiento con el injerto lateral. Por ejemplo, en *P. pseudostrobus* este tipo de injerto favoreció el prendimiento con 36 %, respecto al de fisura terminal con 13 % (Barrera-Ramírez *et al.*, 2021). En *Pinus patula* se logró el 73 % de prendimiento con el injerto lateral y 56 % con el injerto de empalme, atribuyéndolo a que se obtiene una unión mecánica más fuerte con esta técnica (González-Jiménez *et al.*, 2022). En el presente estudio con cedro rojo, los cortes hechos a la vareta utilizada en el injerto lateral pudieron haber generado mejor anclaje y alineación con el cambium del portainjerto, al facilitar su acoplamiento. Castro-Garibay *et al.* (2017) indican que es importante conocer el tejido interno de la vareta y el portainjerto antes de injertar (forma del cambium y grosor de la corteza), ya que si son diferentes pueden generar incompatibilidad física.

En un estudio de *C. odorata*, al comparar el injerto de parche y de corona, el prendimiento fue de 90 y 28 %, respectivamente (Cob-Uicab *et al.*, 2023). El alto porcentaje de prendimiento con el injerto de parche obtenido por estos autores conforme a los resultados en el actual experimento, puede estar relacionado a la superficie del cambium expuesta en toda la placa

extraída del tallo que contiene la yema (Hartmann *et al.*, 2014). En el actual estudio la técnica lateral de vareta y de yema en “T” utilizadas, el cambium de la vareta solo queda expuesto en la parte perimetral a lo largo de la orilla del corte y es menor la superficie que está en contacto con el portainjerto (Figura 1g y 1i). Se ha indicado que, a mayor superficie de contacto del cambium entre las partes del injerto, mayor probabilidad de éxito (González-Jiménez *et al.*, 2022). Esto se debe, a que el cambium está compuesto de células meristemáticas con la capacidad de dividirse y diferenciarse para formar nuevas células de parénquima y es el responsable de unir el tejido de la vareta con el del portainjerto y formar el callo (Hartmann *et al.*, 2014) (Figura 2e y 2d). En ese sentido, Pardo-Alonso *et al.* (2019) señalaron que además del área de superficie de corte se debe considerar el ángulo de corte e injertar tallos (púa-patrón) con diámetro similar.

En general el prendimiento promedio obtenido por las dos técnicas < 50 %, pudo estar relacionado a la época de injertado, poco antes del inicio del invierno, cuando baja la actividad mitótica por efecto de la disminución en la temperatura y por consecuencia, la unión requiere mayor tiempo para realizar los procesos de división celular (Viveros-Viveros y Vargas-Hernández, 2007). Mientras más rápida sea la unión de los tejidos, mayor será el éxito, ya que esta eficiencia disminuye el tiempo en el que el injerto está en riesgo de deshidratación (Gaspar *et al.*, 2017). Estudios revelaron que el injerto de avellana es bastante difícil debido a la formación muy lenta del callo, pero las temperaturas cálidas en la unión del injerto aumentan el prendimiento (Bijelić *et al.*, 2021). En latifoliadas, se recomienda hacer los injertos al inicio de la primavera cuando las divisiones mitóticas aumentan y se acelera la división celular y hay menor humedad en el ambiente, que evita problemas de pudrición en el punto de unión (Cob-Uicab *et al.*, 2022). Un estudio demostró que al injertar *C. odorata* en febrero (invierno) fue menor el prendimiento que los injertados en abril (primavera) con 24 y 80 %, respectivamente (Cob-Uicab *et al.*, 2023).

Efecto del genotipo de las varetas

El clon CR-3 tuvo más de 50% de prendimiento y fue 27.5 % mayor que el CR-2; y con el clon CR-1 no hubo diferencias (Tabla 2). Considerando que el estudio se estableció bajo condiciones experimentales homogéneas, estos resultados demuestran que el origen genético de las varetas tiene efecto sobre el prendimiento del injerto en *C. odorata*. Gautier *et al.* (2019) indicaron que la activación del cambium puede ser diferente entre genotipos e influir en el prendimiento del injerto. Además, en *Carya cathayensis* Sarg. se han identificado 49 genes

diferencialmente expresados durante la formación de la unión del injerto y presumiblemente son los mismos que están involucrados en el proceso de cicatrización de una herida (Pina *et al.*, 2017). Los genotipos pueden mostrar su máximo potencial de prendimiento cuando los factores externos se encuentran en proporciones óptimas para favorecer la expresión de los genes, además de considerar la relación con el genotipo del portainjerto. Por lo tanto, gran parte del éxito del injerto depende de la interacción entre la vareta, el portainjerto y las condiciones ambientales durante el prendimiento (Reátegui-Salazar *et al.*, 2012; Warschefsky *et al.*, 2016).

De manera similar en otros estudios de injerto, el genotipo de la vareta ha influido en variaciones en el prendimiento. Barrera-Ramírez *et al.* (2024) evaluaron varetas de cuatro genotipos de *P. pseudostrobus* var. *oaxacana* y el prendimiento varió significativamente entre genotipos de 53, 42, 19 y 11 %, atribuyéndolo a diferencias fenológicas y fisiológicas en el estado de desarrollo de las varetas, por ser de diferente procedencia. En ese sentido, González-Jiménez *et al.* (2023) indican que las diferencias encontradas en el prendimiento por efecto del genotipo en injertos de *P. patula*, se deben a la variación morfológica y fisiológica entre los genotipos de una misma especie y por ello, cada uno tendrá una capacidad específica para responder a la unión del tejido. Al injertar 10 clones de *Theobroma cacao* L. sobre portainjertos de cuatro años, el prendimiento varió hasta 56.7 % (N’zi *et al.*, 2023). Otro estudio evaluó 10 clones de *Corylus avellana* L. y se encontró qué el prendimiento fue de 61 a 85 % (Bijelić *et al.*, 2021). Sin embargo, en algunos casos no se han encontrado diferencias estadísticas entre clones, sobre el prendimiento del injerto. En tres clones de *Annona muricata* L., y cinco clones de *H. brasiliensis*, no hubo diferencias en el prendimiento (Navarro *et al.*, 2024; Puc-Flores *et al.*, 2018).

Esta variación de las plantas en la habilidad de sus estructuras utilizadas como varetas para ser injertadas exitosamente, está probablemente relacionada a la eficiencia que tienen sus células para diferenciarse, producir células de parénquima y rediferenciarse, desde el momento de hacer los cortes, hasta completar la reconexión de su tejido vascular con el del portainjerto (Caldas-Mendes *et al.*, 2021; Hartmann *et al.*, 2014; Megre *et al.*, 2004). Algunos clones en particular pueden tener mayor dificultad para ser injertados exitosamente y generan bajo porcentaje de prendimiento ≤ a 20 % (Barrera-Ramírez *et al.*, 2024; N’zi *et al.*, 2023). Debido a que el número de copias en estos clones será limitado, como en el caso del clon CR-2 de *C. odorata* obtenido en este estudio con solo 25 % de prendimiento, se recomienda ajustar el número de

rametos requeridos de acuerdo con el porcentaje de prendimiento del clon. Por lo que, en especies forestales al seleccionar los árboles a clonar, además de considerar sus características fenotípicas superiores relacionadas con fines de producción maderable (Cob-Uicab *et al.*, 2022; Molar-Peña *et al.*, 2025), será necesario tomar en cuenta la capacidad de respuesta al propagarlos por medio de injerto (González-Jiménez *et al.*, 2023).

CONCLUSIONES

Se logró la clonación por medio de injerto de los árboles seleccionados de *C. odorata* y el prendimiento se favoreció con la técnica lateral de varetas, respecto a la de yema en “T”. Sin embargo, será importante ampliar la investigación y probar más técnicas de injerto e identificar la que mejor responda a la morfología de las varetas y portainjertos en cedro rojo, y con ello, aumentar la probabilidad de éxito. Así mismo, se debe tener en cuenta la correcta ejecución de la técnica y condiciones ambientales favorables durante el proceso de unión. Además de la elección de la técnica más conveniente, es fundamental considerar que el prendimiento del injerto en cedro rojo puede variar por efecto del genotipo de la varetas debido a que algunos clones tendrán mejor respuesta a la propagación por injerto que otros. Esta información es de utilidad para programar la producción de planta clonal, es decir que para el clon CR-2 con menor porcentaje de prendimiento será necesario realizar mayor número de injertos, para ajustar a una determinada cantidad de rametos requeridos, en comparación con el CR-1 y CR-3.

Agradecimientos

Al Instituto Tecnológico Superior de Venustiano Carranza, por proporcionar el material vegetal (varetas y portainjertos) e instalaciones, para el establecimiento del experimento de injertos de *Cedrela odorata*. A la SECIHTI por la beca de posdoctorado otorgada al autor de correspondencia.

Funding. The experiment was funded by the authors.

Conflict of interest. The authors declare there are no competing interests.

Compliance with ethical standards. Does not apply.

Data availability. Data is available from the corresponding author: Dr. Benito González-Jiménez (benitoforestal@hotmail.com) upon request.

Author contribution statement (CRediT). **E. Paredes-Díaz** – Investigation, Formal analysis, Writing-original draft, Writing-review and editing. **B. González-Jiménez** – Supervision, Methodology,

Writing-original draft, Writing-review and editing. **N. Silva-Pérez** – Conceptualization, Methodology, Writing-original draft. **R.Y. Maldonado-Fuentes** – Data curation, Writing-review and editing.

REFERENCES

- Argüello-Hernández, M., Cibrián-Llenderal, V.D., López-Upton, J., Villegas-Monter, Á., Pérez-Luna, A. and Castro-Garibay, S.L., 2024. Grafting propagation of *Quercus affinis* Scheidw. individuals tolerant to *Andricus quercuslaurinus* Melika & Pujade-Villar. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 30(2), pp. 1–13. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2023.06.039>
- Barrera-Ramírez, R., Vargas-Hernández, J.J., Gómez-Cárdenas, M., Treviño-Garza, E.J. and Pérez-Luna, A., 2024. Interaction and compatibility in reciprocal grafting with two varieties of *Pinus pseudostrobus* Lindl. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 30(1), pp. 1–16. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.10.079>
- Barrera-Ramírez, R., Vargas-Hernández, J.J., López-Aguillón, R., Muñoz-Flores, H.J., Treviño-Garza, E.J. and Aguirre-Calderón, O.A., 2021. Impacto f external and internal factor son successful grafting of *Pinus pseudostrobus* var. *oaxacana* (Mirov) Harrison. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 27(2), pp. 243–256. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.05.037>
- Bijelić, S., Magazin, N., Džankić, S., Janković, D., Bogdanović, B. and Jaćimović, G., 2021. Advances in nursery production of hazelnut plants in serbia – successful grafting of different *Corylus avellana* L. cultivars and clones onto *Corylus colurna* L. rootstock. *Frontiers in Plant Science*, 12, pp. 1–12. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.785015>
- Caldas Mendes, G.G., dos Santos, G.A., Xavier, A., Martins, S.V., de Souza, G.A., Vaz Martins, T.G. and dos Reis Neto, R.F., 2021. Grafting efficiency in brazilian native tree species. *Scientia Forestalis*, 49(132), p. e3687. <https://doi.org/10.18671/scifor.v49n132.04>
- Castro-Garibay, S.L., Villegas-Monter, Á. and López-Upton, J., 2017. Anatomy of rootstocks and scions in four pine species. *Forest Research:*

- Open Access*, 6(3), p. 211.
<https://doi.org/10.4172/2168-9776.1000211>
- Cob Uicab, J.V., Rodríguez Santiago, B. and García Cuevas, X., 2023. Estandarización de un método de propagación asexual para el establecimiento de un banco clonal de *Cedrela odorata* L. *South Florida Journal of Development*, 4(6), pp. 2288–2296.
<https://doi.org/10.46932/sfjdv4n6-006>
- Cob Uicab, J.V., Santiago Trinidad, O. and Reynoso Santos, R., 2022. *Manual técnico de producción de injertos de cedro rojo (Cedrela odorata L.)*, Jalisco: CONAFOR.
<https://www.gob.mx/conafor/documentos/manual-tecnico-de-produccion-de-injertos-de-cedro>
- CONAFOR (Comisión Nacional Forestal). 2011. Situación actual y perspectivas de las plantaciones forestales comerciales en México.
<http://www.conafor.gob.mx:8080/biblioteca/ver.aspx?articulo=434> (recuperado: enero 2025).
- Gaspar, R.G.B., Wendling, I., Stuepp, C.A. and Angelo, A.C. 2017. Rootstock age and growth habit influence top grafting in *Araucaria angustifolia*. *CERNE*, 23(4), pp. 465–471.
<https://doi.org/10.1590/01047760201723042447>
- Gálvez López, L., Vallejo Reyna, M.A., Méndez Espinoza, C. and López Upton, J., 2020. *Cedrela odorata* L.: oportunidades para su conservación y mejoramiento genético. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 11(58), pp. 4–25.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v11i58.622>
- Gautier, A.T., Chambaud, C., Brocard, L., Ollat, N., Gambetta, G.A., Delrot, S. and Cookson, S.J., 2019. Merging genotypes: graft union formation and scion–rootstock interactions. *Journal of Experimental Botany*, 70(3), pp. 747–755. <https://doi.org/10.1093/jxb/ery422>
- González-Jiménez, B., Jiménez-Casas, M., López-Upton, J., López-López, M.Á. and Rodríguez-Laguna, R., 2022. Combination of grafting techniques to clone superior genotypes of *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. et Cham. *Agrociencia*, 56(5), pp. 993–1004.
<https://doi.org/10.47163/agrociencia.v56i5.2582>
- González-Jiménez, B., Jiménez-Casas, M., López-Upton, J., López-López, M.Á. and Rodríguez-Laguna, R., 2023. Scion and rootstock compatibility in *Pinus patula* Schiede ex Schltdl. & Cham. in response to genotypic variation. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 29(1), pp. 147–161.
<https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2022.08.061>
- Han, Q., Guo, Q., Korpelainen, H., Niinemets, Ü. and Li, C., 2019. Rootstock determines the drought resistance of poplar grafting combinations. *Tree Physiology*, 39(11), pp. 1855–1866.
<https://doi.org/10.1093/treephys/tpz102>
- Hartmann, H.T., Kester, D.E., Davies Jr, F.T. and Genever, R.L., 2014. *Plant propagation principles and practices*, 8th ed., Edinburgh: Pearson.
<https://archive.org/details/PlantPropagationPrinciplesAndPacticesByHartmannAndKester8thEdition>
- INIFAP (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias). 2023. Plantaciones forestales con cedro rojo en el trópico mexicano.
<http://www.gob.mx/inifap/articulos/plantaciones-forestales-con-cedro-rojo-en-el-tropico-mexicano> (recuperado: enero 2025).
- Martínez-Alonso, C., Kidelman, A., Feito, I., Velasco, T., Alía, R., Gaspar, M.J. and Majada, J., 2012. Optimization of seasonality and mother plant nutrition for vegetative propagation of *Pinus pinaster* Ait. *New Forests*, 43(5-6), pp. 651–663.
<https://doi.org/10.1007/s11056-012-9333-9>
- Megre, D., Kondratovičs, U. and Grave, I., 2004. Graft union formation in elepidote rhododendrons. *Acta Universitatis Latviensis, Biology*, 676, pp. 71–77.
<https://ceb.lu.lv/EEB/2004/Megre.pdf>
- Molar Peña, E., Jiménez Casas, M., López López M.Á., Parra Piedra, J.P. and Cob Uicab, J.V. 2025. Evaluación de ensayos de progenie de *Cedrela odorata* L. en distintas regiones de México. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 16(90), pp. 113–132.
<https://doi.org/10.29298/rmcf.v16i90.1544>
- Navarro, J.M., Arévalo, A., Lozano, A., Alva-Arévalo, C.M., García-Gonzales, P., Gaona-

- Jimenez, N., Baselly-Villanueva, J.R., Saavedra-Ramírez, J. and Vallejos-Torres, G., 2024. Evaluación del prendimiento y desarrollo de clones de caucho (*Hevea brasiliensis*) propagados por injerto en la selva peruana. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 27, p. 095. <https://doi.org/10.56369/tsaes.5356>
- N'zi, J.C., Koné, I., Antoine M'bo, K.A., Koné, S. and Kouamé, C., 2023. Successful grafting elite cocoa clones (*Theobroma cacao* L.) as a function of the age of rootstock. *Heliyon*, 9, p. e18732. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e18732>
- Olvera-Moreno, S., López-Upton, J., Sánchez-Monsalvo, V. and Jiménez-Casas, M., 2022. Parámetros genéticos e interacción genotipo-ambiente en ensayos clonales de *Cedrela odorata* L. *Madera y Bosques*, 28(1), p. e2812318. <https://doi.org/10.21829/myb.2022.2812318>
- Pardo-Alonso, J.L., Carreño-Ortega, Á., Martínez-Gaitán, C.C. and Callejón-Ferre, A.J., 2019. Combined influence of cutting angle and diameter differences between seedlings on the grafting success of tomato using the splicing technique. *Agronomy*, 9(5), pp. 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy9010005>
- Pérez-Luna, A., Wehenkel, C., Prieto-Ruiz, J.Á., López-Upton, J., Solís-González, S., Chávez-Simental, J.A. and Hernández-Díaz, J.C., 2020. Grafting in conifers: a review. *Pakistan Journal of Botany*, 52(4), pp. 1369–1378. [https://doi.org/10.30848/PJB2020-4\(10\)](https://doi.org/10.30848/PJB2020-4(10))
- Pina, A., Cookson, S.J., Calatayud, A., Trinchera, A. and Errea, P., 2017. Physiological and molecular mechanisms underlying graft compatibility. In: G Colla, F Pérez-Alfocea and D. Schwarz, eds. *Vegetable Grafting: Principles and Practices*. London: CABI. pp. 132–154. <https://doi.org/10.1079/9781780648972.0000>
- Puc-Flores, C.G., Cituk-Chan, D.E., Villanueva-Couoh, E. and Pinzón-López, L.L., 2018. Compatibilidad de injertación en tres clones de guanábana (*Annona muricata* L.). *Agro Productividad*, 11(10), pp. 71–74. <https://doi.org/10.32854/agrop.v11i10.1247>
- Ranjith, K. and Ilango, R.V.J., 2027. 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 Horticulture*, 220, pp. 139–146. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2017.03.039>
- Reátegui Salazar, A.R., Imán Correa, S.A. and Soplin Ríos, A.R.R., 2012. Influencia del genotipo y tipo de injerto en la brotación de *Myrciaria dubia* (H.B.K) Mc Vaugh “camu camu.” *Ciencia Amazónica (Iquitos)*, 2(2), pp.146–150. <https://doi.org/10.22386/ca.v2i2.39>
- Rojas González, S., García Lozano, J. and Alarcón Rojas, M., 2004. *Propagación asexual de plantas*, Bogotá: Corpoica. <https://ecojardines.wordpress.com/wp-content/uploads/2013/12/propagacinasexualde plantas.pdf>
- Sampayo-Maldonado, S., López-Upton, J., Sánchez-Monsalvo, V. and Jiménez-Casas, M., 2019. Genetic parameters of growth, and resistance to the shoot borer, in young clones of the tree *Cedrela odorata* (Meliaceae). *Revista de Biología Tropical*, 67(3), pp. 554–561. <https://doi.org/10.15517/rbt.v67i3.32053>
- SEMARNAT (Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales). 2010. *Norma Oficial Mexicana NOM-059-SEMARNAT-2010*. <https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/4254/semarnat/semarnat.htm> (recuperado: enero 2025).
- Viveros-Viveros, H. and Vargas-Hernández, J.J., 2007. Dormancia en yemas de especies forestales. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 13(2), pp. 131–135. <https://www.scielo.org.mx/pdf/rcscfa/v13n2/2007-4018-rcscfa-13-02-131.pdf>
- Warschefsky, E.J., Klein, L.L., Frank, M.H., Chitwood, D.H., Londo, J.P., von Wettberg, E.J.B. and Miller, A.J., 2016. Rootstocks: diversity, domestication, and impacts on shoot phenotypes. *Trends in Plant Science*, 21(5), pp. 418–437. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2015.11.008>