

Grafting propagation of *Quercus affinis* Scheidw. individuals tolerant to *Andricus quercuslaurinus* Melika & Pujade-Villar

Propagación por injerto de individuos de *Quercus affinis* Scheidw. tolerantes al ataque de *Andricus quercuslaurinus* Melika & Pujade-Villar

Marcelina Argüello-Hernández¹; Víctor D. Cibrián-Llenderal^{1*}; Javier López-Upton¹; Ángel Villegas-Monter²; Alberto Pérez-Luna¹; Sandra L. Castro-Garibay²

¹Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado en Ciencias Forestales. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. C. P. 56264. Texcoco, Edo. de México, México.

²Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Postgrado en Fisiología Vegetal. Carretera México-Texcoco km 36.5, Montecillo. C. P. 56264. Texcoco, Edo. de México, México.

*Corresponding author: vicillan@gmail.com; tel.: 595 114 9353.

Abstract

Introduction: The gall wasp *Andricus quercuslaurinus* Melika & Pujade-Villar causes the death of *Quercus affinis* Scheidw. in Acaxochitlán, Hidalgo. The genetic capacity of parents with tolerance to the pest can be conserved by grafting.

Objectives: The aim of this study is to establish the conditions for grafting of *Quercus affinis* individuals tolerant to *A. quercuslaurinus* attack.

Materials and methods: Scions of five tolerant and five susceptible phenotypes were collected. Homografts (*Q. affinis* scions on *Q. affinis* rootstocks) and heterografts (*Q. affinis* on *Q. rugosa* Née) were made with terminal fissure and side-veneer graft. Tests were carried out on five dates and with materials of different ages. Grafting success was evaluated with ANOVA and Tukey's test ($P = 0.05$). Grafting was determined by fitting the Weibull accelerated failure time model.

Results and discussion: Statistical differences ($P \leq 0.05$) were found in grafting by phenotype effect. Grafting success rate with scions from tolerant trees was 166 % higher than with scions from susceptible trees. The highest grafting was obtained in homografts (90 %) with scions from young tolerant trees (12 years old) and heterografts (88 %) with scions from adult tolerant trees (35 and 40 years old).

Conclusions: The propagation of *Q. affinis* individuals tolerant to *A. quercuslaurinus* attack is possible by homografts (young trees) and heterografts (adult trees) with *Q. rugosa* rootstocks, preferably in early autumn.

Keywords: gall wasp; oak; tolerant phenotype; forest pest; *Quercus rugosa*.

Resumen

Introducción: La avispa agalladora *Andricus quercuslaurinus* Melika & Pujade-Villar causa la muerte de *Quercus affinis* Scheidw. en Acaxochitlán, Hidalgo. La capacidad genética de los progenitores con tolerancia a la plaga se puede conservar mediante propagación por injertos.

Objetivos: Establecer las condiciones de propagación por injerto de individuos de *Quercus affinis* tolerantes al ataque de *A. quercuslaurinus*.

Materiales y métodos: Se recolectaron varetas de cinco fenotipos tolerantes y cinco susceptibles. Se realizaron homoinjertos (púas de *Q. affinis* sobre patrones de *Q. affinis*) y heteroinjertos (*Q. affinis* sobre *Q. rugosa* Née) con las técnicas de hendidura terminal y enchapado lateral. Se realizaron pruebas en cinco fechas y con materiales de edad distinta. El prendimiento de los injertos se evaluó con ANOVA y pruebas de Tukey ($P = 0.05$). La probabilidad de prendimiento se determinó con el ajuste del modelo de tiempo de fallo acelerado de Weibull.

Resultados y discusión: Se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$) en el prendimiento de injertos por efecto del fenotipo. La probabilidad de prendimiento de injertos con varetas de árboles tolerantes fue 166 % mayor que con varetas de árboles susceptibles. El mayor prendimiento se obtuvo en homoinjertos (90 %) con varetas semileñosas de árboles tolerantes jóvenes (12 años) y heteroinjertos (88 %) con varetas semileñosas de árboles tolerantes adultos (35 y 40 años).

Conclusiones: La propagación de individuos de *Q. affinis* tolerantes al ataque de *A. quercuslaurinus* es posible por medio de homoinjertos (árboles jóvenes) y heteroinjertos (árboles adultos) con patrones de *Q. rugosa*, preferentemente a inicios de otoño.

Palabras clave: avispa agalladora; encino; fenotipo tolerante; plaga forestal; *Quercus rugosa*.

Introduction

The gall wasp *Andricus quercuslaurinus* Melika & Pujade-Villar has two stages in its life cycle: the sexual one that produces galls on leaves and the asexual one that causes galls on branches and generates the downward death of its main host *Quercus affinis* Scheidw. (Melika et al., 2009). Since December 2005, this cynipid insect is responsible for the death of at least 80 % of the natural population of *Q. affinis* in Acaxochitlán, Hidalgo, Mexico (Barrera-Ruiz et al., 2016). The National Forestry Commission (CONAFOR) of Mexico conducted aerial spraying using Spirotetramat insecticide in 2012 and 2015 to decrease the wasp population in the sexual generation (Barrera-Ruiz et al., 2016). From April to November 2018, 1 812.86 ha were affected by the gall wasp. As a result, a phytosanitary contingency was declared, and comprehensive control measures were established for *A. quercuslaurinus* (Sistema Integral de Vigilancia y Control Fitosanitario Forestal [SIVICOFF], 2018).

The extent of the impact is evaluated with descriptive keys or rating scales. These keys have scales with levels that translate to percentage and degrees of resistance and qualitative levels such as mild, moderate and high (Alfenas et al., 2009). Pujade-Villar et al. (2018) indicate that wasp control, in the long term, can be achieved with management by resistance or tolerance to attack. In this regard, Velasco-González (2019) determined that 14 % of the *Q. affinis* population of the ranch La Victoria, Acaxochitlán, Hidalgo, is tolerant to the pest.

Vegetative propagation helps to generate attack-resistant individuals, because they retain the genotypic characteristics of the donor tree (Hartmann et al., 2014). In addition, grafting shortens the period for seed production and establishment of seed orchards of *Q. affinis* resistant to gall wasp (Kita et al., 2018; Loewe-Muñoz et al., 2022). The objective of the present study was to establish the necessary conditions for grafting of *Q. affinis* individuals tolerant to *A. quercuslaurinus* attack.

Materials and Methods

Study Area

The scions were collected at the private property La Victoria, Acaxochitlán, Hidalgo, central point at coordinates 20° 10' 07.16" N and 98° 11' 54.00" W at 2 164 m elevation. Ten juvenile and mature *Q. affinis* ortets (donor trees) were selected: five tolerant and five susceptible to *Andricus quercuslaurinus* attack. The adult trees were 35 to 40 years old with averages of 30 m in height and 95 cm to 120 cm in diameter. The young trees were 12 years old with 10 to 15 cm in diameter and 8 to 10 m in height.

Introducción

La avispa agalladora *Andricus quercuslaurinus* Melika & Pujade-Villar presenta dos etapas en su ciclo de vida: la sexual que produce agallas en las hojas y la asexual que causa agallas en las ramas y generan la muerte descendente de su principal hospedante *Quercus affinis* Scheidw. (Melika et al., 2009). Desde diciembre del 2005, este insecto cinípido es el responsable de la muerte de al menos 80 % de la población natural de *Q. affinis* en Acaxochitlán, Hidalgo, México (Barrera-Ruiz et al., 2016). La Comisión Nacional Forestal (CONAFOR) realizó aspersiones aéreas del insecticida Spirotetramat en 2012 y 2015 para disminuir la población de la avispa en la generación sexual (Barrera-Ruiz et al., 2016). De abril a noviembre de 2018 se atendieron 1 812.86 ha afectadas por la avispa agalladora, por lo que se declaró contingencia fitosanitaria y se establecieron medidas de control integral de *A. quercuslaurinus* (Sistema Integral de Vigilancia y Control Fitosanitario Forestal [SIVICOFF], 2018).

La dimensión de afectación se evalúa con claves descriptivas o escalas de calificación. Estas claves tienen escalas con niveles que se traducen a porcentaje y grados de resistencia y niveles cualitativos como leve, moderado y alto (Alfenas et al., 2009). Pujade-Villar et al. (2018) indican que el control de la avispa, a largo plazo, puede lograrse con el manejo por resistencia o tolerancia al ataque. Al respecto, Velasco-González (2019) determinó que 14 % de la población de *Q. affinis* del rancho La Victoria, Acaxochitlán, Hidalgo, es tolerante a la plaga.

La propagación vegetativa contribuye a generar individuos resistentes al ataque, ya que estos conservan las características genotípicas del árbol donante (Hartmann et al., 2014). Además, los injertos acortan el periodo para la producción de semilla y el establecimiento de huertos semilleros de *Q. affinis* resistente a la avispa agalladora (Kita et al., 2018; Loewe-Muñoz et al., 2022). El objetivo del presente trabajo fue establecer las condiciones necesarias para la propagación mediante injerto de individuos de *Q. affinis* tolerantes al ataque de *A. quercuslaurinus*.

Materiales y métodos

Área de estudio

Las púas se recolectaron en el predio particular La Victoria, Acaxochitlán, Hidalgo, punto central en las coordenadas 20° 10' 07.16" N y 98° 11' 54.00" O a 2 164 m de elevación. Se seleccionaron 10 ortetos (árboles donantes) juveniles y maduros de *Q. affinis*: cinco tolerantes y cinco susceptibles al ataque de *Andricus quercuslaurinus*. Los árboles adultos tenían entre 35 y 40 años con promedios de 30 m de altura y 95 cm a

Incidence scale of the *Andricus quercuslaurinus* attack

The incidence of wasp attack was defined according to crown transparency and the appearance of epicormic buds on stem and branches. Using representative images of the attacked trees, a scale with six damage classes was established. Classes 1 and 2 were considered tolerant phenotypes and classes 3, 4, 5 and 6 susceptible phenotypes to *A. quercuslaurinus* attack (Table 1; Figure 1).

120 cm de diámetro. Los árboles jóvenes tenían 12 años con 10 a 15 cm de diámetro y 8 a 10 m de altura.

Escala de incidencia del ataque de *Andricus quercuslaurinus*

La incidencia de ataque de la avispa se definió en función de la transparencia de copa y la aparición de brotes epicórmicos en fuste y ramas. Con el apoyo de fotografías representativas de los árboles atacados, se estableció una escala con seis clases de daño. La

Table 1. Characteristics of the damage assessment scale in *Quercus affinis* caused by *Andricus quercuslaurinus*.

Cuadro 1. Características de la escala de evaluación de daño en *Quercus affinis* causado por *Andricus quercuslaurinus*.

Scale/ Escala	Crown transparency (%)/ Transparencia de copa (%)	Shoots on stem and branches/ Brotos en fuste y ramas
1	0-10	No epicormic shoots/Sin brotes epicórmicos
2	11-20	With or without epicormic shoots/Con o sin brotes epicórmicos
3	21-40	With or without epicormic shoots/Con o sin brotes epicórmicos
4	41-50	With epicormic sprouts/Con brotes epicórmicos
5	51-99	With epicormic sprouts/Con brotes epicórmicos
6	100	Dead tree/Árbol muerto



Figure 1. Qualitative scale of attack by *Andricus quercuslaurinus* according to crown transparency and appearance of epicormic shoots on *Quercus affinis*: 1) low attack; 2) moderate-low attack, appearance of epicormic shoots and crown decline; 3) moderate-medium attack, presence of epicormic shoots in stem and crown transparency; 4) moderate-high attack, epicormic shoots in crown and high transparency; 5) high attack, downward death of the crown with epicormic shoots in stem; 6) severe attack, downward death of the tree without appearance of epicormic shoots in stem.

Figura 1. Escala cualitativa de ataque de *Andricus quercuslaurinus* en función de la transparencia de copa y aparición de brotes epicórmicos en *Quercus affinis*: 1) ataque bajo; 2) ataque moderado-bajo, aparición de brotes epicórmicos y disminución de copa; 3) ataque moderado-medio, presencia de brotes epicórmicos en fuste y transparencia de copa; 4) ataque moderado-alto, brotes epicórmicos en la copa y transparencia alta; 5) ataque alto, muerte descendente de la copa con brotes epicórmicos en el fuste; 6) ataque severo, muerte descendente del árbol sin aparición de brotes epicórmicos en el fuste.

Grafting on *Quercus affinis*

The experiment was carried out in a greenhouse of the nursery of the Postgraduate Forestry Sciences Department of the Colegio de Postgraduados in Texcoco, Estado de Mexico, located at 19° 27' 38.25" N and 98° 54' 23.91" W at an altitude of 2240 m above sea level.

Three experiments of apical fissure (experiment 1, 4 and 5) and two of side-veneer (experiments 2 and 3) grafts were carried out (Table 2). Grafting was carried out with herbaceous, semi-woody and woody scions of tolerant and susceptible phenotypes. The number

clase 1 y 2 se consideraron fenotipos tolerantes y las clases 3, 4, 5 y 6 fenotipos susceptibles al ataque de *A. quercuslaurinus* (Cuadro 1; Figura 1).

Injertos en *Quercus affinis*

El experimento se hizo en un invernadero del vivero del Postgrado en Ciencias Forestales del Colegio de Postgraduados en Texcoco, Estado de México, ubicado en 19° 27' 38.25" N y 98° 54' 23.91" O a 2240 m de altitud.

Se realizaron tres experimentos de injertos de hendidura apical (experimento 1, 4 y 5) y dos de enchapado lateral (experimentos 2 y 3) (Cuadro 2). Los

Table 2. Phenotypes, rootstock and scion characteristics in *Quercus affinis* grafts.

Cuadro 2. Fenotipos, portainjertos y características de varetas en injertos de *Quercus affinis*.

Experiment/ Experimento	Datum/ Fecha	Phenotypes/ Fenotipos	Grafts/ Portainjerto	Number of grafts/ Número de injertos	Type of scion/ Tipo de varetas	Type of bud/ Tipo de yemas
1	2020-09-08	1FT	<i>Q. affinis</i>	15	Semiwoody from young trees/ Semileñosas de árboles jóvenes	Large buds at the end of dormancy (light green)/ Yemas grandes al final de la latencia (verde claro)
		2FT	<i>Q. affinis</i>	10		
		1FS	<i>Q. affinis</i>	15		
		2FS	<i>Q. affinis</i>	10		
2	2020-10-08	3FT	<i>Q. affinis</i>	10	Herbaceous with basal shoots/ Herbáceas de brotes basales	Small buds with long internodes (light green)/ Yemas pequeñas con entrenudos largos (verde claro)
		3FS	<i>Q. affinis</i>	10		
3	2020-11-10	4FT	<i>Q. affinis</i>	20	Semiwoody of adult trees/ Semileñosas de árboles adultos	Large buds without budding (green- brown)/ Yemas grandes sin brotar (verde-marrón)
		5FT	<i>Q. affinis</i>	10		
		4FS	<i>Q. affinis</i>	20		
		4FS	<i>Q. affinis</i>	10		
4	2021-03-04	4FT	<i>Q. affinis</i>	20	Semiwoody of adult trees/ Leñosas de árboles adultos	Large buds in final dormancy (dark green)/ Yemas grandes en latencia final (verde oscuro)
		4FS	<i>Q. affinis</i>	20		
5	2021-09-28	4FT	<i>Q. rugosa</i>	16	Semiwoody of adult trees/ Semileñosas de árboles adultos	Large buds and at the end of dormancy (light green)/ Yemas grandes y al final de latencia (verde claro)
		5FT	<i>Q. rugosa</i>	16		
		4FT	<i>Q. affinis</i>	16		
		5FT	<i>Q. affinis</i>	16		

of grafts per donor tree varied because many scions were thin and small budded, i.e., lacked vigor and were also lignified. The selected scions had high vigor, semi-woody consistency, short internodes and large buds at the end of dormancy. The tolerant and susceptible trees were grafted equally. Three experiments were conducted in 2020 (summer: 8 September, 8 October and 10 November) and two in 2021 (winter [4 March] and autumn [28 September]).

Collection and preparation of scions

In young and adult trees, scions were collected from the top of the canopy on twigs from the last year of growth. Basal shoots were obtained from 12-year-old trees felled in February; eight months later, stumps had herbaceous and lignified shoots. Scions were placed in sealed Ziploc® bags and placed in coolers with cooling material. Prior to grafting, the scions were cut to 10 cm in length with three or four knots. The scions were washed with toothbrush (to avoid damaging the buds) and Roma® soap powder; subsequently, they were rinsed with distilled water and disinfested for 10 min in solution with Tilt® 250CE fungicide (Propiconazole) at a dose of 5 mL·L⁻¹ of water. Two leaves cut in half were left on each scion to reduce transpiration and dehydration. The scions were placed on paper sheets to dry under shade and stored in icebox until grafting.

Rootstock preparation

In the first four experiments, eight-month-old *Q. affinis* plants were used as rootstock and in the fifth experiment, *Q. rugosa* and *Q. affinis* rootstocks (Table 1). The seed used to produce *Q. affinis* rootstocks was obtained from the GUMAIR nursery in the region of Acaxochitlán, Hidalgo. Transplanting was done after six months in 4 L bags with a substrate based on 60 % of oak bark and 40 % of composted pine bark. At the time of grafting, the rootstocks measured 50 cm in height and 1.5 cm in average diameter. The *Q. rugosa* rootstocks were two years old, 50 cm in height and 2 cm in average diameter and were in 2 L black polyethylene bags with a substrate mixture of oak bark and compost in a 3:1 ratio. The plant was produced at the Finca M Y M SPR de RL nursery in Zacatlán, Puebla, located at 19° 59' 48.43" N and 97° 59' 26.56" W.

Yara® (DAP) 18-46-00 (N-P-K) slow-release fertilizer plus micronutrients (1 g·L⁻¹) and *Trichoderma harzianum* strain ISF13 (2.5 x 10⁴ conidia·mL⁻¹) dissolved in water were applied to each rootstock. Subsequently, lateral branches were removed from the rootstocks and the apical shoot was left. Quaternary ammonium salts were applied as a disinfectant in the area where the cutting was performed.

injertos se hicieron con varetas herbáceas, semileñosas y leñosas de fenotipos tolerantes y susceptibles. La cantidad de injertos por árbol donante varió debido a que muchas púas eran delgadas y de yemas pequeñas; es decir, sin vigor y, además, lignificadas. Las varetas seleccionadas tenían vigor alto, consistencia semileñosa, entrenudos cortos y yemas grandes en el final de su latencia. En los árboles tolerantes y susceptibles se realizaron la misma cantidad de injertos. Tres experimentos se realizaron en 2020 (verano: 8 de septiembre, 8 de octubre y 10 de noviembre) y dos en 2021 (invierno [4 de marzo] y otoño [28 de septiembre]).

Recolección y preparación de varetas

En los árboles jóvenes y adultos, las varetas se recolectaron de la parte superior de la copa en ramillas del último año de crecimiento. Los brotes basales se obtuvieron de árboles de 12 años derribados en febrero; ocho meses después, los tocones tenían brotes herbáceos y lignificados. Las varetas se colocaron en bolsas Ziploc® selladas y en hielera con material refrigerante. Antes del injertado, las varetas se cortaron a 10 cm de longitud con tres o cuatro nudos. Las púas se lavaron con cepillo dental (para no dañar las yemas) y jabón en polvo Roma®; posteriormente, se enjuagaron con agua destilada y se desinfectaron durante 10 min en solución con fungicida Tilt® 250CE (Propiconazol) a dosis de 5 mL·L⁻¹ de agua. Dos hojas cortadas a la mitad se dejaron en cada vareta para reducir la transpiración y deshidratación. Las varetas se colocaron sobre hojas de papel para secarlas bajo sombra y se guardaron en hielera hasta ser injertadas.

Preparación de portainjertos

En los primeros cuatro experimentos se usaron plantas de *Q. affinis* de ocho meses como portainjerto y en el quinto experimento se utilizaron patrones de *Q. rugosa* y *Q. affinis* (Cuadro 1). La semilla con la que se produjeron los portainjertos de *Q. affinis* se obtuvo en el vivero GUMAIR en la región de Acaxochitlán, Hidalgo. El trasplante se hizo a los seis meses en bolsas de 4 L con sustrato a base de 60 % de enlame de encino y 40 % de corteza de pino composteada. Al momento del injertado, los portainjertos midieron 50 cm de altura y 1.5 cm de diámetro promedio. Los patrones de *Q. rugosa* tenían dos años, 50 cm de altura y 2 cm de diámetro promedio, y se encontraban en bolsas de polietileno negro de 2 L con una mezcla de sustrato de enlame de encino y composta en proporción 3:1. La planta se produjo en el vivero Finca M Y M SPR de RL en Zacatlán, Puebla, ubicada en 19° 59' 48.43" N y 97° 59' 26.56" O.

A cada portainjerto se le aplicó fertilizante de liberación lenta Yara® (DAP) 18-46-00 (N-P-K) más micronutrientes

Grafting technique and management

In experiments 1, 4 and 5, the terminal fissure was used and in 2 and 3, side-veneer grafting was performed with Victorinox® knife (Table 2). The wound was secured with Parafilm®. The graft was covered with a plastic bag saturated with humidity, tied at the bottom to maintain the microclimate. Irrigations were made every four days and *T. harzianum* strain ISF13 was applied at a concentration 2.5×10^4 conidia·mL⁻¹ at the time of grafting and 20 days later. Fertigation was done with YaraMila COMPLEX and DAP (5 g·L⁻¹ both), alternating every 15 days in the first month after grafting and every 30 days for the next three months. Shoots that emerged from the rootstock were cut to reduce competition for water and nutrients with the grafted scion. To avoid dehydration of the graft buds, the microclimate was removed progressively: first one corner above the plastic bag was cut off, on the fourth day the opposite corner was cut off, and on the eighth day it was removed completely. The Parafilm® was removed when diameter growth was observed at the graft union.

Experimental Design and Statistical Analysis

The experiments were established under a completely randomized experimental design, with one graft as experimental unit and different replicates per treatment: 25, 10, 30, 20 and 32 from the first to the fifth experiment, respectively.

The assumptions of normality and homogeneity of variances were verified using the Proc Univariate (Shapiro Wilk) and Proc GLM (Levene Test) procedures. In each experiment, differences in graft success between phenotypic classes were identified using ANOVA with the GLM procedure of SAS (SAS Institute, 2001). Subsequently, mean comparison tests were performed with Tukey's method ($P \leq 0.05$).

Grafting Success Rate Analysis

To analyze the average graft success time, the Weibull accelerated failure time model was fitted: $\ln(T) = \alpha + \delta x + \sigma \varepsilon$; where, $\ln(T)$ = natural logarithm of the average graft success time; α , δ and σ = shape, estimation and scale parameters of the model, respectively. δ takes values of $-\infty|\infty$, therefore, this value determines the effect of the independent variable (x) on the average graft success time (Kundu et al., 2019).

Furthermore, the hazard ratio (HR) was adjusted to assess the likelihood of graft success: $HR = [te^{-(\beta x)}]^{(\lambda-1)}$; where, β and λ are the estimator and shape parameter of the model, respectively (Pérez-Luna et al., 2020). If $\lambda > 1$, the value of HR increases, and it decreases if $\lambda < 1$ (Ghorbani et al., 2016; Zhang 2016).

(1 g·L⁻¹) y *Trichoderma harzianum* cepa ISF13 (2.5×10^4 conidios·mL⁻¹) disueltos en agua. Posteriormente, las ramillas laterales se eliminaron de los portainjertos y se dejó el brote apical. Se aplicaron sales cuaternarias de amonio como desinfectante en el área donde se efectuó el corte.

Técnica y manejo de injerto

En los experimentos 1, 4 y 5 se utilizó la técnica de hendidura superior (fisura terminal) y en el 2 y 3 se realizó enchapado lateral con navaja Victorinox® (Cuadro 2). La herida se sujetó con Parafilm®. El injerto se cubrió con una bolsa de plástico saturada de humedad, amarrada por la parte inferior para mantener el microclima. Los riegos se hicieron cada cuatro días y se aplicó *T. harzianum* cepa ISF13 en una concentración 2.5×10^4 conidios·mL⁻¹ al momento del injertado y 20 días después. Los fertirriegos se hicieron con YaraMila COMPLEX y DAP (5 g·L⁻¹ ambos), alternados cada 15 días en el primer mes posterior al injertado y cada 30 días durante los tres meses siguientes. Los brotes que emergieron del portainjerto se cortaron para disminuir la competencia por agua y nutrientes con la vareta injertada. Para evitar la deshidratación de las yemas del injerto, el microclima se eliminó de forma progresiva: primero se cortó una esquina superior a la bolsa de plástico, al cuarto día se cortó la esquina opuesta y al octavo día se retiró por completo. El Parafilm® se eliminó cuando se observó el crecimiento del diámetro en la unión.

Diseño experimental y análisis estadístico

Los experimentos se establecieron bajo un diseño experimental completamente al azar, con un injerto como unidad experimental y diferentes repeticiones por tratamiento: 25, 10, 30, 20 y 32 del primero al quinto experimento, respectivamente.

Los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas se verificaron mediante los procedimientos Proc Univariate (Shapiro Wilk) y Proc GLM (Levene Test). En cada experimento, las diferencias en el prendimiento entre clases de fenotipos se identificaron con un análisis de varianza con el procedimiento GLM de SAS (SAS Institute, 2001). Posteriormente, se hicieron pruebas de comparación de medias con el método de Tukey ($P \leq 0.05$).

Análisis de la velocidad de prendimiento de injertos

Para analizar el tiempo promedio de prendimiento de los injertos se ajustó el modelo de tiempo de fallo acelerado de Weibull: $\ln(T) = \alpha + \delta x + \sigma \varepsilon$; donde, $\ln(T)$ = logaritmo natural del tiempo promedio de prendimiento; α , δ y σ = parámetros de forma, estimación y escala del modelo, respectivamente. δ toma valores de $-\infty|\infty$, por

The model uses Dummy variables to predict HR, including censoring variables (individuals that did not experience the evaluated event -graft success) (Pérez-Luna et al., 2020). Hence, successful grafts were coded as one (1), and unsuccessful grafts (censored) were coded as zero (0). The tolerance scale and age of the donor tree for scion were coded as follows: grafts with scions from tolerant trees (0) and susceptible trees (1); grafts with scions from young trees (0) and adult trees (1). Adjustments were made using the LIFEREG procedure in SAS v9.5 (SAS Institute, 2013).

Results

In the first experiment conducted on September 8, 2020, budbreak began in the second week and ended in the fourth week after grafting. In tolerant trees, grafting success was 13 and 90 %; in susceptible trees, 60 and 80 % (Figure 2A). The graft success was affected by the source (donor plant) from which the material was obtained. The successful grafts generated an average of four to five shoots. The leaves developed to a size similar to those of adult trees and were bright green in color.

In the second experiment on October 8, 2020, graft success differed due to the effect of the donor tree: 60 % in the tolerant and 50 % in the susceptible (Figure 2B).

lo cual, dicho valor determina el efecto de la variable independiente (x) sobre el tiempo promedio de prendimiento (Kundu et al., 2019).

Asimismo, el modelo de proporción de riesgo (*hazard ratio*, HR) se ajustó para evaluar la probabilidad de prendimiento: $HR = [te^{(-\beta x)}]^{(\lambda-1)}$; donde, β y λ son el estimador y parámetro de forma del modelo, respectivamente (Pérez-Luna et al., 2020). Si $\lambda > 1$, el valor de HR aumenta y este disminuye si $\lambda < 1$ (Ghorbani et al., 2016; Zhang 2016). El modelo utiliza variables Dummy para predecir HR, entre las que se incluyen variables censura (individuos que no presentaron el evento evaluado-prendimiento) (Pérez-Luna et al., 2020). Por ello, los injertos prendidos se codificaron con uno (1) y los injertos sin prendimiento (censuras) con cero (0). Las variables escala de tolerancia y edad del árbol donante de púas se codificaron de la siguiente forma: injertos con púas de árboles tolerantes (0) y susceptibles (1); injertos con púas árboles jóvenes (0) y adultos (1). Los ajustes se realizaron con el procedimiento LIFEREG del programa SAS v9.5 (SAS Institute, 2013).

Resultados

En el primer experimento realizado el 8 de septiembre del 2020, la brotación inició en la segunda semana y terminó a la cuarta después de la injertación. En los

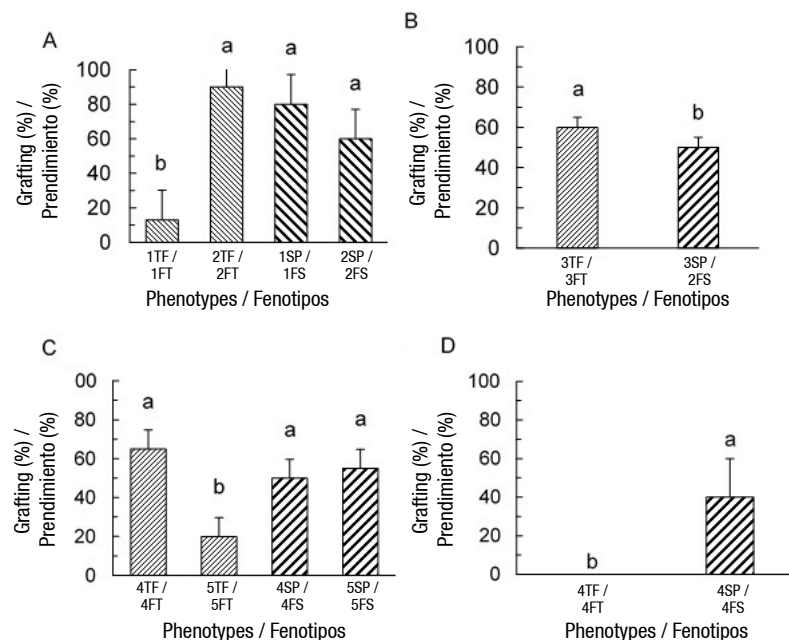


Figure 2. Average grafting and standard error in *Quercus affinis* grafts with A) semi-woody scions from 12-year-old trees, B) basal scions, C) semiwoody scions from adult trees and D) woody scions from adult trees. TP = tolerant phenotype, SP = susceptible phenotype. Different letters indicate statistical differences according to Tukey's test ($P < 0.05$).

Figura 2. Prendimiento promedio y error estándar en injertos de *Quercus affinis* con A) varetas semileñosas de árboles de 12 años, B) varetas basales, C) varetas semileñosas de árboles adultos y D) varetas leñosas de árboles adultos. FT = fenotipo tolerante, FS = fenotipo susceptible. Letras diferentes indican diferencias estadísticas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

The first shoots were observed one month after grafting, and the last ones sprouted after two months. A particular characteristic of this type of material was the homogeneous union of the graft. The shoots were vigorous, and the leaves grew 40 % larger and wider compared to normal leaves.

Two weeks after the third experiment conducted on November 10, 2020, the scions showed a dark brown tone on the stem, which was considered non-viable, but they remained firm. The sprouting of the semiwoody scions of adult trees began one month after grafting, and the last buds sprouted after three months. The grafts that budded in the first and second months grew moderately with small-sized leaves, while the grafts that budded in the third month grew 50 % more vigorously with large and wide leaves. Graft success was 20 % and 70 % in tolerant phenotypes and 50 % and 60 % in susceptible ones (Figure 2C). The grafting season affected the graft success of *Q. affinis*, as grafts performed in November took longer to bud (one to three months).

In the fourth experiment, on March 4, 2021, there was only successful grafting on the grafts with scions from the susceptible tree at 40 %. Bud sprouting began from the second week after grafting and extended up to six weeks. Two to three vigorous and fast-growing shoots were obtained in each graft. This experiment had the longest shoots in the shortest time, with large leaves and light green color.

In the fifth experiment, on September 28, 2021, phenotype affected grafting. The first buds sprouted from the third week and the last ones at seven weeks. Scions of the 4TP tree had 19 % grafting on *Quercus affinis* rootstocks and 31 % on *Q. rugosa*; on the 5TP tree, 44 % on *Q. affinis* and 88 % on *Q. rugosa*. Leaves grew strong and had good size (Figure 3).

Fitting the Weibull accelerated time model

A significant effect of donor tree age and tolerance scale on the time and probability of grafting was found (Table 3). When developing the accelerated failure time equation, it was estimated that grafting occurred on average at 98 and 41 days in grafts made with scions from adult and young trees, respectively. Grafting success rate was low for the two ages of the ortets, which decreased by 61 and 85 % in grafts made with adult and juvenile scions.

On the other hand, it was calculated that grafting occurred on average at 50 and 92 days in grafts made with scions from susceptible and tolerant trees, respectively. Grafting success rate was estimated to be high for both types of tolerance in *Q. affinis* trees. Grafting success rate with scions from tolerant trees was 166 % higher than that of grafting with scions from susceptible trees.

árboles tolerantes, el prendimiento de los injertos fue de 13 y 90 %; en los susceptibles, 60 y 80 % (Figura 2A). El prendimiento fue influenciado por la fuente (planta donadora) de donde se obtuvo el material. Los injertos prendidos generaron de cuatro a cinco brotes en promedio. Las hojas se desarrollaron del tamaño similar a las de árboles adultos de color verde brillante.

En el segundo experimento del 8 de octubre del 2020, el prendimiento difirió por efecto del árbol donante: 60 % en el tolerante y 50 % en el susceptible (Figura 2B). Los primeros brotes se observaron un mes después del injerto y los últimos brotaron a los dos meses. Una particularidad en este tipo de material fue la unión homogénea del injerto. Los brotes fueron vigorosos, las hojas crecieron 40 % más grandes y anchas respecto a las hojas normales.

Dos semanas después de haber realizado el tercer experimento del 10 de noviembre de 2020, las varetas mostraron tono marrón oscuro en el tallo, por lo que se consideraban inviables, pero se mantenían turgentes. La brotación de las varetas semileñosas de árboles adultos iniciaron un mes después del injerto y a los tres meses brotaron las últimas yemas. Los injertos que brotaron el primer y segundo mes crecieron moderadamente con hojas de tamaño pequeño, mientras que los injertos que brotaron al tercer mes crecieron 50 % más vigorosos con hojas grandes y anchas. El prendimiento fue de 20 y 70 % en fenotipos tolerantes y 50 y 60 % en susceptibles (Figura 2C). La época de injertado afectó el prendimiento de los injertos de *Q. affinis*, ya que los injertos realizados en noviembre tardaron mayor tiempo en brotar (uno a tres meses).

En el cuarto experimento, del 4 de marzo de 2021, solo hubo prendimiento en los injertos con varetas del árbol susceptible con 40 %. La brotación de las yemas inició a partir de la segunda semana de realizar el injerto y se extendió hasta las seis semanas. Se obtuvieron dos y tres brotes en cada injerto, vigorosos y de crecimiento rápido. Este experimento tuvo los brotes de mayor longitud en menor tiempo, con hojas grandes y color verde claro.

En el quinto experimento, injertos realizados el 28 de septiembre del 2021, el fenotipo influyó en el prendimiento. Las primeras yemas brotaron a partir de la tercera semana y las últimas a las siete semanas. Las varetas del árbol 4FT tuvieron 19 % de prendimiento en portainjertos de *Quercus affinis* y 31 % en *Q. rugosa*; en el árbol 5FT, 44 % en *Q. affinis* y 88 % en *Q. rugosa*. Las hojas crecieron vigorosas y de buen tamaño (Figura 3).

Ajuste del modelo de tiempo acelerado de Weibull

Se encontró efecto significativo de la edad del árbol donante y la escala de tolerancia en el tiempo y probabilidad de prendimiento de los injertos (Cuadro 3).

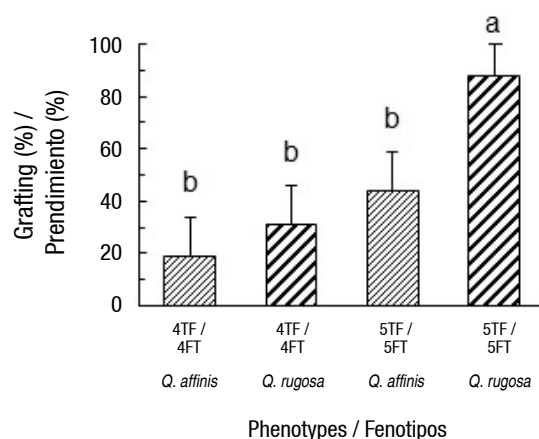


Figure 3. Average grafting and standard error of *Quercus rugosa* and *Quercus affinis* rootstock grafted with semi-woody scions from two tolerant adult trees. Different letters indicate statistical differences according to Tukey's test ($P < 0.05$).

Figura 3. Prendimiento promedio y error estándar de injertos con portainjertos de *Quercus rugosa* y *Quercus affinis* con varetas semileñosas de dos árboles adultos tolerantes. Letras diferentes indican diferencias estadísticas de acuerdo con la prueba de Tukey ($P < 0.05$).

Table 3. Fit parameters and hazard ratio values of the accelerated Weibull time-failure model.

Cuadro 3. Parámetros de ajuste y valores de razón de riesgo del modelo de tiempo fallo acelerado de Weibull.

Variable	Estimates/Estimadores			Hazard ratio (HR)	Grafting success rate/ Probabilidad de prendimiento [% = (HR -1) * 100]
	α	β	Scale		
Age/Edad	6.37	-0.86	-0.91	0.15	-85
Scale/Escala	4.27	0.60	-0.96	3.51	251

Discussion

The damage scales, based on a series of illustrations with symptoms of the pest at different levels of intensity in the whole plant, stem, crown and shoots, are suitable for the evaluation of the damage caused and the planning of future remediation (Alfenas et al., 2009). This information allowed the rescue and propagation of tolerant individuals, which have not been affected in their growth and development by the wasp.

Grafting success rate with scions from tolerant and susceptible trees was contrasting; likewise, greater vigor and turgidity were observed in scions collected from trees tolerant to the attack of *A. quercuslaurinus*. Almqvist (2013) indicates that the morphology, anatomy, and physiology of both the scion and the rootstock are determining factors for grafting success.

Fast grafting success is mainly due to the correct adhesion of parenchymal tissues, which promotes early union between scion and rootstock (Pina et al., 2012). For *Q. affinis*, grafting occurred at two weeks with semiwoody scions from young trees (12 years old) in early autumn. The first evidence of union between

Al desarrollar la ecuación de tiempo de fallo acelerado, se estimó que el prendimiento ocurrió en promedio a los 98 y 41 días en injertos realizados con varetas de árboles adultos y jóvenes, respectivamente. La probabilidad de prendimiento fue baja para las dos edades de los ortetos, la cual disminuyó 61 y 85 % en los injertos realizados con varetas de árboles adultos y jóvenes.

Por otra parte, se calculó que el prendimiento ocurre en promedio a los 50 y 92 días en injertos realizados con varetas de árboles susceptibles y tolerantes, respectivamente. La probabilidad de prendimiento se estimó alta para los dos tipos de tolerancia en los árboles de *Q. affinis*. La probabilidad de prendimiento de injertos con varetas de árboles tolerantes fue 166 % mayor con respecto al prendimiento de injertos realizados con varetas de árboles susceptibles.

Discusión

Las escalas de daño, a partir de una serie de ilustraciones con síntomas de la plaga en niveles diferentes de intensidad en la planta entera, fuste, copa y ramillas, resultan adecuadas para la evaluación de los daños ocasionados y planeación de saneamientos a futuro (Alfenas et al., 2009). Tal información permitió

scion and rootstock is the formation of callus, which functions as a weld between both organs (Castro-Garibay et al., 2017; Venturini & López, 2010). The species *Q. affinis* has aptitudes to be propagated by grafting given its capacity for callus generation in all the experiments developed in this study.

To obtain basal shoots of *Q. affinis* it is necessary to cause a wound, either in the roots or at the base of the stem, a practice that promotes the generation of auxins and, consequently, the growth of vigorous shoots with long internodes, herbaceous texture and small buds (Alfonso-Corrado et al., 2004; Cabrera-Ramírez et al., 2022). However, in the experiment, shoots appeared at approximately two months and generated few buds per scion, which reduced the number of scions available for grafting. On the other hand, the use of herbaceous scions allowed homogeneous union (callus formation in the tie area), which is possible because of the metabolic activity of scions grafted and sprouted buds (Hartmann et al., 2014).

The auxin/cytokinin ratio plays an important role in vascular regeneration within the graft union zone; when the donor plants are young trees, callus generation is higher (Goldschmidt, 2014). *Quercus eduardii* Trel. and *Q. potosina* Trel. have been observed to be able to multiply by basal shoots naturally (Alfonso-Corrado, 2004). This type of material is ontogenetically younger as was the case in the second experiment on October 8, 2020; in addition, the buds of the grafted scions remained in final dormancy, which promoted the growth of the shoots after grafting (Gómez et al., 2017).

Woody shoots from adult trees grafted in March had greater elongation. This demonstrates that scion physiology significantly influences the growth of grafts of this *Quercus* species. Conversely, with pines, it has been observed that scions from young trees have rapid elongation and abundant branching, while scions from older trees do not exhibit the same level of elongation and branching (Pérez-Luna et al., 2019; Velisevich et al., 2021).

In this regard, it was observed that the growth of oak grafts is influenced by the age of the donor tree, the phenological stage, and the size of the bud. Therefore, when the donor tree is closer to the peak of ontogenetic growth, the branches of the grafted scion are more elongated and abundant (Day & Greenwood, 2011). On the other hand, interspecific grafts facilitate the combination of characteristics from both the scion and the rootstock of another species to produce a plant with better performance (Loewe-Muñoz et al., 2019). This is often done primarily in fruit trees to take advantage

el rescate y la propagación de los individuos tolerantes, los cuales no han sido afectados en su crecimiento y desarrollo por la avispa.

El porcentaje de prendimiento de injertos con varetas de árboles tolerantes y susceptibles fue contrastante; asimismo, se observó mayor vigor y turgencia en las púas recolectadas de árboles tolerantes al ataque de *A. quercuslaurinus*. Almqvist (2013) señala que la morfología, anatomía y fisiología de la varetta y el portainjerto son factores determinantes para el prendimiento de los injertos.

El prendimiento rápido de un injerto se debe principalmente a la adhesión correcta de los tejidos parenquimatosos, lo que promueve la unión temprana entre la varetta y el portainjerto (Pina et al., 2012). En *Q. affinis*, el prendimiento ocurrió a las dos semanas con varetas semileñosas de árboles jóvenes (12 años) a inicios de otoño. La primera evidencia de unión entre la varetta y el portainjerto es la formación de callo, el cual funciona como soldadura entre ambos órganos (Castro-Garibay et al., 2017; Venturini & López, 2010). La especie *Q. affinis* tiene aptitudes para ser propagada por injerto dada su capacidad para la generación de callo en todos los experimentos desarrollados en este trabajo.

Para obtener brotes basales de *Q. affinis* es necesario causar una herida, ya sea en las raíces o en la base del fuste, práctica que promueve la generación de auxinas y, por consiguiente, el crecimiento de brotes vigorosos con entrenudos largos, textura herbácea y yemas pequeñas (Alfonso-Corrado et al., 2004; Cabrera-Ramírez et al., 2022). No obstante, en el experimento, los brotes aparecieron aproximadamente a los dos meses y generaron pocas yemas por varetta, lo cual redujo el número de púas disponibles para injertos. Por otra parte, el uso de varetas herbáceas permitió la unión homogénea (formación de callo en el área de empate), lo cual es posible por la actividad metabólica de las varetas prendidas y yemas brotadas (Hartmann et al., 2014).

La relación auxina/citocinina juega un papel importante en la regeneración vascular dentro de la zona de unión del injerto; cuando las plantas donadoras son árboles jóvenes, la generación de callo es mayor (Goldschmidt, 2014). Se ha observado que *Quercus eduardii* Trel. y *Q. potosina* Trel. son capaces de multiplicarse por medio de brotes basales de manera natural (Alfonso-Corrado, 2004). Este tipo de material es ontogénicamente más joven como fue en el caso del segundo experimento de 8 de octubre de 2020; además, las yemas de las varetas injertadas se mantuvieron en latencia final, lo que promovió el crecimiento de los brotes después de ser injertados (Gómez et al., 2017).

of species resistant to pests used as rootstocks (Ullon-Chiriguaya et al., 2022).

The use of woody scions prevents obtaining good grafting success, due to the phenological and physiological mismatch with the rootstock (Barrera-Ramírez et al., 2020; Crecente Campo & Fernández Lorenzo, 2008). This study shows the highest grafting success rate and buds with greater vigor in *Q. affinis* grafts with semihardwood scions from both young trees (experiment 1) and adults (experiment 5) using the apical fissure technique. Likewise, it was observed that herbaceous shoots easily lose turgidity.

The grafting season and type of scion influence grafting success in *Q. affinis*. This is because the buds enter a dormant phase due to decreased temperatures, which affects grafting and growth (Hibbert-Frey et al., 2010). Short photoperiods and low temperatures are the main factors influencing bud dormancy induction. This effect depends on the species and physiological age of the trees; however, it is likely that the effect is combined (Valencia-Manzo et al., 2017).

The growth in grafted shoots exhibited a high level of phenotypic variation among grafting seasons. In phenotypes with low grafting, it is advisable to perform serial grafting (obtaining scions from previously grafted trees) to have grafting success (Zaczek et al., 2006). For example, Crecente Campo and Fernández Lorenzo (2008) reported grafting success rate of 27 % in *Q. robur* L. with field scions (first cycle) and 69 % to 95 % between the second and tenth grafting cycles. This is possible because there is greater control of mother plants in the nursery through pruning, irrigation, and fertilization to generate scions with desirable characteristics (Castro-Garibay et al., 2022).

Conclusions

The propagation of *Q. affinis* individuals tolerant to *A. quercuslaurinus* attack is possible through homografts (from young trees: 12 years old) and heterografts (from adult trees: 35 and 40 years old) onto *Q. rugosa* rootstocks. Grafting success rate with scions from tolerant trees was 166 % higher than with scions from susceptible trees. The highest grafting rate in both young and adult trees was obtained in early autumn, while the most vigorous grafts were those performed in early March with scions from adult trees.

Acknowledgments

The first author thanks CONAHCYT for the scholarship granted during her master's studies.

End of English version

Los brotes leñosos provenientes de árboles adultos injertados en marzo tuvieron mayor elongación. Esto demuestra que la fisiología de la varetas influye significativamente en el crecimiento de los injertos de esta especie de *Quercus*. Caso contrario sucede con los pinos, donde se ha observado que las varetas de árboles jóvenes tienen rápida elongación y ramificación abundante, mientras que las varetas provenientes de árboles viejos tienen elongación y ramificación débil (Pérez-Luna et al., 2019; Velisevich et al., 2021).

En este sentido, se observó que el crecimiento de injertos de encino está influenciado por la edad del árbol donante, el estadio fenológico y tamaño de la yema. Por ello, cuando el árbol donante está más cerca del pico de crecimiento ontogenético, más alargada y abundante es la ramificación de las varetas injertadas (Day & Greenwood, 2011). Por otro lado, los injertos interespecíficos facilitan la combinación de las características de la varetas y del portainjerto de otra especie para producir una planta con mejor rendimiento (Loewe-Muñoz et al., 2019). Esto suele realizarse principalmente en frutales para el aprovechamiento de especies resistentes a plagas usadas como portainjerto (Ullon-Chiriguaya et al., 2022).

El uso de varetas leñosas impide obtener buen prendimiento, debido al desfase fenológico y fisiológico con respecto al portainjerto (Barrera-Ramírez et al., 2020; Crecente Campo & Fernández Lorenzo, 2008). En este estudio se observaron los mayores porcentajes de prendimiento y yemas de mayor vigor en injertos de *Q. affinis* con varetas semileñosas de árboles jóvenes (experimento 1) y adultos (experimento 5) con técnica de hendidura apical. Asimismo, se observó que los brotes herbáceos pierden turgencia con facilidad.

La época de injertado y tipo de varetas influye en el prendimiento de los injertos de *Q. affinis*. Esto se debe a que las yemas entran a la fase de letargo por la disminución de la temperatura, la cual influye en el prendimiento y crecimiento del injerto (Hibbert-Frey et al., 2010). El fotoperiodo corto y temperaturas bajas son los principales factores que influyen en la inducción del letargo de yemas. Este efecto depende de la especie y la edad fisiológica de los árboles; sin embargo, es probable que el efecto sea combinado (Valencia-Manzo et al., 2017).

El crecimiento en los brotes injertados mostró nivel alto de variación fenotípica entre las épocas de injertado. En fenotipos con bajo prendimiento es recomendable hacer injertos en serie (obtención de varetas de árboles previamente injertados) para mejorar el prendimiento (Zaczek et al., 2006). Por ejemplo, Crecente Campo y Fernández Lorenzo (2008) reportaron 27 % de prendimiento en *Q. robur* L. con varetas de campo (primer ciclo) y 69 y 95 % entre el segundo y decimo

References / Referencias

- Alfenas, A. C., Valverde-Zauza, A. A., Goncalves-Mafia, R., & Francisco de Assis, T. (2009). *Clonagem e doenças do eucalipto* (2^a ed.). Editora UFV.
- Alfonso-Corrado, C., Esteban-Jiménez, R., Clark-Tapia, R., Piñero, D., Campos, J. E., & Mendoza, A. (2004). Clonal and genetic structure of two Mexican oaks: *Quercus eduardii* and *Quercus potosina* (Fagaceae). *Evolutionary Ecology*, 18(5–6), 585–599. <https://doi.org/10.1007/s10682-004-5145>
- Almqvist, C. (2013). Interstock effects on topgraft vitality and strobili production after topgrafting in *Pinus sylvestris*. *Canadian Journal of Forest Research*, 43(6), 584–588. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0507>
- Barrera-Ramírez, R., Vargas-Hernández, J. J., López-Aguillón, R., Muñoz-Flores, H. J., Treviño-Garza, E. J., & Aguirre-Calderón, O. A. (2020). 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. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2020.05.037>
- Barrera-Ruiz, U. M., Cibrián-Tovar, D., Llanderal-Cázares, M. C. M., Cibrián-Llanderal, V. D., & Lagunes-Tejeda, A. (2016). Chemical combat of gall wasps *Andricus quercuslaurinus* Melika & Pujade-Villar (Cynipidae) in *Quercus affinis* Scheidw. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*, 22(2), 115–123. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2015.05.020>
- Cabrera-Ramírez, R., Jiménez-Casas, M., López-López, M. Á., & Parra-Piedra, J. P. (2022). Manejo nutricional de árboles de pino híbrido y uso de ácido indolbutírico para su clonación por estacas. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 13(69), 132–54. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v13i69.1070>
- Castro-Garibay, S. L., Villegas-Monter, A., & López-Upton, J. (2017). Anatomy of rootstocks and scions in four pine species. *Forest Research: Open Access*, 6(3), 1–6. <https://doi.org/10.4172/2168-9776.1000211>
- Castro-Garibay, S. L., Villegas-Monter, Á., López-Upton, J., Sandoval-Villa, M., & Arévalo-Galarza, L. (2022). Effective protocol to increase the percentage of grafting success of *Pinus greggii* Engelm. var. *australis* Donahue et López. *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales*, 28(2), 225–240. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2021.03.014>
- Crecente Campo, S., & Fernández Lorenzo, J. L. (2008). Injerto en serie acelerado de *Quercus robur* adulto. *Cuaderno Sociedad de Ciencias Forestales*, 24, 45–50. <https://doi.org/10.31167/csef.v0i24.9640>
- Day, M. E., & Greenwood, M. S. (2011). Regulation of ontogeny in temperate conifers. In F. C. Meinzer, T. Dawson, & B. Lachenbruch (Eds.), *Size- and age-related changes in tree structure and function* (pp. 91–232). Springer Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-1242-3_4
- Ghorbani, N., Yazdani-Charati, J., Anvari, K., & Ghorbani, N. (2016). Application of the Weibull accelerated failure time model in the determination of disease-free survival rate of patients with breast cancer. *Iranian Journal of Health Sciences*, 4(2), 11–18. <https://doi.org/10.18869/acadpub.jhs.4.2.11>
- Goldschmidt, E. E. (2014). Plant grafting: New mechanisms, evolutionary implications. *Frontiers in Plant Science*, 5, 1–9. <https://doi.org/10.3389/fpls.2014.00727>
- ciclo de injertado. Esto es posible dado que se tiene mayor control de las plantas madre en vivero mediante podas, riego y fertilización para generar varetas con características deseables (Castro-Garibay et al., 2022).
- ## Conclusiones
- La propagación de individuos de *Q. affinis* tolerantes al ataque de *A. quercuslaurinus* es posible por medio de homoinjertos (árboles jóvenes: 12 años) y heteroinjertos (árboles adultos: 35 y 40 años) con patrones de *Q. rugosa*. La probabilidad de prendimiento de injertos con varetas de árboles tolerantes fue 166 % mayor que con varetas de árboles susceptibles. El mayor porcentaje de prendimiento de injertos en árboles jóvenes y adultos se obtuvo a inicios de otoño, mientras que los injertos más vigorosos fueron los realizados a inicios de marzo con varetas de árboles adultos.
- ## Agradecimientos
- La primera autora agradece al CONAHCYT por la beca otorgada durante sus estudios de maestría.
- ### Fin de la versión en español
- ~~Gómez, B. C. R., Wendling, I., Stuepp, C. A., & Camargo Angero, A.~~ (2017). Rootstock age and growth habit influence top grafting in *Araucaria angustifolia*. *CERNE*, 23(4), 465–471. <https://doi.org/10.1590/01047760201723042447>
- Hartmann, H. T., Kester, D. E. Jr., Davies, F. T., Geneve, R. L. (2014). *Plant propagation principles and practices* (8th ed.). Pearson Education, Inc.
- Hibbert-Frey, H., Frampton, J., Blazich, F. A., & Hinesley, L. E. (2010). Grafting fraser fir (*Abies fraseri*): Effect of grafting date, shade, and irrigation. *Hortscience*, 45(4), 617–620. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.45.4.617>
- Sistema Integral de Vigilancia y Control Fitosanitario Forestal (SIVICOFF). (2018). *Contingencias fitosanitarias, 2018-Hidalgo-SAN3AP0818130001 Avispa Agalladora*. <http://sivicoff.cnf.gob.mx/frmContingenciasOperativas.aspx>
- Kita, K., Kon, H., Ishizuka, W., Agatho, E., & Kuromaru, M. (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 Genetica*, 67(1), 111–116. <https://doi.org/10.2478/sg-2018-0016>
- Kundu, P., Darpe, A. K., & Kulkarni, M. S. (2019). Weibull accelerated failure time regression model for remaining useful life prediction of bearing working under multiple operating conditions. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 134, 106302. <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106302>
- Loewe-Muñoz, V., Balzarini, M., Delard, C., & Álvarez, A. (2019). Variability of stone pine (*Pinus pinea* L.) fruit traits impacting pine nut yield. *Annals of Forest Science*, 76(2), 1–10. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0816-0>
- Loewe-Muñoz, V., Del Río, R., Delard, C., & Balzarini, M. (2022). Enhancing *Pinus pinea* cone production by grafting in a non-

- native habitat. *New Forests*, 53, 37–55. <https://doi.org/10.1007/s11056-021-09842-5>
- Melika, G., Cibrián-Tovar, D., Cibrián-Llenderal, V. D., Tormos, J., & Pujade-Villar, J. (2009). New species of oak gall wasp from Mexico (Hymenoptera: Cynipidae: Cynipini), a serious pest of *Quercus laurina* (Fagaceae). *Dugesiana*, 16(2), 67–73. <https://doi.org/10.32870/dugesiana.v16i2.3932>
- Pérez-Luna, A., Prieto-Ruíz, J. Á., López-Upton, J., Carrillo-Parra, A., Wehenkel, C., Chávez-Simental, J. A., & Hernández-Díaz, J. C. (2019). Some factors involved in the success of side veneer grafting of *Pinus engelmannii* Carr. *Forests*, 10(2), 112. <https://doi.org/10.3390/f10020112>
- Pérez-Luna, A., Wehenkel, C., Prieto-Ruíz, J. Á., López-Upton, J., & Hernández-Díaz, J. (2020). Survival of side grafts with scions from pure species *Pinus engelmannii* Carr. and the *P. engelmannii* × *P. arizonica* Engelm. var. *arizonica* hybrid. *PeerJ*, 8(6), e8468. <https://doi.org/10.7717/peerj.8468>
- Pina, A., Errea, P., & Martens, H. J. (2012). Graft union formation and cell-to-cell communication via plasmodesmata in compatible and incompatible stem unions of *Prunus* spp. *Scientia Horticulturae*, 143, 144–150. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.06.017>
- Pujade-Villar, J., Cibrián-Tovar, D., Barrera-Ruíz, U. M., & Cuesta-Porta, V. (2018). Descripción de una nueva especie de *Andricus* Hartig de México (Hymenoptera: Cynipidae: Cynipini). *Butlletí de la Institución Catalana d' Història Natural*, 83, 29–37.
- Statistical Analysis System Institute. (2013). *SAS computer software v. 9.4*. Cary, NC, USA.
- Ullon-Chiriguaya, F. C., Cárdenas-Carrión, J. A., Valencia-Enríquez, X. P., & Martínez-Sotelo, M. C. (2022). Efecto del injerto de sandía (*Citrullus lanatus*) en zapallo (*Cucurbita maxima*), en etapa de desarrollo. *Revista Científica Multidisciplinar*, 3(2), 25–34. <https://revista.gnerando.org/revista/index.php/RCMG/article/view/34>
- Valencia-Manzo, S., Playas-Ramos, I., Cornejo-Oviedo, E. H., & Flores-López, C. (2017). Patrón de alargamiento del brote terminal en un ensayo de procedencias de *Pinus greggii* Engelm. en la Sierra de Arteaga, Coahuila. *Madera y Bosques*, 23(1), 133–141. <https://doi.org/10.21829/myb.2017.2311555>
- Velasco-González, A. (2019). *Resistencia en hospedantes de la avispa agalladora del encino Andricus quercuslaurinus* & Pujade-Villar. Tesis de Maestría, División de Ciencias Forestales, Universidad Autónoma Chapingo.
- Velisevich, S. N., Bender, O. G., & Goroshkevich, S. N. (2021). The influence of scion donor tree age on the growth and morphogenesis of Siberian stone pine grafts. *New Forests*, 52(3), 473–491. <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09805-2>
- Venturini, M., & López, C. (2010). Propagación de árboles selectos por injerto de púas de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. *Revista de Ciencias Forestales Quebracho*, 18(1-2), 101–105. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=48118695010>
- Zaczek, J. J., Steiner, K. C., Heuser, C. W., & Tzilkowski, W. M. (2006). Effects of serial grafting, ontogeny, and genotype on rooting of *Quercus rubra* cuttings. *Canadian Journal of Forest Research*, 36(1), 123–131. <https://doi.org/10.1139/x05-223>
- Zhang, Z. (2016). Parametric regression model for survival data: Weibull regression model as an example. *Annals of Translational Medicine*, 4(24), 484 <https://doi.org/10.21037/atm.2016.08.45>