



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

**EFFECTO DEL PORTAINJERTO E INTERINJERTO EN
EL CRECIMIENTO INICIAL DE LIMA PERSA (*Citrus
latifolia* Tanaka) CV. TAHITI**

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA

MARTÍN GAONA PONCE

BAJO LA SUPERVISIÓN DEL DR. GUSTAVO ALMAGUER VARGAS

Chapingo, Texcoco, Estado de México

Junio de 2018

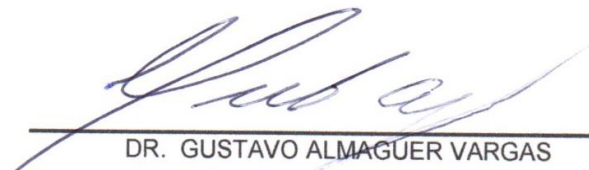


**EFFECTO DEL PORTAINJERTO E INTERINJERTO EN EL CRECIMIENTO
INICIAL DE LIMA 'PERSA' (*Citrus latifolia* Tanaka) CV. 'TAHITI'.**

Tesis realizada por Martín Gaona Ponce, bajo la dirección del comité asesor indicado,
aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:


DR. GUSTAVO ALMAGUER VARGAS

ASESOR:


DR. ALEJANDRO F. BARRIENTOS PRIEGO

ASESOR


DRA. AMPARO MÁXIMA BORJA DE LA ROSA

LECTOR


DRA. MAYRA TERESA GARCÍA RUÍZ

EXTERNO

Chapingo, Méx. Junio de 2018

CONTENIDO

	PÁG.
ÍNDICE DE CUADROS	iv
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
DEDICATORIA	vii
AGRADECIMIENTOS	viii
DATOS BIOGRÁFICOS	ix
RESUMEN GENERAL	x
CAPÍTULO 1 EFECTO DEL PORTAINJERTO E INTERINJERTO EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE LA LIMA PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tanaka) cv. 'TAHITI'	1
INTRODUCCION GENERAL	2
OBJETIVO GENERAL	9
HIPÓTESIS	9
CAPÍTULO 2 RELACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DEL XILEMA DE PORTAINJERTOS CON EL CRECIMIENTO INICIAL DE LIMA PERSA VAR. 'TAHITI' (<i>Citrus latifolia</i> Tanaka)	13
CAPÍTULO 3 EFECTO DEL INTERINJERTO EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE LIMA PERSA (<i>Citrus latifolia</i> Tanaka) cv. 'TAHITI'	32

ÍNDICE DE CUADROS

CAPÍTULO	CUADRO		PÁG.
2	1	EFEECTO DE CUATRO PORTAINJERTOS SOBRE VARIABLES DEL CRECIMIENTO INICIAL DE INJERTOS DE LIMA PERSA 'TAHITI'.	22
2	2	CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DEL TALLO DE CUATRO PORTAINJERTOS INJERTADOS CON LIMA PERSA 'TAHITÍ'.	23
2	3	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN PEARSON (r) DE VARIABLES DEL CRECIMIENTO INICIAL DE LIMA PERSA VAR 'TAHITÍ' CON VARIABLES ANATÓMICAS DEL TALLO DE CUATRO PORTAINJERTOS.	28
3	1	EFEECTO DE LOS FACTORES PORTAINJERTO E INTERINJERTO EN EL CRECIMIENTO DEL BROTE PRIMARIO DE LIMA 'TAHITI'.	39
3	2	COMPARACIÓN DE MEDIAS DE LA COMBINACIÓN PORTAINJERTO\INTERINJERTO EN LAS VARIABLES DE CRECIMIENTO DEL BROTE PRIMARIO DE LIMA PERSA	41

‘TAHITI’.

CAPÍTULO	CUADRO		PÁG.
3	3	EFFECTO DE LA COMBINACIÓN PORTAINJERTO\INTERINJERTO EN DIÁMETRO Y GROSOR DE CORTEZA DEL TALLO FORMADO POR EL INTERINJERTO, EN PLANTAS CON INJERTO FINAL DE LIMA PERSA ‘TAHITI’.	42
3	4	COEFICIENTE DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES DEL TALLO DEL INJERTO E INTERINJERTO CON VARIABLES DE CRECIMIENTO INICIAL DEL BROTE DE LIMA PERSA ‘TAHITI’.	43

ÍNDICE DE FIGURAS

	PÁG.
FIGURA 1 TAMAÑO Y DENSIDAD DE VASOS DEL XILEMA SECUNDARIO DEL TALLO DE DOS PORTAINJERTOS VIGOROSOS: (A) NARANJO 'AGRIO', (B) LIMÓN 'VOLKAMERIANO'; Y DOS ENANIZANTES: (C) TRIFOLIADO 'FLYING DRAGON' Y (D) TRIFOLIADO 'RUBIDOUX'. AUMENTO EN 10X.	24
FIGURA 2 ELEMENTOS DE VASO PROMEDIO DEL XILEMA DEL TALLO DE DOS PORTAINJERTOS VIGOROSOS: (A) NARANJO 'AGRIO' Y (B) LIMÓN 'VOLKAMERIANO'; Y DOS ENANIZANTES: (C) TRIFOLIADO 'FLYING DRAGON' Y (D) TRIFOLIADO 'RUBIDOUX'. AUMENTO EN 20X.	25
FIGURA 3 LONGITUD DE FIBRA PROMEDIO DEL XILEMA DEL TALLO DE DOS PORTAINJERTOS VIGOROSOS: (A) NARANJO 'AGRIO' Y (B) LIMÓN 'VOLKAMERIANO'; Y DOS ENANIZANTES: (C) TRIFOLIADO 'FLYING DRAGON' Y (D) TRIFOLIADO 'RUBIDOUX'. AUMENTO EN 10X.	25

DEDICATORIA

A Dios, Padre Eterno, porque sin duda, mantiene mi vida llena de oportunidades y enseñanzas.

A mi esposa Martha, por su dedicación a la familia mientras yo estudiaba, por su comprensión y aliento en los momentos difíciles, por la felicidad que me ha otorgado desde que estamos juntos y por caminar conmigo en las experiencias buenas y malas de nuestro matrimonio.

A mis hijos, Karen Guadalupe y Jesús Martín, por los momentos que les robé para dedicarme a estudiar.

A mi padre Bonifacio, dondequiera que se encuentre, por su ejemplo de vida.

A mi madre Inocencia Consuelo porque es ejemplo de bondad y rectitud.

A mis hermanos y amigos, por la amistad, cariño y sinceridad que han demostrado siempre conmigo.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma Chapingo, por la oportunidad de continuar en mi permanente formación profesional.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento brindado para apoyar este postgrado.

A mi Comité Asesor: Dr. Gustavo Almaguer Vargas, Dr. Alejandro F. Barrientos Priego, y la Dra. Amparo Máxima Borja De la Rosa por su amistad, dirección, consejos, observaciones y confianza a lo largo de este trabajo.

Al Sr. Eusebio Flores, por su invaluable apoyo en el mantenimiento de los experimentos.

A los CC. Álvaro Cebrero y Adriana Acosta, por sus apoyos invaluable en el laboratorio de Anatomía de la Madera, de la División de Ciencias Forestales.

Y en general, a todo el personal académico y administrativo del Instituto de Horticultura, que de una u otra forma, contribuyeron a la culminación de esta importante meta.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació en 1968 y es originario de Martínez de la Torre, Veracruz. En 1990 egresó de la Universidad Autónoma Chapingo, donde estudió la Carrera de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia, con la tesis “Aplicaciones de ‘etefón’ en precosecha en naranja ‘Jaffa’ (*Citrus sinensis* L. Osbeck) en la región de Martínez de la Torre, Ver.”



En 1990 Inició su desempeño profesional en la empresa ‘Leticia Vargas Leyva’ en Martínez de la Torre, como gerente de producción en huertas de cítricos. De 1993 a 1994 laboró como investigador en el Colegio de Postgraduados Campus Puebla. De 1995 a 1996 trabajó en investigación en el Instituto Nacional Indigenista en Zacapoaxtla, Puebla. De 1996 a 1997 laboró como gerente de producción en hortalizas con la iniciativa privada en Xalapa, Veracruz.

En 1998 ingresó a laborar al Centro Regional Universitario del Sureste (hoy Unidad Regional Universitaria Sursureste) de la Universidad Autónoma Chapingo, en Puyacatengo, Teapa, Tabasco como profesor-investigador, donde labora actualmente.

De 2006 a 2007 estudió la Maestría en Ciencias en Horticultura en el departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, con la tesis “Crecimiento, rendimiento y calidad de frutos de lima ‘Persa’ (*Citrus latifolia* Tanaka) en seis portainjertos en Tabasco, México”. Ha impartido cursos relacionados a la Fruticultura Tropical y asesorado y dirigido tesis de licenciatura relacionadas al mismo tema.

**EFEECTO DEL PORTAINJERTO E INTERINJERTO EN EL
CRECIMIENTO INICIAL DE LA LIMA PERSA (*Citrus latifolia*
Tanaka) cv. 'TAHITI'.**

**EFFECT OF ROOTSTOCK AND INTERSTOCK IN THE INITIAL
GROWTH OF THE PERSIAN LIME (*Citrus latifolia* Tanaka) cv.
'TAHITI'**

Martín Gaona Ponce¹ y Gustavo Almaguer Vargas²

RESUMEN

Se evaluaron cuatro portainjertos de cítricos y la relación de sus características anatómicas del tallo con el crecimiento inicial del injerto de lima persa var. 'Tahiti'. En otro experimento se evaluaron tres interinjertos relacionándolos con las características del tallo. En el primero se evaluaron naranjo 'Agrio' (*Citrus aurantium* L.), limón 'Volkameriano' (*C. volkameriana* Tenn. & Pasq.), trifoliado 'Flying Dragon' (*Poncirus trifoliata* var. 'Monstruosa') y trifoliado 'Rubidoux' (*P. trifoliata* var. 'Rubidoux'). Se midieron variables del crecimiento inicial del injerto y variables del xilema de los portainjertos y se correlacionaron. 'Agrio' y 'Volkameriano' mostraron crecimiento vigoroso, mientras que 'Rubidoux' y 'Flying Dragón' redujeron en 23 a 70 % sus variables. 'Agrio' y 'Volkameriano' presentaron vasos del xilema más grandes y en menor densidad, relacionados con los

ABSTRACT

Four citrus rootstocks and the relationship of the anatomical characteristics of the stem with the initial growth of the 'Tahiti' lime bud were evaluated. In another experiment, three interstocks were evaluated relating them to the characteristics of the stem. In the first, 'Agrio' orange (*Citrus aurantium* L.), 'Volkameriano' lemon (*C. volkameriana* Tenn. & Pasq.), 'Flying Dragon' trifoliolate (*Poncirus trifoliata* var. 'Monstruosa') and 'Rubidoux' trifoliolate (*P. trifoliata* var. 'Rubidoux') were evaluated. Variables of the initial growth of the scion and variables of the xylem of the rootstocks were measured and correlated. 'Agrio' and 'Volkameriano' showed vigorous growth, while 'Rubidoux' and 'Flying Dragon' reduced their variables from 23 to 70%. 'Agrio' and 'Volkameriano' presented larger xylem vessels and in

¹ Tesista.

² Director.

mayores valores de las variables del crecimiento del brote. Menor diámetro y mayor densidad presentaron efecto contrario. La densidad y diámetro mostraron altas correlaciones con las variables del crecimiento, siendo variables de predicción. En el segundo experimento fueron evaluados 'Rubidoux', 'Flying Dragon' y lima 'Tahiti' como interinjertos, 'Agrio' y 'Volkameriano' como portainjertos y lima 'Tahiti' como injerto final. Se midieron variables del crecimiento inicial y del tallo y se correlacionaron. 'Agrio' con interinjerto afectó significativamente la velocidad de crecimiento, longitud, diámetro y longitud de entrenudos del brote primario en 22, 18, 12 y 14 % menor con respecto a 'Volkameriano' con interinjerto. El efecto de cada interinjerto dependió del portainjerto. 'Rubidoux' sobre 'Volkameriano' tuvo los mayores valores en el crecimiento, pero con 'Agrio' tuvo los menores, induciendo características de enanismo. El interinjerto afectó el diámetro de tallo del portainjerto. 'Rubidoux' incrementó el diámetro de 'Volkameriano' y 'Flying Dragón' presentó mayor diámetro que su portainjerto. Se encontraron correlaciones bajas (-0.222 a 0.502) de las variables del tallo con las variables del crecimiento de lima 'Tahiti'.

Palabras clave: Portainjerto enanizante, *Citrus latifolia*, *Poncirus trifoliata*, interinjerto, vaso de xilema.

lower density, related to the highest values of the initial growth variables. Smaller size and higher density showed the opposite effect. The density and diameter showed high correlations with the growth variables, being predictive variables. In the second experiment, 'Rubidoux', 'Flying Dragon' and 'Tahiti' were evaluated as interstocks, 'Agrio' and 'Volkameriano' as rootstocks and 'Tahiti' lime as the final scion. Initial growth variables and stem variables were measured and correlated. 'Agrio' with interstock significantly affected the growth velocity, length, diameter and length of internodes of the primary shoot from 22, 18, 12 and 14% lesser than 'Volkameriano' with interstock. The effect of each interstock depended on the rootstock. 'Rubidoux' over 'Volkameriano' had the highest values in growth, but over 'Agrio' had the lowest, inducing characteristics of dwarfing. The interstock affected the stem diameter of the rootstock. 'Rubidoux' increased the diameter of 'Volkameriano' and 'Flying Dragon' had a larger diameter than its rootstock. Low correlations (-0.222 to 0.502) of the stem variables with the growth variables of 'Tahiti' lime were found.

Key words: Dwarfing rootstock, *Citrus latifolia*, *Poncirus trifoliata*, interstock, xylem vessel.

**CAPÍTULO 1. EFECTO DEL PORTAINJERTO E INTERINJERTO
EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE LA LIMA PERSA (*Citrus
latifolia* Tanaka) cv. 'TAHITI'**

EFFECTO DEL PORTAINJERTO E INTERINJERTO EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE LA LIMA PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka) cv. 'TAHITI'

INTRODUCCIÓN GENERAL

En la horticultura moderna, el control del tamaño del árbol es un aspecto central en los objetivos de producción de las plantaciones de alta densidad. La reducción del tamaño de copa es relevante ya que incrementa la productividad y disminuye dificultades del manejo en las podas, la cosecha y las aspersiones foliares (Curti-Díaz *et al.*, 2012; Villegas & Mora, 2011; Casierra-Posada & Guzmán, 2009).

En México, las densidades de plantación de la lima 'Persa' y en general de los cítricos, van desde 200 hasta 400 plantas ha⁻¹, y por lo general los portainjertos empleados inducen un porte de copa considerados como estándar o grandes, lo que conduce a condiciones sanitarias deficientes y dificultad para las operaciones de poda y cosecha, y que conduce a reducir la productividad.

Por otra parte, el número de plantas se reduce paulatinamente por la presencia de enfermedades como la gomosis, tristeza y wood pocket (Villegas & Mora, 2011). Recientemente, la aparición de la enfermedad bacteriana "Huanglongbing" (HLB) ha generado propuestas estratégicas que incluyen ensayos con plantas de baja altura (enanas) y en altas densidades (COEPLIM Com. Pers., 2013; Curti-Díaz *et al.*, 2012; Sanchez & Girardi, 2010; Dogar *et al.*, 2017)¹.

¹ Comunicación personal. COEPLIM (2013) Proyecto integral para reducir el impacto de la enfermedad del HLB, en las plantaciones de cítricos del estado de Colima. Consejo Estatal de Productores de Limón. Gobierno del estado de Colima.

Las técnicas más utilizadas para el control del tamaño son la poda y el empleo de portainjertos enanizantes. La poda representa muchos beneficios, pero en los cítricos reflejan el 22 % de los costos de producción (Agusti, 2003; Almaguer y Ayala, 2014).

El uso de patrones enanizantes ha sido documentado en especies frutales como el manzano (Parra *et al.*, 2002), mango (Casierra-Posada & Guzmán, 2009), aguacate (Ben-Ya'akov & Zilberstaine, 1999) y cítricos como la naranja dulce (Cheng & Roose, 1995; Forner, 1998; Berdeja-Arbeu *et al.*, 2010) y lima 'Tahiti' (Espinoza-Nuñez *et al.*, 2011; Mademba *et al.*, 2012) entre otros. En este último grupo de cítricos solo se han registrado a 'Flying Dragon' (*Poncirus trifoliata* var. 'Monstruosa' T. Ito Swingle) e híbridos de *P. trifoliata* con otros cítricos, como portainjertos enanizantes.

El empleo de patrones de cítricos enanizantes y semienanizantes, permitirá realizar plantaciones intensivas que permitirán incrementar los rendimientos, facilitar el manejo de aspersiones foliares, incrementar el uso productivo del suelo en tiempo-espacio, reducir los costos de producción por tonelada de fruta producida y mejorar la práctica de cosecha y la calidad de fruta (Curti *et al.*, 2012).

Los diversos mecanismos de interacción injerto-portainjerto han sido sugeridos de modo general desde varios años. Muchos de los efectos de las relaciones entre el portainjerto y el injerto son conocidos en el crecimiento, en la resistencia a patógenos o en la adaptación ambiental, pero no se conocen los mecanismos fundamentales, particularmente los que se refieren a la base molecular y anatómicos, que no se han entendido suficientemente (Hartmann *et al.*, 2011).

Las teorías que avanzaron como posibles explicaciones para la interacción entre el patrón y el injerto incluyen: (a) factores anatómicos, (b) nutrición y niveles de carbohidratos, (c) absorción y translocación de nutrientes y agua, (d) intervención de fitohormonas y correlativos, y (e) otros factores fisiológicos.

Referente a factores anatómicos se afirma que raíces y tallos de portainjertos enanizantes pueden reducir el crecimiento vegetativo si se caracterizan por (a) una alta proporción de corteza (peridermo, corteza y tejido del floema) con respecto a la madera (tejido de xilema); (b) un gran volumen proporcional ocupado por células vivas (parénquima axial y parénquima radial) en relación a las células de xilema muertas (vasos y fibras); y (c) pocos vasos de xilema y más pequeños (Hartmann *et al.*, 2011).

En los cítricos y en particular en la lima ‘Persa’ (*Citrus latifolia* Tanaka) existen diversos estudios relacionados con el uso de portainjertos, enfocados preferentemente al desarrollo del vigor, los rendimientos y calidad de fruta (Curti-Díaz, *et al.*, 2012; Stenzel & Neves, 2004; Machado *et al.*, 2017; Piña-Dumoulín *et al.*, 2012; Jiménez *et al.*, 2009). En estos estudios se ha encontrado al limón ‘Volkameriano’ (*Citrus volkameriana* Tenn. & Pasq.) como portainjerto que induce alto vigor en el injerto de lima persa incrementándose conforme la edad, donde se indicaron valores de altura de planta que van desde 1.04 m desde el primer año alcanzando una altura superior a 5 m en la edad adulta con copa mayores a 100 m³.

En contraparte, cuando se evaluó el naranjo trifoliado (*Poncirus trifoliata* L. Raf.) como portainjerto, las alturas desarrolladas por la lima persa fueron bajas durante los primeros años (desde 0.85 m hasta 2.7 m) pero incrementaron hasta 3 y 4.5 m con volumen de copa variables, desde 9 hasta 98 m³, por lo cual fue considerado como portainjerto de efecto enanizante (Machado *et al.*, 2017; Stenzel & Neves, 2004; Jiménez *et al.*, 2009; Cantuarias-Avilés *et al.*, 2012).

En algunos estudios se ha resaltado la influencia en el vigor del naranjo ‘Agrio’ (*Citrus aurantium* L.) con alturas de 3.2 m y hasta 111 m³ de copa en la edad adulta (Jiménez *et al.*, 2009; Espinoza-Núñez *et al.*, 2011), lo cual indicó que indujo alto vigor. Sin embargo, estas características del vigor se han relacionado muy poco hacia las características anatómicas del xilema secundario del tallo de los portainjertos.

El sistema vascular de las plantas lo constituye el xilema, principal tejido conductor de agua y el floema, tejido conductor de sustancias elaboradas. Estructuralmente el xilema es un tejido complejo que está constituido por elementos de vaso, que son células alargadas, muertas en la madurez, de paredes lignificadas y una variedad de punteaduras, cuya función es la conducción del agua y de sustancias disueltas; las fibras son vasos especializados de pared muy engrosada que apenas realizan funciones de transporte y que sirven para aumentar la resistencia mecánica del xilema y células parenquimatosas vivas, relacionadas con varias actividades vitales (Esau, 1985).

El xilema secundario de los cítricos es de porosidad difusa, con elementos de vaso rodeados de células de parénquima y fibras. Tadeo *et al.* (2003), reportaron que los portainjertos más vigorosos poseen una mayor capacidad física para el transporte de agua y presentan elementos de vaso más grandes. Mencionaron que el citrange 'Carrizo', cuenta con elementos de vaso de un diámetro superior a los observados en el mandarino 'Cleopatra' y Carrizo también presenta una abundancia mayor de vasos por milímetro cuadrado.

Vasconcellos y Castle (1994) encontraron en estructuras del xilema de árboles de naranjo 'Agrio' sanos y enfermos de "Bligh", diámetro de vasos de 79 μm , densidad de 16.3 vasos $\cdot\text{mm}^{-2}$, y un área ocupada por vasos de 6.7 % en árboles sanos, mientras que en árboles enfermos la densidad de elementos de vaso fue de 37.5 y con diámetros más pequeños.

Saeed *et al.* (2010) estudiaron el xilema de siete portainjertos en plántulas de cítricos de 3 meses de edad, registrando entre ellas al naranjo 'Agrio' con una densidad de elementos de vaso en el xilema del tallo de 54.3 vasos $\cdot\text{mm}^{-2}$; un área promedio de vaso de 457 μm^2 ; un área relativa de los vasos de 2.48 %; proporción de xilema de 64 % y proporción de corteza de 36 %. Para 'Flying Dragon' reportaron densidad de 140 vasos mm^{-2} , área promedio de vaso de 222.4 μm^2 , un área relativa de los vasos de 3.125 %, un porcentaje de xilema de 53.5 y de corteza de 46.5.

Los mismos investigadores observaron que portainjertos más vigorosos tienden a tener menos elementos de vasos y comparativamente menos floema en tallos y raíces que los portainjertos menos vigorosos. Explicaron que las diferencias en número y tamaño son debidas a la síntesis de auxinas en las hojas jóvenes, donde altos niveles inducen la formación de numerosos vasos y que estos son pequeños debido a su rápida tasa de diferenciación. Si la concentración de auxina es baja hay una diferenciación más lenta y por lo tanto menor número de vasos y más grandes (Saeed *et al.*, 2010).

El crecimiento lento y altura reducida de 'Flying Dragon' también se atribuyeron a una alta proporción de la relación corteza:xilema, tanto en raíz como en tallo. El crecimiento menos vigoroso en portainjertos con elementos de vaso más pequeños en el xilema de tallo y raíz sugiere que niveles bajos de auxina/citocinina favorece la diferenciación del floema; y mayor auxina y menor nivel de la citocinina favorece la xilogénesis (Saeed *et al.*, 2010).

En este sentido, Aloni y Zimmerman (1983), aplicaron ácido naftalenacético (ANA) en concentraciones de 0.03, 0,1 y 1 % en *Phaseolus vulgaris* L., y encontraron que los niveles más altos de auxina indujeron elementos de vaso del xilema angostos debido a su rapidez de diferenciación, mientras que la baja concentración de auxina indujo una diferenciación lenta y por lo tanto, menor número de vasos y más grandes.

Brenes-Angulo *et al.* (2012), caracterizaron la anatomía del xilema secundario de *Citrus aurantifolia* y *Citrus sinensis*, donde la longitud, diámetro y densidad de vasos fueron 176 μm , 62 μm y 25.4 vasos $\cdot\text{mm}^{-2}$ para *C. aurantifolia* y 167 μm , 61 μm y 21.5 vasos $\cdot\text{mm}^{-2}$ para *C. sinensis*. Las fibras midieron 15.3 μm de diámetro y largo de 0.81 mm para *C. aurantifolia* y 14.98 μm de diámetro y 0.56 mm de largo para *C. sinensis*. Las fibras fueron clasificadas como fibras cortas. Consideraron que junto con otras características como espesor de pared, diámetro de lumen y puntuaciones son muy similares, por lo tanto de poca utilidad para la identificación de las especies de *Citrus*.

Martínez-Alcántara *et al.* (2013) estudiaron el comportamiento de naranja 'Valencia' injertada sobre dos portainjertos de *P. trifoliata*, 'Flying Dragon' y 'Rubidoux'. Registraron que el portainjerto 'Rubidoux' indujo un 39.7 % más de peso fresco que 'Flying Dragon' y un 27.3 % más de área foliar. Observaron también que el portainjerto enanizante 'Flying Dragon' tuvo los valores más altos en cuanto a resistencia hidráulica, que disminuyó la conductancia hidráulica, que a su vez disminuyó el potencial hídrico reduciendo la conductancia estomática. Concluyeron que la principal causa del enanismo en el portainjerto 'Flying Dragon' puede ser su baja capacidad de conducción hidráulica.

Berdeja-Arbeu *et al.* (2013), evaluaron seis portainjertos injertados con lima persa de seis años de edad, donde el limón 'Volkameriano' tuvo longitud de vasos de 144.3 μm , densidad de 16.8 vasos $\cdot\text{mm}^{-2}$, diámetro de vasos de 71.7 μm , longitud de fibras 594.5 μm , área del vaso 3948 μm^2 , y área relativa de vasos 65562 μm^2 ; mientras que naranjo 'Agrio' tuvo densidad de 7.57 vasos $\cdot\text{mm}^{-2}$, longitud de vasos de 115.99 μm , diámetro de vasos de 69.33 μm , longitud de fibras 706.7 μm , área del vaso 2749.3 μm^2 , y área relativa de vasos 21259 μm^2 . No encontraron diferencia significativa en la altura de árboles de lima persa, pero hallaron correlaciones negativas en el perímetro de injerto con el diámetro tangencial del vaso, perímetro de injerto y área de vaso, perímetro de injerto y área total de vaso por milímetro cuadrado, lo cual indica que la morfología y anatomía del xilema de tallo de lima persa fue afectada por los diferentes portainjertos.

Otra técnica usada con menor frecuencia en frutales para reducción del tamaño es el interinjerto o injerto intermedio. Este consiste en injertar sobre el portainjerto una especie o variedad determinada para posteriormente injertar sobre esta última la variedad que se desea cultivar y que constituirá la copa. Estudios con algunos cítricos como la naranja, tangelos y limones indican el efecto del interinjerto en el control del tamaño, la calidad de fruta y jugo (Castle,

1992; Gil *et al.*, 2004; Khan *et al.*, 2007; Girardi & Mourão, 2007; Espinoza-Núñez *et al.*, 2011; Sugiyatno & Palupi, 2017).

La combinación de dos o más diferentes plantas (genotipos) en una planta mediante injerto puede producir patrones de crecimiento diferentes de los que se habrían producido si cada componente ha sido cultivado por separado. Algunos de estos efectos son de gran importancia en fruticultura, mientras que otros son perjudiciales. Estas características alteradas pueden ser el resultado de a) características específicas de los integrantes del interinjerto que no se encuentran en el otro; por ejemplo, resistencia a ciertas enfermedades, insectos o nematodos, o tolerancia a ciertas condiciones ambientales o del suelo adversas; b) las interacciones entre el portainjerto y el injerto intermedio, incluso el injerto final que alteran el tamaño, el crecimiento, la productividad, la calidad del fruto u otros atributos hortícolas; y c) reacciones de incompatibilidad (Hartmann *et al.*, 2011).

En la práctica resulta difícil separar qué factor de influencia es dominante en cualquier combinación de injertos en un ambiente particular. Los resultados de largo plazo dependen de la combinación de portainjertos, ambiente (clima, factores edáficos como el suelo), propagación y gestión de la producción, lo que afecta el rendimiento, la calidad y la forma de la planta (Hartmann *et al.* 2011).

Espinoza-Núñez *et al.* (2011) evaluaron diferentes portainjertos y como interinjerto 'Flying Dragon' en plantas de lima persa. Encontraron que el efecto de interinjerto sobre el vigor de la planta dependió del portainjerto. Las plantas interinjertadas en el trifoliado "Davis A" fueron más altas que aquellos sin interinjerto. En contraparte, las plantas interinjertadas en limón Volkameriano 'Catania 2' fueron menos vigorosos que aquellos sin interinjerto.

Sugiyatno & Palupi (2017) evaluaron 24 combinaciones de interinjerto-injerto en portainjerto de lima Rangpur, para mandarina 'Batu 55', tangerina 'Pontianak' y lima 'Nimas' con el objetivo de mejorar el crecimiento. Entre los interinjertos evaluados estuvo 'Flying Dragon' y limón Volkameriano. El uso de *Poncirus*

trifoliata como material intermedio estimuló brotación rápida en tangerina 'Pontianak', mientras que el citrange Troyer estimuló el crecimiento del brote en lima 'Nimas'. Por otra parte, citrange 'Carrizo' influyó en el diámetro de la planta de lima 'Nimas'.

OBJETIVO GENERAL

Caracterizar el efecto de cuatro portainjertos injertados con lima persa 'Tahiti' en las variables el crecimiento inicial, conocer las características del xilema de sus tallos y la correlación que existe entre éstas con el crecimiento, además evaluar los efectos del interinjerto en el crecimiento del brote primario y correlacionar características del tallo del portainjerto e interinjerto con las características del crecimiento e identificar al menos una combinación que reduzca significativamente el crecimiento del brote primario.

HIPÓTESIS

Existe un efecto diferenciado de los portainjertos en el crecimiento inicial del brote primario de lima persa 'Tahiti' que se encuentran fuertemente correlacionados a las características del xilema del tallo, que pueden usarse como variables predictivas.

Las plantas de lima 'Tahiti' interinjertadas con trifoliados 'Rubidoux' o 'Flying Dragon' se verán afectadas significativamente en el crecimiento del brote primario, presentando enanismo. La corteza del tallo del portainjerto e interinjerto presentarán una correlación alta con el crecimiento.

LITERATURA CITADA

- Agusti, M. (2003) Citricultura. Mundi-Prensa. 2a edición. Madrid-Barcelona-México. 423 p.
- Almaguer V., G. y A.V. Ayala G. (2014) Adopción de innovaciones en limón 'Persa' (*Citrus latifolia* Tan.) en Tlapacoyan, Veracruz. Uso de bitácora. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20:89-100, <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.10.076>
- Aloni, R. and M. H. Zimmermann (1983) The control of vessel size and density along the plant axis: a new hypothesis. *Differentiation* 24: 203–208. <https://doi.org/10.1111/j.1432-0436.1983.tb01320.x>
- Ben-Ya'akov and M. Zilberstaine (1999) Clonal avocado (*Persea americana* Mill.) rootstocks in Israel. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5:39-42, <https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchshV722.pdf>
- Berdeja-Arbeu, R., Villegas-Monter, A., Ruíz-Posadas, L. M., Sahagún-Castellanos, J. y M. T. Colinas-León (2010) Interacción lima persa-portainjertos: Efecto en características estomáticas de hoja y vigor de árboles. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16:91-97 <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v16n2/v16n2a4.pdf>
- Brenes-Angulo, O., Reyes-Cordero, D. & R. Moya-Roque (2012). Estudio de la anatomía del xilema secundario de seis especies del género *Citrus* cultivadas en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica)* 9: 35-44.
- Cantuarias-Avilés, T., Mourão Filho, F.A.A., Stuchi, E.S., Silva, S.R., Espinoza-Núñez, E. & H. B. Neto (2012) Rootstocks for high fruit yield and quality of 'Tahiti' lime under rain-fed conditions. *Scientia Horticulturae* 142:105–111. <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.008>
- Casierra-Posada, F. y J. A. Guzmán (2009) Efecto del portainjerto y del injerto intermedio sobre la calidad de fruta en mango (*Mangifera indica* L.) *Agronomía Colombiana* 27:367-374, <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316242010>
- Castle, W.S. (1992) Rootstock and interstock effects on the growth of young 'Minneola' tangelo trees. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 105:82-84 http://www.crec.ifas.ufl.edu/extension/citrus_rootstock/Rootstock_Literature/1992%20Castle%20FSHS%20%20Rtstks%20Interstks%20Minneola'.pdf
- Curti-Díaz, S., Hernández-Guerra, C. y R. X. Loredó-Salazar (2012) Productividad del limón 'Persa' injertado en cuatro portainjertos en una huerta comercial de Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18:291-305, doi: 10.5154/r.rchsh.2010.11.109
- Cheng, F. S. and M. L. Roose (1995) 1995. Origin and inheritance of dwarfing by the citrus rootstock *Poncirus trifoliata* 'Flying Dragon'. *Journal of the*

American Society for Horticultural Science 120:286-291,
<http://journal.ashspublications.org/content/120/2/286.full.pdf+html>

- Dogar, W. A., Arshad, A. K., Saeed, A., Sudheer, T., Mukhtar, A., Muhammad... and K. Nadeem (2017) Study to determine the effects of high density plantation on growth and yield of citrus. *Sarhad Journal of Agriculture* 33: 314-319, DOI | <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2017/33.2.315.319>
- Esau, K. (1985) Anatomía de las plantas con semilla. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. pp. 97-135.
- Espinoza-Núñez, E., Mourão, F. F. A., Sanches-Stuchi, E. S., Cantuarias-Avilés, T. and C.T. D. Dias (2011) Performance of 'Tahiti' lime on twelve rootstocks under irrigated and non-irrigated conditions. *Scientia Horticulturae* 129:227-231, doi:10.1016/j.scienta.2011.03.032
- Forner, V. J. (1998) Nuevos patrones de agrios enanizantes y semienanizantes. *Comunitat Valenciana Agraria* 3-8. <http://www.ivia.gva.es/documents/161862582/161863596/Nuevos+patrones+de+agrios+enanizantes+y+semienanizantes/2729f7c4-e8c3-4391-b575-9ef20f38615a>
- Gil I., A.; Riquelme, M.; Porras, I. & F. Ferreres, (2004) Effect of the rootstock and interstock grafted in lemon tree (*Citrus limon* (L.) Burm.) on the flavonoid content of lemon juice *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52:324-331. DOI:10.1021/jf0304775
- Girardi, E. A. and F. A. A. Mourão (2006) Production of interstocked 'Pera' sweet orange nursey trees on 'Volkamer' lemon and 'Swingle' citrumelo rootstocks. *Scientia Agrícola* 63:5-10, <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162006000100002>
- Hartmann, H. T., Kester D.E., Davies F.T. & R. L. Geneve (2011) Hartmann & Kester Plant Propagation principles and practices. PH Professional Bussines. Eighth edition. USA. 869 p.
- Jiménez, R., Frómeta, E. & E. García (2009) Estudio de siete patrones para el cultivar limero Persa SRA58 (*Citrus latifolia* (L.) Tan.) en condiciones de Cuba. *Revista CitriFrut* 26: 47-52.
- Khan, T. L., Bier, O. J. and R. J. Beaver (2007) New late-season navel orange varieties evaluated for quality characteristics. *California Agriculture* 61:138-143, <http://calag.ucanr.edu/archive/?article=ca.v061n03p138>
- Machado, D.L.M., Siqueira, D. L., Salomão, L.C.C., Cecon, P.R. & P. P. D. Da Silva (2017) Evaluation of rootstocks for 'Tahiti' acid lime in northern state of Minas Gerais. *Revista Brasileira de Fruticultura* 39:1-12. doi: 10.1590/0100-29452017 790
- Martínez-Alcántara, B., Rodriguez-Gamir, J., Martínez-Cuenca, M. R., Iglesias, D.J., Primo-Millo, E., & M. A. Forner-Giner (2013). Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock

- (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. *monstruosa*). *Trees* 27: 629–638. doi:10.1007/s00468-012-0817-1
- Parra-Quezada, R. A., Becerril-Román, A. E., López-Castañeda, C. y A. Castillo-Morales (2002) Crecimiento del manzano cv Golden Delicious sobre cuatro portainjertos en diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:193-200.
- Piña-Dumoulin, G. J., Laborem, E. G., Monteverde, E. E., Magaña-Lemus, S., Espinoza M. & Rangel L. A. (2006). Crecimiento, producción y calidad de frutos en limeros ‘Persa’ sobre 11 portainjertos. *Agronomía Tropical* 56 (3), 433-448.
- Saeed M., Dodd, P. B. & Sohail, L. (2010) Anatomical studies of stems, roots and leaves of selected citrus rootstock varieties in relation to their vigour. *Journal of Horticulture and Forestry* 2:87-94.
- Sanchez, S. E. y E. A. Girardi (2010) Utilização de práticas culturais na citricultura frente ao Huanglongbing. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministerio da Agricultura, Pecuária y Abastecimento. Documentos 191. Brazil. Consultado en: <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29714/1/documentos-191ID27554.pdf>
- Stenzel, N. M. C. & C. S. V. J. Neves (2004) Rootstocks for Taithi lime. *Scientia Agricola* 61:151-155. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162004000200005>
- Sugiyatno A. and N. E. Palupi (2017) Interstock effect on the growth of mandarin cv Batu 55, tangerine cv Pontianak and lime cv Nimas propagated by grafting. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences* 10:239-246, <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-10.34>
- Tadeo F. R., Moya, J. L., Iglesias, D.J., Talón, M., & E. Primo-Millo (2003). Histología y citología de cítricos. Generalitat Valenciana. Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, España.
- Villegas-Monter, A. y A. Mora-Aguilera (2011) Avances de la fruticultura en México. *Revista Brasileira de Fruticultura Jaboticabal*. Volumen especial: 179-186, <http://www.scielo.br/pdf/rbf/v33nspe1/a21v33nspe1.pdf>

**CAPÍTULO 2. RELACIÓN DE CARACTERÍSTICAS
ANATÓMICAS DEL XILEMA DE PORTAINJERTOS CON EL
CRECIMIENTO INICIAL DE LIMA PERSA VAR. 'TAHITI' (*Citrus
latifolia* Tanaka)**

**RELACIÓN DE CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DEL XILEMA DE
PORTAINJERTOS CON EL CRECIMIENTO INICIAL DE LIMA PERSA (*Citrus*
latifolia Tanaka) VAR. TAHITI**

**RELATION OF ANATOMICAL CHARACTERISTICS OF ROOTSTOCKS
XYLEM WITH INITIAL GROWTH OF PERSIAN LIME (*Citrus latifolia* Tanaka)
VAR. TAHITI**

Martín Gaona Ponce ¹, Gustavo Almaguer Vargas², Alejandro Barrientos Priego y Amparo Borja
de la Rosa

RESUMEN

El presente estudio se realizó para generar información sobre algunas características anatómicas del tallo de cuatro portainjertos de cítricos relacionadas al crecimiento inicial del injerto de lima persa var. 'Tahiti'. Se evaluaron como portainjertos naranjo 'Agrio' (*Citrus aurantium* L.), limón 'Volkameriano' (*C. volkameriana* Tenn. & Pasq.), trifoliado 'Flying Dragon' (*Poncirus trifoliata* var. 'Monstruosa') y trifoliado 'Rubidoux' (*P. trifoliata* var. 'Rubidoux'). Se midieron siete características del crecimiento inicial del injerto, ocho características del xilema secundario del tallo de los portainjertos y se correlacionaron entre ellas. 'Agrio' y 'Volkameriano' mostraron crecimiento más vigoroso, mientras que 'Rubidoux' y 'Flying Dragón' tuvieron menos vigor con reducción de 23 a 70 % en las variables. 'Agrio' y 'Volkameriano' presentaron vasos del xilema más grandes y en menor densidad que los otros portainjertos, lo que se relacionó a mayor crecimiento en longitud y diámetro de brote, velocidad de crecimiento, número de hojas y área foliar del brote del injerto. Un menor tamaño, pero mayor densidad de vasos, presentaron efecto contrario en el crecimiento del injerto. La densidad y diámetro de vasos mostraron las más altas correlaciones con las variables del crecimiento, por lo que pueden usarse como posibles características de predicción en el crecimiento de injertos.

Palabras clave: portainjertos enanizantes, crecimiento del injerto, fibras libriformes, tamaño de vasos, densidad de vasos.

ABSTRACT

The present study was done to generate information about some stem anatomical characteristics of four citrus rootstocks related to the initial growth of the grafted persian lime var. 'Tahiti'. The rootstocks 'Agrio' orange (*Citrus aurantium* L.), 'Volkamerian' lemon (*C. volkameriana* Tenn. & Pasq.), 'Flying Dragon' trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata* var. 'Monstruosa') and 'Rubidoux' trifoliolate (*P. trifoliata* var. 'Rubidoux') were evaluated. Seven characteristics of the initial growth of scion and eight characteristics of the secondary xylem stem of the rootstocks were measured and correlated. We found that the most vigorous growth were obtained by 'Agrio' and 'Volkamerian' and were smaller in 'Rubidoux' and 'Flying Dragon', which had a reduction in the variables from 23 to 70 %. 'Agrio' and 'Volkamerian' presented larger xylem vessels and lower density than the other two rootstocks, which was related to a greater increase in length and diameter of shoot, growth rate, number of leaves and leaf area of the lime shoot. A smaller size, but higher density of vessels, had the opposite effect in the scion growth. The density and vessels diameter showed the highest correlations with the growth variables so they can be used as possible predictive characteristics in the growth of grafted plants.

Key words: dwarfing rootstocks, growth scion, libriform fibres, vessel size, vessel density.

¹ Tesista.

² Director.

IDEAS DESTACADAS (HIGHLIGHTS)

- The size and density of the vessels are highly related to scion growth.
- Different xylem characteristics were shown in dwarf and non-dwarf rootstocks.
- The size and density of vessel can be used as indexes of growth prediction models.

INTRODUCCIÓN

Dentro de las tendencias actuales de la citricultura mexicana la diversificación de portainjertos surge como consecuencia de la aparición de enfermedades conocidas como el Virus Tristeza de los Cítricos y la necesidad de mejorar los rendimientos y la eficiencia productiva de las huertas. Los diversos mecanismos de interacción injerto-portainjerto han sido sugeridos de modo general desde la antigüedad y se detallan en la actualidad, aumentando los conocimientos para tomar decisiones correctas desde la planeación de huertos.

En los cítricos y en particular en la lima ‘Persa’ (*Citrus latifolia* Tanaka) existen diversos estudios relacionados con el uso de portainjertos, enfocados preferentemente al desarrollo del vigor, los rendimientos y calidad de fruta (Curti-Díaz, Hernández-Guerra & Loredó-Salazar, 2012; Stenzel & Neves, 2004; Machado, Lopes, Salomao, Cecon & Pereira, 2017; Piña-Dumoulin, Laborem, Monteverde, Magaña-Lemus, Espinoza & Rangel, 2006; Mademba, Lemerre-Desprez & Lebegin, 2012; Jiménez, Frometa & García, 2009). En estos estudios se ha encontrado al limón ‘Volkameriano’ (*Citrus volkameriana* Tenn. & Pasq.) como portainjerto que induce alto vigor en el injerto de lima persa incrementándose conforme la edad, donde se indicaron valores de altura de planta que van desde 1.04 m desde el primer año alcanzando altura superior a 5 m en la edad adulta con copa mayores a 100 m³.

En contraparte, cuando se evaluó el naranjo trifoliado (*Poncirus trifoliata* L.Raf.) como portainjerto, las alturas desarrolladas por la lima persa fueron bajas durante los primeros años (desde 0.85 m hasta 2.7 m) pero incrementaron hasta 3 y 4.5 m con volumen de copa variables, desde 9 hasta 98 m³, por lo cual fue considerado portainjerto de efecto enanizante (Machado et al., 2017; Stenzel & Neves, 2004; Jiménez et al., 2009; Cantuarias-Avilés, Mourão, Stuchi, Silva, Espinoza-Nuñez, & Neto, 2012).

En algunos estudios se ha resaltado la influencia en el vigor del naranjo 'Agrio' (*Citrus aurantium* L.) con alturas de 3.2 m y hasta 111 m³ de copa en la edad adulta (Jiménez et al. 2009; Espinoza-Nuñez, Mourão, Stuchi, Cantuarias-Avilés & Dos Santos, 2011), lo cual indicó que indujo alto vigor. Sin embargo, estas características del vigor se han relacionado muy poco hacia las características anatómicas del xilema secundario del tallo de los portainjertos.

Los cítricos tienen xilema secundario de porosidad difusa, con elementos de vaso rodeados de células de parénquima y fibras. Tadeo, Moya, Iglesias, Talón y Primo-Milotillos (2003) reportaron que los portainjertos más vigorosos poseen una mayor capacidad física para el transporte de agua, ya que presentan unos elementos de vaso más grandes y mencionaron que el citrange 'Carrizo', cuenta con elementos de vaso de un diámetro superior a las observados en el mandarino 'Cleopatra' y Carrizo también presenta una abundancia mayor de vasos por mm².

Vasconcellos y Castle (1994) en estructuras del xilema de árboles de naranjo 'Agrio' sanos y enfermos de "Bligth" encontraron diámetro de vasos de 79 µm, densidad de los elementos de vaso de 16.3 vasos·mm⁻², y un área ocupada por vasos de 6.7 % en árboles sanos, mientras que en árboles enfermos la densidad de elementos de vaso fue de 37.5 y con diámetros más pequeños.

Saeed, Dodd y Sohail (2010) estudiaron el xilema de siete portainjertos en plántulas de cítricos de 3 meses de edad, registrando entre ellas al naranjo 'Agrio' con una densidad de elementos de vaso en el xilema del tallo de 54.3

vasos·mm⁻²; un área promedio de vaso de 457 μm²; un área relativa de los vasos de 2.48 %; proporción de xilema de 64 % y proporción de corteza de 36 %. Para 'Flying Dragon' reportaron densidad de 140 vasos mm⁻², área promedio de vaso de 222.4 μm², un área relativa de los vasos de 3.125 %, un porcentaje de xilema de 53.5 y de corteza de 46.5.

Los mismos investigadores observaron que portainjertos más vigorosos tienden a tener menos elementos de vasos y comparativamente menos floema en tallos y raíces que los portainjertos menos vigorosos. Explicaron que las diferencias en número y tamaño son debidas a la síntesis de auxinas en las hojas jóvenes, donde altos niveles inducen la formación de numerosos vasos y que estos son pequeños debido a su rápida tasa de diferenciación. Si la concentración de auxina es baja hay una diferenciación más lenta y por lo tanto menor número de vasos y más grandes.

El crecimiento lento y altura reducida de 'Flying Dragon' también se atribuyeron a una alta proporción de la relación corteza:xilema, tanto en raíz como en tallo. El crecimiento menos vigoroso en portainjertos con elementos de vaso más pequeños en el xilema de tallo y raíz sugiere que niveles bajos de auxina/citocinina favorece la diferenciación del floema; y mayor auxina y menor nivel de la citocinina favorece la xilogénesis (Saeed et al., 2010).

En este sentido, Aloni y Zimmerman (1983), aplicaron ácido naftalenacético (ANA) en concentraciones de 0.03, 0,1 y 1 % en *Phaseolus vulgaris* L., y encontraron que los niveles más altos de auxina indujeron elementos de vaso del xilema angostos debido a su rapidez de diferenciación, mientras que la baja concentración de auxina indujo una diferenciación lenta y por lo tanto, menor número de vasos y más grandes.

Brenes-Angulo, Reyes-Cordero y Moya-Roque (2012), caracterizaron la anatomía del xilema secundario de *Citrus aurantifolia* y *Citrus sinensis*, donde la longitud, diámetro y densidad de vasos fueron 176 μm, 62 μm y 25.4 vasos·mm⁻² para *C. aurantifolia* y 167 μm, 61 μm y 21.5 vasos·mm⁻² para *C. sinensis*. Las

fibras midieron 15.3 μm de diámetro y largo de 0.81 mm para *C. aurantifolia* y 14.98 μm de diámetro y 0.56 mm de largo para *C. sinensis*. Las fibras fueron clasificadas como fibras cortas. Consideraron que junto con otras características como espesor de pared, diámetro de lumen y puntuaciones son muy similares, por lo tanto de poca utilidad para la identificación de las especies de *Citrus*.

Martínez-Alcántara et al. (2013) estudiaron el comportamiento de naranja 'Valencia' injertada sobre dos portainjertos de *P. trifoliata*, 'Flying Dragon' y 'Rubidoux'. Registraron que el portainjerto 'Rubidoux' indujo un 39.7 % más de peso fresco que 'Flying Dragon' y un 27.3 % más de área foliar. Observaron también que el portainjerto enanizante 'Flying Dragon' tuvo los valores más altos en cuanto a resistencia hidráulica, que disminuyó la conductancia hidráulica, que a su vez disminuyó el potencial hídrico reduciendo la conductancia estomática. Concluyeron que la principal causa del enanismo en el portainjerto 'Flying Dragon' puede ser su baja capacidad de conducción hidráulica.

Berdeja-Arbeu et al. (2013), evaluaron seis portainjertos injertados con lima persa de seis años de edad, donde limón 'Volkameriano' tuvo longitud de vasos de 144.3 μm , densidad de 16.8 vasos $\cdot\text{mm}^{-2}$, diámetro de vasos de 71.7 μm , longitud de fibras 594.5 μm , área del vaso 3948 μm^2 , y área relativa de vasos 65562 μm^2 ; mientras que naranjo 'Agrio' tuvo densidad de 7.57 vasos $\cdot\text{mm}^{-2}$, longitud de vasos de 115.99 μm , diámetro de vasos de 69.33 μm , longitud de fibras 706.7 μm , área del vaso 2749.3 μm^2 , y área relativa de vasos 21259 μm^2 . No encontraron diferencia significativa en la altura de árboles de lima persa, pero hallaron correlaciones negativas en el perímetro de injerto con el diámetro tangencial del vaso, perímetro de injerto y área de vaso, perímetro de injerto y área total de vaso por milímetro cuadrado, lo cual indica que la morfología y anatomía del xilema de tallo de lima persa fue afectada por los diferentes portainjertos.

Con base en lo anterior, los objetivos del presente estudio fueron caracterizar el efecto de dos portainjertos no enanizantes y dos enanizantes injertados con lima persa ‘Tahiti’ en su etapa de crecimiento inicial en vivero, así como conocer las características anatómicas del xilema del tallo de estos portainjertos y la relación que existe entre éstas y el crecimiento inicial del injerto.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante el año 2015 en un invernadero con cubierta de cristal ubicado en el Campo Agrícola Experimental de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, situado a 19° 29’ N y a 98° 52’ O, a una altitud de 2240 m.

Se obtuvieron plantas de cuatro portainjertos de 6 meses de edad del vivero certificado Maricruz, en Arroyo de Piedra, Tlapacoyan, Veracruz, México. Se trasladaron a Chapingo, México, se trasplantaron en macetas individuales de 16 L de capacidad, colocadas en dicho invernadero por otros nueve meses con la finalidad de que se adapten y se desarrollen. El sustrato fue una mezcla de suelo limo-arenoso + 10 % composta, la temperatura media en este período fue de 29 °C.

Las yemas de lima persa usadas para injertar fueron donadas por el vivero Maricruz. Los portainjertos utilizados fueron limón ‘Volkameriano’ (*C. volkameriana* Tenn. & Pasq.), naranjo ‘Agrio’ (*C. aurantium* L.) (no certificado), trifoliado ‘Flying Dragon’ (*Poncirus trifoliata* var ‘Monstruosa’) y trifoliado ‘Rubidoux’ (*P. trifoliata* var. ‘Rubidoux’). La injertación se llevó a cabo de agosto a septiembre de 2015. El tipo de injerto practicado fue el de escudete.

Las variables del crecimiento inicial del brote primario fueron las siguientes:

Longitud del brote primario (LB). Se midió semanalmente con flexómetro desde la base del injerto hasta el ápice. Se consideró una longitud final cuando la medida fue constante.

Velocidad de crecimiento (VEL). Se contabilizó el número de días hasta llegar a longitud constante con lo que se obtuvo la longitud diaria.

Diámetro del brote primario (DIA). Se midió el brote a 4 cm de la base del injerto con un vernier digital Pretul®.

Número de hojas (HOJ). Se contó la totalidad de hojas del brote primario.

Longitud de entrenudos (ENT). Se obtuvo dividiendo la longitud total entre el número de entrenudos del brote primario.

Área foliar del brote (AFB) Se calculó con la suma del área de todas las hojas del brote. Se usó el programa Image Tool v3.

Área promedio de hoja (AFM). Se calculó dividiendo el área foliar total entre el número de hojas.

Las variables anatómicas del tallo de los portainjertos se midieron en preparaciones de cortes transversales y en individualización de células. Las preparaciones para la observación microscópica de los cortes transversales del tallo se hicieron de acuerdo al procedimiento descrito por García, Guindeo, Peraza y de Palacios (2003), con 24 h de tinción en safranina y recubriendo con resina Entellán®.

La individualización de los elementos del xilema se hizo siguiendo la técnica de maceración de Franklin (1945). El sedimento visible se tiñó con safranina y se colocó una gota en el portaobjeto, se eliminó el exceso de agua con calor, se recubrió con resina Entellan® y se colocó el cubreobjetos.

Ambos grupos de preparaciones fueron observadas en el analizador de imágenes Leica Microsystems DM3000. En cortes transversales del tallo se observaron y midieron la densidad de los elementos de vaso (DEN), el área promedio de los vasos (AV) y el radio de xilema (RXI). En maceración (células individualizadas) se midieron la longitud (LV) y diámetro de vasos (DV), la longitud de fibras (LFI) y diámetro de las fibras (DFI). El porcentaje de área de

vasos (PV) se calculó con la multiplicación del área promedio de vaso por la densidad.

El tamaño de muestra para las variables longitud y diámetro de vasos, longitud y diámetro de fibras fue de 27 observaciones.

Los datos se analizaron para un diseño experimental completamente aleatorizado con seis repeticiones por tratamiento. Para cada variable se realizó análisis de la varianza ($P \leq 0,05$) y prueba de comparación de medias de Tukey, así como la correlación de Pearson (r) entre variables anatómicas y del crecimiento con el programa SAS v9.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El análisis estadístico de la varianza indicó que los cuatro portainjertos tienen efecto en todas las variables del crecimiento inicial de la lima persa 'Tahiti' y que sus características anatómicas son diferentes entre sí.

El análisis comparativo de las medias estadísticas (Cuadros 1 y 2) permitieron observar que los portainjertos naranjo 'Agrio' y limón 'Volkameriano' tuvieron similar comportamiento en casi todas las variables del crecimiento evaluadas, con excepción de la longitud del brote que fue menor en 'Volkameriano' (21 % menor).

Los portainjertos 'Flying Dragon' y 'Rubidoux' coincidieron en todas las variables del crecimiento medidas, conformando otro grupo estadístico. El efecto de los portainjertos enanizantes se reflejan en una reducción de todas las variables evaluadas con respecto a los portainjertos anteriormente mencionados, en la longitud del brote, la velocidad de crecimiento y el área foliar del brote fue de 65 a 70 %, en el número de hojas la reducción es de 57 %, en el diámetro del brote primario fue de 42 %. El área de cada hoja y la longitud de entrenudos disminuyó 26 y 32 %, respectivamente.

Cuadro 1. Efecto de cuatro portainjertos sobre variables del crecimiento inicial de injertos de lima persa ‘Tahiti’.

Portainjerto	Variables del crecimiento						
	LB (cm)	VEL (cm·dia ⁻¹)	DIA (mm)	HOJ	ENT (cm)	AFB (cm ²)	AFM (cm ²)
‘Naranja Agrio’	45.86 a ^y	1.057 a	4.3 a	21.66 a	2.11 a	706.11 a	32.54 a
‘Volkameriano’	36.23 b	1.082 a	4.5 a	19.50 a	1.85 ab	576.18 a	29.60ab
‘Flying Dragon’	13.86 c	0.378 b	2.82 b	9.83 b	1.42 c	232.53 b	24.27 b
‘Rubidoux’	13.80 c	0.433 b	2.65 b	9.33 b	1.511 bc	230.16 b	24.9 b
DMSH	8.33	0.16	0.603	3.292	0.348	139.3	7.45

LB: longitud del brote primario; VEL: Velocidad de crecimiento; DIA: Diámetro del brote primario; HOJ: número de hojas; ENT: longitud de entrenudos AFB: Área foliar del brote; AFM: Área foliar promedio de hoja DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

^y Medias con la misma letra en cada columna no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$).

El portainjerto limón ‘Volkameriano’ induce gran altura y diámetro de copa en los huertos mientras que los trifoliados del género *Poncirus* inducen baja altura de planta (Curti-Díaz et al., 2012; Stenzel & Neves, 2004; Machado et al., 2017; Piña-Dumoulin et al., 2006; Mademba et al., 2012; Jiménez et al., 2009). Por otra parte, en algunos estudios se ha resaltado el gran vigor que induce el naranjo ‘Agrio’ (*Citrus aurantium* L.) en la lima persa (Jiménez et al. 2009; Espinoza-Núñez et al., 2011). Sin embargo, ninguno de ellos ha relacionado alguna característica anatómica del tallo de los portainjertos con sus resultados.

En las variables anatómicas (Cuadro 2), limón ‘Volkameriano’ fue el portainjerto que expresó los valores más altos, con excepción de la densidad de vasos donde fue menor (Figura 1) difiriendo estadísticamente del naranjo ‘Agrio’ que

tuvo valores menores. Por otra parte, los trifoliados ‘Rubidoux’ y ‘Flying Dragon’ tuvieron valores más bajos, excepto en la densidad de vasos donde fue mayor, siendo muy similares en la mayoría de las variables medidas, pero ligeramente diferentes en la longitud de los elementos de vaso y la longitud de las fibras.

Cuadro 2. Características anatómicas del tallo de cuatro portainjertos injertados con lima persa ‘Tahití’.

Variables anatómicas del tallo								
Portainjerto	LV (μm)	DV (μm)	DEN (vaso mm^{-2})	AV (μm^2)	LFI (μm)	DFI (μm)	RXI (mm)	PV (%)
‘Naranja Agrio’	234.8 b	43.38 b	46.1 b ^y	576.8b	665.8 a	12.8 b	4.93 a	2.65 b
‘Volkameriano’	254.3 a	54.56 a	45.1 b	1020 a	628.6 a	14.3 a	5.28 a	4.57 a
‘Flying Dragon’	184.0 d	31.67 c	77.4 a	305.6c	479.4 c	13.5ab	4.26 b	2.36 b
‘Rubidoux’	204.8 c	31.13 c	76.8 a	316.3c	558.4 b	12.8 b	4.11 b	2.43 b
DMS	16.02	3.18	9.32	96.56	46.25	1.03	0.514	0.36

LV: Longitud de elemento de vaso; DV: Diámetro del vaso del xilema; DEN: Densidad de vasos del xilema; AV: Área promedio del vaso del xilema; LFI: Longitud de fibras; DFI: diámetro de fibras; RXI: Radio del xilema; PV: Porcentaje del área de vasos.

DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

^y Medias con la misma letra en cada columna no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tuckey a una $P \leq 0.05$).

El limón ‘Volkameriano’ tuvo elementos de vaso más largos y de mayor diámetro que el naranjo ‘Agrio’, éste a su vez mayores que ‘Rubidoux’ y ‘Flying Dragon’, los cuales no presentaron diferencia en diámetro pero sí en longitud (Figura 2).

El naranjo ‘Agrio’ y limón ‘Volkameriano’ tuvieron longitud de fibra similar y estas más cortas para ‘Rubidoux’ y ‘Flying Dragon’. El diámetro de fibras fue mayor en ‘Volkameriano’ y similar en los otros tres (Figura 3). Sin embargo,

todas ellas, de acuerdo con Brenes-Angulo et al. (2012) se clasifican como fibras cortas, menores a 1 mm de longitud.

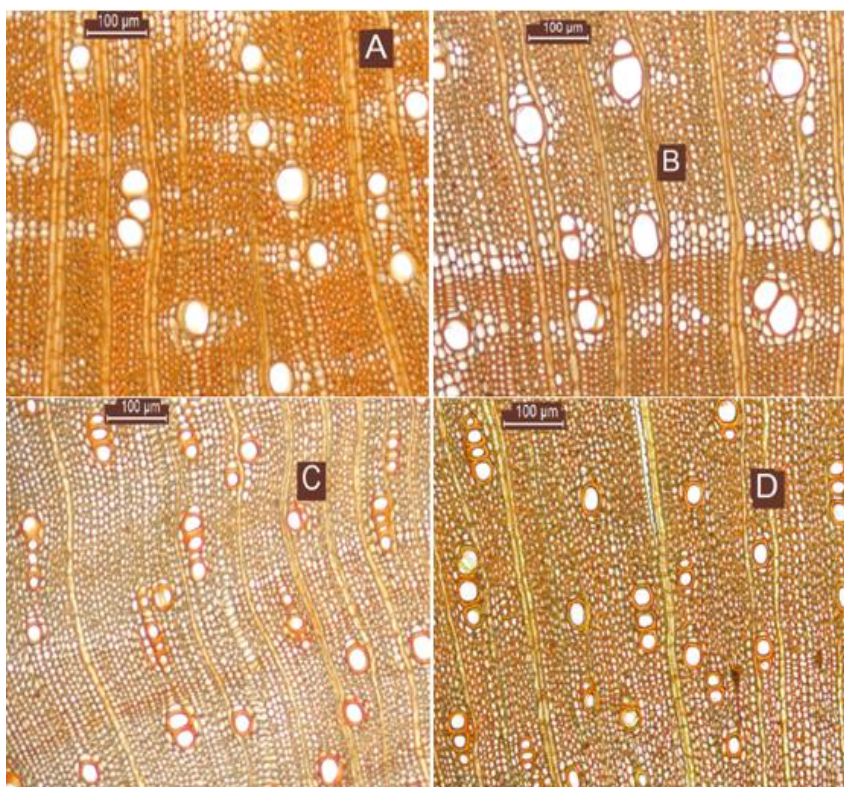


Figura 1. Tamaño y densidad de vasos del xilema secundario del tallo de dos portainjertos vigorosos: (A) naranjo 'Agrio', (B) limón 'Volkameriano'; y dos enanizantes: (C) trifoliado 'Flying Dragon' y (D) trifoliado 'Rubidoux'. Aumento en 10x.

De esta manera, limón 'Volkameriano' y naranjo 'Agrio' que fueron los portainjertos que presentaron los elementos de vaso con mayores dimensiones y de modo inverso una menor densidad de vasos, también presentaron los mayores valores en el crecimiento inicial del brote de lima persa. De manera contraria, 'Flying Dragon' y 'Rubidoux' tuvieron los elementos de vaso más pequeños y con mayor densidad, pero con crecimiento inicial del brote de lima persa reducido.

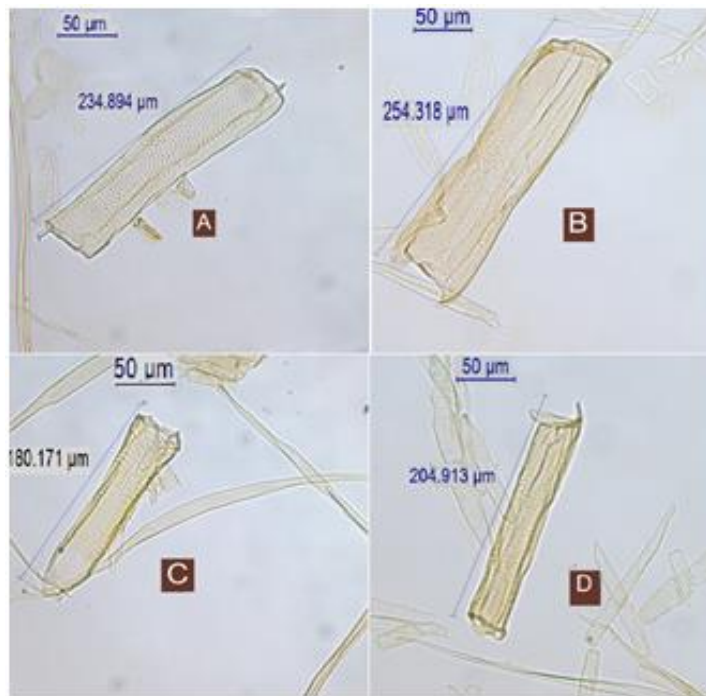


Figura 2. Elementos de vaso promedio del xilema del tallo de dos portainjertos vigorosos: (A) naranjo 'Agrio' y (B) limón 'Volkameriano'; y dos enanizantes: (C) trifoliado 'Flying Dragon' y (D) trifoliado 'Rubidoux'. Aumento en 20X.

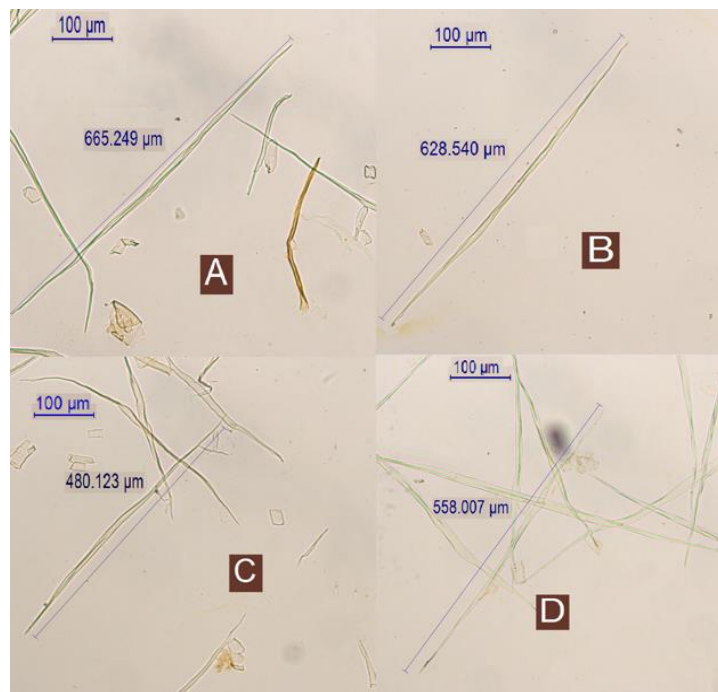


Figura 3. Longitud de fibra promedio del xilema del tallo de dos portainjertos vigorosos: (A) naranjo 'Agrio' y (B) limón 'Volkameriano'; y dos enanizantes: (C) trifoliado 'Flying Dragon' y (D) trifoliado 'Rubidoux'. Aumento en 10X.

En estudios realizados con diversas especies frutales como aguacate, durazno, manzano y cítricos se han descrito efectos semejantes en el desarrollo del brote relacionándolos al tamaño y frecuencia de los vasos del tallo o raíz del portainjerto (Fassio, Heath, Arpaia & Castro, 2009; Tombesi, Johnson, Day & DeJong, 2010; Bauerle, Centinari & Bauerle, 2011; Martínez-Alcántara et al., 2013; Berdeja et al., 2013; Rodríguez, 2012). En ellos mostraron mayor crecimiento del brote cuando los vasos fueron más grandes y menor crecimiento cuando hubo vasos pequeños y más frecuentes.

Los investigadores anteriormente mencionados relacionaron los vasos grandes del xilema con una mayor conductancia hidráulica - ya sea medida o teórica-, con un mayor crecimiento del brote, y cuando los vasos fueron pequeños, la conductancia hidráulica fue baja al igual que el crecimiento.

En el presente estudio, los diámetros de los vasos y su frecuencia permitieron distinguir anatómicamente a los portainjertos que inducen alto vigor y los que inducen enanismo. Partiendo del hecho de que el número de los vasos y su tamaño son factores que determinan la conducción hidráulica en las plantas y ésta a su vez en las relaciones hídricas, se ven reflejadas en el crecimiento vegetativo (Rodríguez, 2012). Lo anterior sugiere que los portainjertos con mayores dimensiones de vasos estarían induciendo a formación de plantas más vigorosas de lima persa por la disponibilidad de agua, minerales y hormonas en la solución, contrario a los portainjertos enanizantes, que tendrían una menor disposición.

La correlación de variables del crecimiento con las variables anatómicas del xilema reveló una fuerte asociación cuando fueron referentes al tamaño, densidad y área de vasos, en la longitud de fibras y en el radio del xilema con cada una de las variables del crecimiento inicial de la lima persa (Cuadro 3).

Sobresalen las altas correlaciones negativas que presenta la densidad de vasos con todas las variables del crecimiento inicial, lo cual indicó que a un número menor de vasos por unidad de superficie existe una variable con un

comportamiento positivo y viceversa. En investigaciones con árboles forestales también se encontraron correlaciones negativas de la densidad media de los vasos del tronco y de las ramas con la altura del árbol y positivas del diámetro de los vasos del tallo con la altura del árbol con (Zach et al., 2010).

La correlación del número de hojas con la densidad encontrada en este estudio es alta y negativa (-0.883), lo cual es similar a lo reportado por Saeed et al. (2010), quienes mencionan que la densidad de vasos está relacionada con el número de hojas, que inducen y controlan la formación de tejido vascular y en consecuencia, altos niveles de auxinas cerca de las hojas, las cuales inducen la formación de numerosos vasos pequeños debido a su rápida tasa de diferenciación.

Al respecto, Aloni y Zimmerman (1983), como resultado de la aplicación exógena de la auxina ácido naftalenacético (ANA) en concentraciones de 0.03, 0,1 y 1 % en *Phaseolus vulgaris* L., encontraron que los niveles más altos de auxina indujeron elementos de vaso del xilema angostos debido a su rapidez de diferenciación, mientras que la baja concentración de auxina dio como resultado una diferenciación lenta y por lo tanto, menos vasos y más grandes.

El radio del xilema mostró altas correlaciones positivas con todas las variables del crecimiento inicial. Saeed et al. (2010) sugieren que portainjertos caracterizados por un crecimiento poco vigoroso poseen elementos de vaso más pequeños, son provocados por niveles más bajos de auxinas, que en conjunto con el efecto de citoquininas favorece la diferenciación de floema, mientras que mayores niveles de auxina/citoquinina favorecen la xilogénesis. En este estudio, los portainjertos vigorosos tuvieron mayor radio del xilema y los portainjertos enanizantes menor radio (Cuadro 3).

La longitud de las fibras presentó una alta correlación con las variables del crecimiento, pero el diámetro mostró muy baja correlación. Es probable que estas características no estén relacionadas a las características del crecimiento ya que la principal función de estas células es de sostén (García et al., 2003), y

que su longitud solo sea consecuencia de la diferenciación celular, sin embargo es necesario continuar con su estudio.

El conocimiento de estos grados de asociación es importante por la probable utilización como indicadores o índices para predecir el comportamiento de una variedad injertada si se conocen las características anatómicas del tallo del portainjerto.

Cuadro 3. Coeficiente de correlación Pearson (r) de variables del crecimiento inicial de lima persa var ‘Tahiti’ con variables anatómicas del tallo de cuatro portainjertos

Variables	Variables del crecimiento						
anatómicas	LB	VEL	DIA	HOJ	ENT	AFB	AFM
LV	0.712	0.870	0.785	0.746	0.612	0.750	0.563
DV	0.731	0.868	0.850	0.799	0.552	0.737	0.444
DEN	-0.853	-0.931	-0.861	-0.883	-0.675	-0.844	-0.534
AV	0.621	0.807	0.804	0.696	0.467	0.628	0.367
LFI	0.793	0.822	0.708	0.800	0.681	0.822	0.582
DFI	0.0208	0.1748	0.2146	0.1337	-0.2704	0.101	0.0790
RXI	0.6790	0.7541	0.7911	0.7635	0.459	0.7209	0.4599
PV	0.418	0.619	0.654	0.517	0.276	0.448	0.241

LB: longitud del brote primario; VEL: Velocidad de crecimiento; DIA: Diámetro del brote primario; HOJ: número de hojas ENT: longitud de entrenudos AFB: Área foliar del brote; AFM: Área foliar promedio de hoja; LV: Longitud de elemento de vaso; DV: Diámetro del vaso del xilema; DEN: Densidad de vasos del xilema; AV: Área promedio del vaso del xilema; LFI: Longitud de fibras; DFI: diámetro de fibras; RXI: Radio del xilema; PV: Porcentaje del área de vasos

CONCLUSIONES

Los portainjertos naranjo 'Agrio' y limón 'Volkameriano' mostraron un crecimiento inicial vigoroso del brote primario de lima persa 'Tahiti' contrario a los portainjertos trifoliados 'Rubidoux' y 'Flying Dragon' que mostraron efecto enanizante.

Tales efectos en el crecimiento inicial se encuentran fuertemente correlacionados a las características de los elementos de vaso del xilema del tallo de los portainjertos, indicando un efecto de las funciones de este tejido en el crecimiento del injerto de lima persa en vivero.

Los altos índices de correlación encontrados en las características de los vasos (longitud, densidad y diámetro) del xilema de tallo del portainjerto con las variables de crecimiento del brote de lima persa indicaron que son variables predictivas del crecimiento del injerto.

LITERATURA CITADA

- Aloni, R. & Zimmermann, M.H. (1983) The control of vessel size and density along the plant axis: a new hypothesis. *Differentiation* 24(1-3), 203–208. <https://doi.org/10.1111/j.1432-0436.1983.tb01320.x>
- Bauerle, T. L., Centinari M. & Bauerle W.L., 2011. Shifts in xylem vessel diameter and embolisms in grafted apple trees of differing rootstock growth potential in response to drought. *Planta*, 234,1045–1054. doi:10.1007/s00425-011-1460-6
- Berdeja-Arbeu, R., Villegas-Monter, A., Borja, R. A., Sahagún-Castellanos, J., Barrios, D.B. & Reyes, A.J.C. (2013) Interacción lima 'Persa'-portainjertos. características de xilema en tallo de portainjerto y vigor de árboles. *Ciencias Agrícolas Informa*, 22(1), 15-22.
- Brenes-Angulo, O., Reyes-Cordero, D. & Moya-Roque, R. (2012). Estudio de la anatomía del xilema secundario de seis especies del género *Citrus* cultivadas en Costa Rica. *Revista Forestal Mesoamericana Kurú (Costa Rica)*, 9(23), 35-44.

- Cantuarias-Avilés, T., Mourão Filho, F.A.A., Stuchi, E.S., Silva, S.R., Espinoza-Núñez, E. & Neto, H. B. (2012) Rootstocks for high fruit yield and quality of 'Tahiti' lime under rain-fed conditions. *Scientia Horticulturae*, 142, 105–111. Obtenido de <http://dx.doi.org/10.1016/j.scienta.2012.05.008>
- Curti-Díaz, S. A., Hernández-Guerra, C. & Loredó-Salazar, R. X. (2012) Productividad del limón 'Persa' injertado en cuatro portainjertos en una huerta comercial de Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 18 (3), 291-305. doi: 10.5154/r.rchsh.2010.11.109
- Espinoza-Núñez, E., Mourão-Filho, F.A.A., Sanches-Stuchi, E., Cantuarias-Avilés, T. & Dos Santos-Dias, C.T. (2011) Performance of 'Tahiti' lime on twelve rootstocks under irrigated and non-irrigated conditions. *Scientia Horticulturae*, 129, 227–231. doi:10.1016/j.scienta.2011.03.032
- Fassio, C., Heath R., Arpaia, M.L. & Castro, M. (2009) Sap flow in 'Hass' avocado trees on two clonal rootstocks in relation to xylem anatomy. *Scientia Horticulturae*, 120, 8–13. doi:10.1016/j.scienta.2008.09.012
- Franklin, G.L. (1945). Preparation of thin sections of synthetic resins and wood-resin composites, and a new macerating method for wood. *Nature*, 155 (3924), 51. doi:10.1038/155051a0
- García, E. L., Guindeo, C. A., Peraza, O. C. & de Palacios, D. P. (2003). *La madera y su anatomía* (1ª ed.). España: Mundi-Prensa.
- Jiménez, R., Frómeta, E. & García, E. (2009) Estudio de siete patrones para el cultivar limero Persa SRA58 (*Citrus latifolia* (L.) Tan.) en condiciones de Cuba. *Revista CitriFrut*, 26 (2), 47-52.
- Machado, D.L.M., Siqueira, D. L., Salomão, L.C.C., Cecon, P.R. & Da Silva, D. P.P. (2017) Evaluation of rootstocks for 'Tahiti' acid lime in northern state of Minas Gerais. *Rev. Bras. Frutic.*, 39 (1), 1-12. doi: 10.1590/0100-29452017790
- Mademba-Sy, F., Lemerre-Desprez, Z. & Lebegin S. (2012) Use of Flying Dragon trifoliolate orange as dwarfing rootstock for Citrus under tropical climatic conditions. *HortScience*, 47(1), 11–17.
- Martínez-Alcántara, B., Rodríguez-Gamir, J., Martínez-Cuenca, M. R., Iglesias, D.J., Primo-Millo, E., & Forner-Giner, M.A. (2013). Relationship between hydraulic conductance and citrus dwarfing by the Flying Dragon rootstock (*Poncirus trifoliata* L. Raft var. monstrosa). *Trees*, 27, 629–638. doi:10.1007/s00468-012-0817-1
- Piña-Dumoulin, G. J., Laborem, E. G., Monteverde, E. E., Magaña-Lemus, S., Espinoza M. & Rangel L. A. (2006). Crecimiento, producción y calidad de frutos en limeros 'Persa' sobre 11 portainjertos. *Agronomía Trop.*, 56 (3), 433-448.
- Portella, C.R., Marinho, C. S., Amaral, B.D., Carvalho, W.S.G., Campos, G.S., Silva, M.P.S. & Sousa M.C. (2015) Desempenho de cultivares de citros enxertadas sobre o trifoliatoeiro 'Flying Dragon' e limoeiro 'Cravo' em fase de

- formação do pomar. *Bragantia, Campinas*, 75 (1), 70-75. Obtenido de: <http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.267>
- Rodríguez G. J. (2012). Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España.
- Saeed M., Dodd, P. B. & Sohail, L. (2010) Anatomical studies of stems, roots and leaves of selected citrus rootstock varieties in relation to their vigour. *Journal of Horticulture and Forestry*, 2(4), 87-94.
- Stenzel, N. M. C. & Neves, C. S. V. J. (2004) Rootstocks for Taithi lime. *Sci. Agric.*, 61,151-155.
- Tadeo F. R., Moya, J. L., Iglesias, D.J., Talón, M., & Primo-Millo, E. (2003). *Histología y citología de cítricos*. Generalitat Valenciana. Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación. Valencia, España.
- Tombesi, S., Johnson, R.S., Day, K.R., & DeJong, T.M. (2012) Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size-controlling capacity of peach rootstocks. *Annals of Botany*, 105, 327–331. doi:10.1093/aob/mcp281
- Vasconcellos, L.A.B.C. & Castle W.S. (1994) Trunk xylem anatomy of mature healthy and blighted grapefruit trees on several rootstocks. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 119 (2), 185–194.
- Zach, A., Schuldt, B., Brix, S., Horna, V., Culmsee, H., & Leuschner, Ch. (2010) Vessel diameter and xylem hydraulic conductivity increase with tree height in tropical rainforest trees in Sulawesi, Indonesia. *Flora*, 205, 506–512. doi:10.1016/j.flora.2009.12.008

**CAPÍTULO 3. EFECTO DEL INTERINJERTO EN EL
CRECIMIENTO INICIAL DE LIMA PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka)
CV. 'TAHITI'**

EFFECTO DEL INTERINJERTO EN EL CRECIMIENTO INICIAL DE LIMA PERSA (*Citrus latifolia* Tanaka) cv. TAHITI

EFFECT OF INTERSTOCK IN THE INITIAL GROWTH OF PERSIAN LIME (*Citrus latifolia* Tanaka) cv. TAHITI

Martín Gaona Ponce¹, Gustavo Almaguer Vargas²

Alejandro F. Barrientos Priego y Amparo M. Borja De la Rosa

RESUMEN

Este estudio se realizó para generar información sobre los efectos de algunas variedades de cítricos utilizadas como interinjertos en las características del crecimiento inicial de brote primario de la lima persa var. 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.) y su relación con características del tallo. Se utilizaron como interinjertos trifoliado 'Flying Dragon' (*Poncirus trifoliata* var. 'Monstruosa'), trifoliado 'Rubidoux' (*P. trifoliata* var. 'Rubidoux') y la propia lima 'Tahiti'; y como portainjertos se utilizó el naranjo 'Agrio' (*C. aurantium* L.) y limón 'Volkameriano' (*C. volkameriana* Tenn. & Pasq.), en un arreglo experimental factorial 2 X 4. Se midieron y analizaron ocho variables del crecimiento inicial del injerto final y seis características del tallo y se correlacionaron entre ellas. 'Agrio' con interinjerto afectó significativamente la longitud, velocidad de crecimiento, diámetro y longitud de entrenudos del brote primario en 18, 22, 12 y 14 % menor con respecto a 'Volkameriano' con interinjerto. El efecto de cada interinjerto dependió del portainjerto utilizado. 'Rubidoux' sobre 'Volkameriano' tuvo los valores más altos en seis variables del crecimiento, pero cuando se combinó con 'Agrio' tuvo los menores valores, induciendo características de enanismo en el brote primario de lima 'Tahiti'. El diámetro de tallo de ambos portainjertos se afectó por el interinjerto. 'Rubidoux' incrementó el

SUMMARY

This study was conducted to generate information on the effects of some citrus varieties used as interstocks on the initial growth characteristics of the primary shoot of the persian lime cv. 'Tahiti' (*Citrus latifolia* Tan.) And its relationship with stem characteristics. 'Flying Dragon' trifoliolate (*Poncirus trifoliata* var. 'Monstruosa'), 'Rubidoux' trifoliolate (*P. trifoliata* var. 'Rubidoux') and 'Tahiti' lime were used as interstocks; and as rootstocks were used the 'Agrio' orange (*C. aurantium* L.) and 'Volkameriano' lemon (*C. volkameriana* Tenn. & Pasq.), in a 2 x 4 experimental factorial arrangement. Eight variables of initial growth and six of the stem were measured, analyzed and correlated with each other. 'Agrio' with interstock significantly affected the length, growth velocity, diameter and length of internodes of the primary shoot in 18, 22, 12 and 14% lower with respect to 'Volkameriano' with interstock. The effect of each interstock depended on the rootstock used. 'Rubidoux' over 'Volkameriano' had the highest values in six growth variables, but when combined with 'Agrio' it had the lowest values, inducing dwarfing characteristics in the primary shoot of 'Tahiti' lime. The stem diameter of both rootstocks was affected by the interstock. 'Rubidoux' increased the diameter of 'Volkameriano' but not

¹ Tesista

² Director

diámetro de 'Volkameriano' pero no el de naranjo Agrio. Por otra parte, el interinjerto 'Flying Dragón' presentó mayor diámetro que el portainjerto donde se estableció. Se encontraron correlaciones bajas (-0.222 a 0.502) del diámetro del portainjerto y del interinjerto; del grosor de la corteza del portainjerto y del interinjerto con todas las variables del crecimiento del brote primario de lima 'Tahiti'.

Palabras clave: *Citrus latifolia*, *Poncirus trifoliata*, interinjerto, enanismo

that of Agrio orange. On the other hand, the 'Dragon Flying' interstock presented bigger diameter than the rootstock where it was established. We found low correlations (-0.222 to 0.02) of the diameter of the rootstock, the diameter of the interstock, the thickness of the cortex of the rootstock and the thickness of the cortex of the interstock with all the growth variables of the primary shoot of Persian lime.

Index words: *Citrus latifolia*, *Poncirus trifoliata*, interstock, dwarfing

INTRODUCCIÓN

El control del tamaño del árbol es un objetivo productivo en la horticultura moderna (Wheaton et al., 1995; Curti-Díaz et al., 2012). Los huertos con árboles grandes frecuentemente presentan problemas de sombreado en exceso, baja circulación de aire, incremento de problemas fitosanitarios, dificultad en el manejo y cosecha de la plantación, incremento de los costos de producción y una reducción de los rendimientos (Medina-Urrutia, et al., 2004; Casierra-Posada y Guzmán, 2009), por lo que es importante usar árboles de tamaño reducido que eviten esos problemas.

En México, los portainjertos empleados en las plantaciones de lima persa inducen un tamaño del árbol considerado como estándar o grande, causando la situación anteriormente mencionada. Por otra parte, el número de plantas se reduce paulatinamente por la presencia de enfermedades como la gomosis, tristeza y "wood pocket" (Villegas y Mora, 2011). Recientemente, la aparición de la enfermedad bacteriana "Huanglongbing" (HLB) ha generado propuestas estratégicas que incluyen ensayos con plantas de baja altura y en altas

densidades (Com. Pers., 2013; Curti-Díaz et al., 2012; Sanchez y Girardi, 2010; Dogar et al., 2017)¹.

Las técnicas más utilizadas para el control del tamaño son la poda y el empleo de portainjertos enanizantes. La poda es benéfica, pero representa el 22 % de los costos de producción (Almaguer y Ayala, 2014; Agusti, 2003).

El uso de patrones enanizantes ha sido documentado en especies frutales como el manzano (Parra et al., 2002), mango (Casierra-Posada y Guzmán, 2009), aguacate (Ben-Ya'akov & Zilberstaine, 1999) y cítricos (Berdeja-Arbeu et al., 2010; Cheng & Roose, 1995; Espinoza-Núñez et al., 2011; Forner, 1998; Mademba et al., 2012) entre otros. En este último grupo de frutales solo se han registrado a 'Flying Dragon' (*Poncirus trifoliata* var. *monstrosa* T. Ito Swing), a 'Rubidoux' (*P. trifoliata* L. Raf. var. *Rubidoux*), así como híbridos de *P. trifoliata* con otros cítricos, como portainjertos enanizantes.

Otra técnica con menor frecuencia en frutales es el interinjerto o injerto intermedio. Este consiste en injertar sobre el portainjerto una especie o variedad determinada para posteriormente injertar sobre esta última la variedad que se desea cultivar y que constituirá la copa. Estudios con algunos cítricos como la naranja, tangelos y limones indican el efecto del interinjerto en el control del tamaño, la calidad de fruta y jugo (Castle, 1992; Gil et al., 2004; Khan et al., 2007; Espinoza-Núñez et al., 2011; Girardi & Mourão, 2007; Sugiyatno & Palupi, 2017).

Espinoza-Núñez et al. (2011) evaluaron diferentes portainjertos y como interinjerto 'Flying Dragon' en plantas de lima persa. Encontraron que el efecto de interinjerto sobre el vigor de la planta dependió del portainjerto. Las plantas interinjertadas en el trifoliado "Davis A" fueron más altas que aquellos sin

¹ Comunicación personal. COEPLIM (2013) Proyecto integral para reducir el impacto de la enfermedad del HLB, en las plantaciones de cítricos del estado de Colima. Consejo Estatal de Productores de Limón. Gobierno del estado de Colima.

interinjerto. En contraparte, las plantas interinjertadas en limón Volkameriano 'Catania 2' fueron menos vigorosos que aquellos sin interinjerto.

Sugiyatno & Palupi (2017) evaluaron 24 combinaciones de interinjerto-injerto en portainjerto de lima Rangpur, para mandarina 'Batu 55', tangerina 'Pontianak' y lima 'Nimas' con el objetivo de mejorar el crecimiento. Entre los interinjertos evaluados estuvo 'Flying Dragon' y limón Volkameriano. El uso de *Poncirus trifoliata* como material intermedio estimuló brotación rápida en tangerina 'Pontianak', mientras que el citrange Troyer estimuló el crecimiento del brote en lima 'Nimas'. Por otra parte, citrange 'Carrizo' influyó en el diámetro de la planta de lima 'Nimas'.

Por lo anteriormente mencionado, es necesario continuar con la evaluación de materiales enanizantes y comunes que permitan resolver los inconvenientes del tamaño, por lo que los objetivos de este estudio fue evaluar los efectos de las relaciones portainjerto\interinjerto en las variables del crecimiento del brote primario, correlacionar características del diámetro y grosor de corteza del portainjerto e interinjerto con las características del crecimiento del brote primario e identificar al menos una combinación que reduzca significativamente las variables del crecimiento del brote primario de lima persa 'Tahiti'.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó durante 2016 en un invernadero con cubierta de cristal ubicado en el Campo Agrícola Experimental de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, situado a 19° 29' N y a 98° 52' O, a una altitud de 2240 m.

Se obtuvieron plantas de dos portainjertos de 6 meses de edad del vivero Maricruz, en Arroyo de Piedra, Tlapacoyan, Veracruz, México. Se trasladaron a

Chapingo, México, se trasplantaron en macetas individuales de 16 L de capacidad, colocadas en dicho invernadero por otros tres meses para su adaptación. El sustrato fue una mezcla de suelo limo-arenoso + 10 % composta, la temperatura media en este período fue de 29 °C. Posterior a este período se realizó el primer injerto. El segundo injerto en los tratamientos que lo indicaban se hizo 4 meses después.

El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar con un arreglo de tratamientos factorial (2x4), en donde el factor 1 fue portainjertos (limón 'Volkameriano' *C. volkameriana* Tenn. & Pasq. y naranjo 'Agrio' *C. aurantium* L.) y el factor 2 fue el interinjerto (trifoliado 'Flying Dragon' *Poncirus trifoliata* var 'Monstruosa' y trifoliado 'Rubidoux' *P. trifoliata* var. Rubidoux, la lima persa 'Tahiti' y tratamiento sin interinjerto). Como injerto final se usó lima persa 'Tahiti' en todos los tratamientos. El tipo de injerto practicado fue el de escudete.

Los tratamientos resultantes portainjerto\interinjerto fueron: 1) 'Volkameriano'\ 'Flying Dragon', 2) 'Volkameriano'\ 'Rubidoux', 3) 'Volkameriano'\ lima 'Tahiti', 4) 'Volkameriano'\ sin interinjerto, 5) 'Agrio'\ 'Flying Dragon', 6) 'Agrio'\ 'Rubidoux', 7) 'Agrio'\ lima 'Tahiti', y 8) 'Agrio'\ sin interinjerto.

Las variables que se midieron fueron las siguientes:

Longitud del brote primario (LONG). Se midió semanalmente con flexómetro desde la base del injerto hasta el ápice. Se consideró una longitud final cuando la medida fue constante.

Velocidad de crecimiento (VEL). Se contabilizó el número de días hasta llegar a longitud constante con lo que se obtuvo la longitud diaria.

Diámetro del brote primario (DIA). Se midió el brote a 4 cm de la base del injerto con un vernier digital Pretul®.

Número de hojas (HOJ). Se contó la totalidad de hojas del brote primario.

Longitud de entrenudos (ENT). Se obtuvo dividiendo la longitud total entre el número de entrenudos del brote primario.

Área foliar del brote (AFB) Se calculó con la suma del área de todas las hojas del brote. Se usó el programa Image Tool v3.

Área promedio de hoja (AFM). Se calculó dividiendo el área foliar total entre el número de hojas.

Para correlacionar variables del crecimiento del tallo con las variables del crecimiento inicial del brote primario se midieron los diámetros y grosor de corteza de portainjertos y de interinjertos, con los que se calcularon dos cocientes o relaciones. Estas mediciones se hicieron con un vernier digital Pretul®, a 3 cm del punto de injertación. Un cociente mayor a 1 indicó que el diámetro o el grosor de corteza del interinjerto es mayor que el diámetro o grosor de corteza del portainjerto. Menor a 1 indicó lo contrario.

Los datos se analizaron en un diseño experimental factorial 2x4 con seis repeticiones por tratamiento donde el factor 1 fueron los portainjertos y el factor 2 el interinjerto. Para cada variable se realizó análisis de la varianza ($P \leq 0.05$) y prueba de comparación de medias de Tuckey, así como la correlación de Pearson entre variables del tallo y del crecimiento del brote primario con el programa SAS v9.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los análisis de la varianza aplicados a las variables del crecimiento inicial del brote de lima persa 'Tahiti' indicaron diferencias significativas en seis de siete variables evaluadas (Cuadro 1). La variable que no presentó diferencia estadística significativa fue el área foliar promedio (33.78 ± 3.76), lo cual indica que esta variable no fue afectada por el portainjerto o por el interinjerto.

Cuadro 1. Efecto de los factores portainjerto e interinjerto en el crecimiento del brote primario de lima 'Tahiti'.

Factor\variable	LONG (cm)	VEL (mm día ⁻¹)	DIA (mm)	HOJ	LENT (cm)	AFM (cm ²)	AFT (cm ²)
Portainjerto							
'Volkameriano'	40.5 a ^y	11.5 a	4.92 a	19.8 a	2.04 a	34.38 a	657.6 a
'Agrio'	33.1 b	9.02 b	4.28 b	18.7 a	1.75 b	33.19 a	636.6 a
DMSH	2.4	0.59	0.24	1.38	0.11	2.03	55.2
Interinjerto							
'Flying Dragon'	34.5 b	9.81 bc	4.45 a	17.83 b	1.95 a	35.50 a	633.2 a
'Rubidoux'	34.4 b	9.35 c	4.57 a	18.17 b	1.83 a	34.75 ab	619.9 a
Lima 'Tahiti'	36.5 b	10.79 ab	4.79 a	20.1 ab	1.81 a	33.81 ab	681.9 a
Sin interinjerto	41.7 a	11.11 a	4.59 a	21.0 a	1.99 a	31.07 b	653.1 a
DMSH	4.6	1.11	0.45	2.59	0.20	3.8	103.5
CV (%)	11.45	9.90	9.06	12.29	9.81	10.29	14.6

LONG: Longitud del brote primario; VEL: Velocidad de crecimiento; DIA: Diámetro del brote primario; HOJ: Número de hojas; LENT: longitud de entrenudos AFM: Área foliar media; AFT: Área foliar total del brote DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: coeficiente de variación.

^y Medias con la misma letra en cada columna no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

En general, se observó que la combinación naranjo 'Agrio'\ 'Rubidoux' presentó los menores valores en todas las variables medidas, mientras que el tratamiento con mayores valores fue 'Volkameriano'\ 'Rubidoux', lo cual nos indicó que el portainjerto ejerció efecto diferenciado con el mismo interinjerto. Cuando se utilizaron 'Flying Dragon' y lima 'Tahiti' como interinjeritos el efecto observado fue el mismo tanto en el portainjerto 'Volkameriano' como en 'Agrio'. De la misma manera, cuando no se realizó interinjerto, el desarrollo de la lima persa 'Tahiti' sobre el portainjerto fue similar tanto con 'Volkameriano' como con 'Agrio' en todas las variables.

Factor portainjerto

Los análisis factoriales indicaron que existió influencia del portainjerto utilizado en las variables del crecimiento inicial del brote de lima persa 'Tahiti', cuando se usó interinjerto. El análisis comparativo de las medias estadísticas (Cuadro 2) permitieron observar que los portainjertos naranjo 'Agrio' y limón 'Volkameriano' tuvieron comportamiento diferenciado cuando se usó interinjerto, en la longitud del brote primario de la lima persa 'Tahiti', en la velocidad de crecimiento, en el diámetro del brote y en la longitud de entrenudos, pero el número de hojas, el área promedio de hoja y el área foliar del brote se mostraron de manera similar.

En un estudio realizado por Gaona et al. (2018, Com. Pers.)¹ fue evaluado el efecto de portainjertos de naranjo 'Agrio' y limón 'Volkameriano' injertados con lima 'Tahiti', donde encontraron desarrollo similar del brote en variables como área foliar del brote, área foliar promedio, el número de hojas, longitud de entrenudos y diámetro de los brotes y ligeramente diferentes en su longitud. Lo anterior nos indicaría que las diferencias serían ocasionadas por el efecto del interinjerto.

En ese sentido, Núñez et al. (2011) dedujeron que el efecto del portainjerto se encubre de acuerdo al tipo de interinjerto que se use. Ellos encontraron que usando 'Flying Dragon' como interinjerto en limón Volkameriano redujo las dimensiones de la planta, y cuando lo usaron sobre trifoliado 'Davis' incrementó el tamaño de la planta. En este estudio, los portainjertos 'Volkameriano' y Agrio tuvieron un comportamiento similar en plantas sin interinjerto pero cuando este se agregó, modificó el comportamiento. El interinjerto 'Rubidoux' en portainjerto naranjo Agrio, redujo el crecimiento del brote de lima persa 'Tahiti' en todas las variables, mientras que en 'Volkameriano' aumentó la longitud del brote.

¹ Gaona-Ponce, M., Almaguer-Vargas, G., Barrientos-Priego, F. A. y Amparo M. Borja-De la Rosa (2018) Relación de características anatómicas del xilema de portainjertos con el crecimiento inicial de lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka) var. Tahiti. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. Artículo en revisión.

Cuadro 2. Comparación de medias de la combinación portainjerto\interinjerto en las variables de crecimiento del brote primario de lima persa 'Tahiti'.

PORTAINJERTO\INTERINJE RTO	LONG (cm)	VEL mm.dia ⁻¹	DIA (mm)	HOJ	LENT (cm)	AFT (cm ²)
'Volkameriano'\Flying Dragon'	35.68 bc	10.4 bc	4.73 ab	17.1 bc	2.1 ab	607.4 ab
'Volkameriano'\Rubidoux'	48.7 a	12.99 a	5,3 a	22.3 a	2.19 a	747.2 a
'Volkameriano'\Lima'Tahiti'	37.2 bc	11.2 ab	4.93 ab	19.6 ab	1.88 abc	675.7 a
'Volkameriano' sin interinjerto	40.4 bc	11.5 ab	4.73 ab	20.3 ab	1.99 abc	600.1 ab
'Agrio'\Flying Dragon'	33.3 c	9.26 c	4.18 bc	18.5 ab	1.8 bcd	659.6 ab
'Agrio'\Rubidoux'	20.08 d	5.72 d	3.85 c	14.0 c	1.47 d	492.5 b
'Agrio'\ Lima 'Tahiti'	35.88 bc	10.4 bc	4.65 ab	20.6 ab	1.73 cd	688.2 a
'Agrio' sin interinjerto	42.9 ab	10.7 bc	4.45 bc	21.6 a	1.99 abc	706.1 a
DMSH	7.7	1.8	0.77	4.3	0.34	174.5
CV (%)	11.55	9.9	9.06	12.29	9.81	14.6

LONG: Longitud del brote primario; VEL: Velocidad de crecimiento; DIA: Diámetro del brote primario; HOJ: Número de hojas; LENT: longitud de entrenudos; AFT: Área foliar total del brote; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: coeficiente de variación

^y Medias con la misma letra en cada columna no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

El diámetro de portainjerto presentó diferencia significativa por efecto del interinjerto (Cuadro 3). Cuando la planta tuvo como interinjerto a 'Rubidoux', el diámetro de 'Volkameriano' se incrementó, pero cuando se hizo en naranjo Agrio, el diámetro fue menor. Por otra parte, el grosor de la corteza en cada portainjerto no se modificó por efecto del interinjerto, aunque fueron diferentes entre ellos, siendo mayor en naranjo 'Agrio'. Por otra parte, esta característica tuvo correlación baja con las variables del crecimiento inicial de lima 'Tahiti' (Cuadro 4).

Cuadro 3. Efecto de la combinación portainjerto\interinjerto en diámetro y grosor de corteza del tallo formado por el interinjerto, en plantas con injerto final de lima persa 'Tahiti'.

PORTAINJERTO\INTERINJE RTO	DI (mm)	DP (mm)	DI/DP	CI (mm)	CP (mm)	CI/CP
'Volkameriano'\Flying Dragon'	21.14 a ^y	15.78 bc	1.33 a	1.08 abc	0.67 b	1.61 ab
'Volkameriano'\Rubidoux'	19.02 ab	18.84 a	1.011 c	0.99 bcd	0.67 b	1.48 bc
'Volkameriano'\Lima 'Tahiti'	16.64 b	18.8 a	0.89 c	1.24 ab	0.66 b	1.9 a
'Volkameriano' sin interinjerto	15.4 b	17.2 ab	0.89 c	0.91 cd	0.66 b	1.38 bcd
'Agrio'\Flying Dragon'	18.45 ab	14.45 c	1.26 ab	1.1 abc	0.68 ab	1.6 ab
'Agrio'\Rubidoux'	16.26 b	15.5 c	1.05 bc	0.74 d	0.68 ab	1.08 d
'Agrio'\Lima 'Tahiti'	17.96 ab	17.1 ab	1.05 bc	1.28 a	0.77 a	1.66 ab
'Agrio' sin interinjerto	15.53 b	15.98 bc	0.97 c	1.02 bc	0.81 a	1.26 cd
DMSH	4.45	2.3	0.23	0.25	0.12	0.29
CV (%)	13.7	7.61	12.0	13.8	9.9	10.8

DI: Diámetro del interinjerto; DP: Diámetro del portainjerto; CI: Grosor de corteza del interinjerto; CP: Grosor de la corteza del portainjerto; DMSH: Diferencia mínima significativa honesta. CV: coeficiente de variación. ^y Medias con la misma letra en cada columna no presentan diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey a una $P \leq 0.05$.

Se encontraron correlaciones positivas bajas del diámetro del portainjerto con las variables de crecimiento inicial del brote de lima 'Tahiti' (Cuadro 4), que en el caso del diámetro del brote de lima 'Tahiti' (0.502) podría indicarnos una tendencia, sin embargo, se consideró con bajo grado de asociación.

Factor Interinjertos

Pudo observarse que el factor interinjerto tuvo efecto en la reducción de la longitud del brote primario (12-17 %), en la velocidad de crecimiento (hasta 1.5 mm.dia⁻¹ más lento que el tratamiento sin interinjerto), reducción en el número de hojas (de 2-3 hojas menos en el brote primario) y el área foliar promedio menor (con respecto a plantas sin interinjerto). En contraparte, no afectó el diámetro, ni la longitud de entrenudos, ni el área total foliar del brote.

Cuadro 4. Coeficiente de correlación entre variables del tallo del injerto e interinjerto con variables de crecimiento inicial del brote de lima persa 'Tahiti'.

VARIABLES	LONG	VEL	DIA	HOJ	LENT	AFM	AFT
DI	0.082	0.173	0.189	-0.068	0.261	0.233	0.093
DP	0.342	0.434	0.502	0.310	0.210	-0.220	0.192
DI/DP	-0.157	-0.123	-0.147	-0.260	0.079	0.362	-0.031
CI	0.196	0.313	0.139	0.1825	0.195	0.004	0.235
CP	0.095	-0.002	-0.166	0.126	0.045	-0.222	0.006
CI/CP	0.165	0.361	0.259	0.122	0.201	0.147	0.257

LONG: Longitud del brote primario; VEL: Velocidad de crecimiento; DIA: Diámetro del brote primario; HOJ: Número de hojas; LENT: longitud de entrenudos; AFM: Área foliar promedio AFT: Área foliar total del brote DI: Diámetro del interinjerto; DP: Diámetro del portainjerto; DI/DP: Cociente DI/DP CI: Grosor de corteza del interinjerto; CP: Grosor de la corteza del portainjerto CI/CP: Cociente CI/CP

En este factor se observó el comportamiento contrastante de trifoliado 'Rubidoux' que cuando se usó como interinjerto en limón Volkameriano logró los mayores valores en la longitud del brote, en la velocidad de crecimiento y en el número de hojas; mientras que cuando se usó en naranjo 'Agrio' ocurrió lo contrario logrando los valores más bajos en todas las variables (Cuadro 2).

Al respecto, Sugiyatno y Palupi (2017) encontraron respuestas variadas del crecimiento de los brotes de mandarina, tangerina y lima dependiendo de los materiales intermedios utilizados en el tratamiento. Con citrange 'Troyer' como interinjerto, el brote primario de tangerina 'Pontiak' creció significativamente más (46.17 cm) que cuando se usó el híbrido Kansí (25.66 cm), o como en el crecimiento del brote de mandarina 'Batu 55', que cuando se usó como interinjerto al limón Volkameriano (46.02 cm) fue mucho mayor que cuando se hizo injerto simple de mandarina en lima Rangpur (26.96 cm).

Con respecto al número de hojas de los brotes primarios, se encontró que el interinjerto 'Flying Dragon' en Volkameriano y el interinjerto 'Rubidoux' en

‘Agrio’, redujeron los valores a 17 y 14, respectivamente, mientras que en injerto simple en los mismos portainjertos, los valores fueron de 20 y 21 hojas en el brote primario. En este sentido, investigaciones en Tangerina ‘Pontianak’ (Sugiyatno & Palupi, 2017) demostraron que el interinjerto puede reducir el número de hojas, pero también lo puede incrementar. Los resultados indicaron que cuando se usó como interinjerto al híbrido Kansi el número de hojas se redujo a 15.1, con el interinjerto citrange ‘Troyer’ el número se incrementó a 33.8 mientras que en injerto simple el número fue de 21. En este sentido, y como lo expresaron González-Grandío *et al.* (2017) en la brotación de las yemas, que comprenden meristemos, primordios foliares y a veces meristemos florales existe desconocimiento de las redes genéticas que controlan la mayoría del proceso de desarrollo.

El diámetro de los interinjertos mostró poca variabilidad estadística (Cuadro 3). Solo el interinjerto ‘Flying Dragon’ sobre Volkameriano resultó mayor que lima ‘Tahiti’ sobre Volkameriano, mientras que los interinjertos en naranjo Agrio tuvieron un diámetro similar estadísticamente.

Tanto el diámetro del interinjerto como su cociente con el diámetro del portainjerto mostraron correlaciones bajas con las variables del crecimiento inicial de la lima persa ‘Tahiti’ (Cuadro 4), lo cual indicó una baja asociación entre estas variables.

El grosor de la corteza de los interinjertos se afectó por el hecho de ser interinjerto. Esto pudo observarse en los tratamientos donde el interinjerto fue lima ‘Tahiti’, ya sea en Volkameriano o en ‘Agrio’ como portainjerto. Estos al compararse con los injertos simples mostraron un incremento en el grosor de la corteza, ya que en los injertos simples el brote de lima persa midió 0.91 mm y 1.02 mm; y cuando se emplearon como interinjertos el grosor de corteza se incrementó a 1.24 y 1.28 mm respectivamente, siendo diferentes estadísticamente (Cuadro 3).

El grosor de la corteza de los interinjertos 'Flying Dragon' y lima persa 'Tahiti' se mantuvieron semejantes tanto en uno como en otro portainjerto, no así 'Rubidoux' que en 'Volkameriano' presentó mayor grosor de corteza, mientras que en naranjo 'Agrio' tuvo menor grosor. Sin embargo, presentaron correlaciones positivas bajas con las variables del crecimiento inicial del brote de lima 'Tahiti', indicando que su grado de asociación es bajo (Cuadro 4).

El grosor de corteza ha sido observado por Saed et al. (2010) donde las variedades más vigorosas de portainjertos de cítricos tendían a tener corteza (floema) más estrechos que las variedades menos vigorosas. En este estudio no se registró asociación en la corteza del portainjerto, ni en la corteza del interinjerto ni en su cociente, con las variables de crecimiento inicial de lima 'Tahiti', pues el efecto del interinjerto se refleja de manera diferenciada en el tipo de portainjerto que se usa, como se mostró en el caso de trifoliado 'Rubidoux'.

CONCLUSIONES

Las plantas de lima 'Tahiti' interinjertadas con trifoliado 'Rubidoux', 'Flying Dragon' o lima persa, fueron afectadas significativamente en la longitud, velocidad de crecimiento, diámetro, número de hojas, longitud de entrenudos y área foliar del brote primario. Sin embargo, el efecto de cada interinjerto dependió del portainjerto utilizado.

El diámetro del portainjerto y del interinjerto, el grosor de corteza del portainjerto y del interinjerto, así como sus cocientes mostraron coeficientes de correlación bajos con las variables del crecimiento inicial del brote de lima 'Tahiti', indicando con ello un bajo grado de asociación entre estas variables, no siendo apropiadas con fines de predicción.

El uso de trifoliado 'Rubidoux' como interinjerto sobre naranjo Agrio, indujo características de enanismo en el brote primario de lima persa 'Tahiti'.

LITERATURA CITADA

- Agusti, M. (2003) Citricultura. Mundi-Prensa. 2a edición. Madrid-Barcelona-México. 423 p.
- Almaguer V., G. y A.V. Ayala G. (2014) Adopción de innovaciones en limón 'Persa' (*Citrus latifolia* Tan.) en Tlapacoyan, Veracruz. Uso de bitácora. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 20:89-100, <http://dx.doi.org/10.5154/r.rchsh.2010.10.076>
- Ben-Ya'akov and M. Zilberstaine (1999) Clonal avocado (*Persea americana* Mill.) rootstocks in Israel. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 5:39-42, <https://chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchshV722.pdf>
- Berdeja-Arbeu, R., Villegas-Monter, A., Ruíz-Posadas, L. M., Sahagún-Castellanos, J. y M. T. Colinas-León (2010) Interacción lima persa-portainjertos: Efecto en características estomáticas de hoja y vigor de árboles. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16:91-97, <http://www.scielo.org.mx/pdf/rcsh/v16n2/v16n2a4.pdf>
- Casierra-Posada, F. y J. A. Guzmán (2009) Efecto del portainjerto y del injerto intermedio sobre la calidad de fruta en mango (*Mangifera indica* L.) *Agronomía Colombiana* 27:367-374, Consultado en internet <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180316242010>
- Castle, W.S. (1992) Rootstock and interstock effects on the growth of young 'Minneola' tangelo trees. *Proceedings of the Florida State Horticultural Society* 105:82-8, http://www.crec.ifas.ufl.edu/extension/citrus_rootstock/Rootstock_Literature/1992%20Castle%20FSHS%20%20Rtstks%20Interstks%20Minneola'.pdf
- Curti-Díaz, S., Hernández-Guerra, C. y R. X. Loredó-Salazar (2012) Productividad del limón 'Persa' injertado en cuatro portainjertos en una huerta comercial de Veracruz, México. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18:291-305, doi: 10.5154/r.rchsh.2010.11.109
- Cheng, F. S. and M. L. Roose (1995) 1995. Origin and inheritance of dwarfing by the citrus rootstock *Poncirus trifoliata* 'Flying Dragon'. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 120:286-291, <http://journal.ashspublications.org/content/120/2/286.full.pdf+html>
- Dogar, W. A., Arshad, A. K., Saeed, A., Sudheer, T., Mukhtar, A., Muhammad... and K. Nadeem (2017) Study to determine the effects of high density plantation on growth and yield of citrus. *Sarhad Journal of Agriculture* 33: 314-319, DOI | <http://dx.doi.org/10.17582/journal.sja/2017/33.2.315.319>.
- Espinoza-Núñez, E., Mourão, F. F. A., Sanches-Stuchi, E. S., Cantuarias-Avilés, T. and C.T. D. Dias (2011) Performance of 'Tahiti' lime on twelve rootstocks under irrigated and non-irrigated conditions. *Scientia Horticulturae* 129:227-23, doi:10.1016/j.scienta.2011.03.032

- Forner, V. J. (1998) Nuevos patrones de agrios enanizantes y semienanizantes. *Comunitat Valenciana Agraria* 3-8. Consultado en internet en <http://www.ivia.gva.es/documents/161862582/161863596/Nuevos+patrones+de+agrios+enanizantes+y+semienanizantes/2729f7c4-e8c3-4391-b575-9ef20f38615a>
- Girardi, E. A. and F. A. A. Mourão (2006) Production of interstocked 'Pera' sweet orange nurse trees on 'Volkamer' lemon and 'Swingle' citrumelo rootstocks. *Scientia Agrícola* 63:5-10, <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-90162006000100002>
- González-Grandío, E., Pajoro, C. A., Franco-Zorrilla, J. M., Tarancón, C., Immink, R. G. H. and P. Cubas (2017) Absciscic acid signaling is controlled by a Branched 1/ HD-ZIP I cascade in Arabidopsis axillary buds. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 114:245-254. <https://doi.org/10.1073/pnas.1613199114>
- Khan, T. L., Bier, O. J. and R. J. Beaver (2007) New late-season navel orange varieties evaluated for quality characteristics. *California Agriculture* 61:138-143, <http://calag.ucanr.edu/archive/?article=ca.v061n03p138>
- Mademba, S. F., Lemerre, D. Z. and S. Lebegin (2012) Use of Flying Dragon trifoliate orange as dwarfing rootstock for citrus under tropical climatic conditions. *HortScience* 47:11-17, disponible en <http://hortsci.ashspublications.org/content/47/1/11.full.pdf+html>
- Medina-Urrutia, V. M., Becerra-Rodríguez, S, y E. Ordaz-Ordaz (2004) Crecimiento y rendimiento del limón mexicano en altas densidades de plantación en el trópico. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10:43-49
- Parra-Quezada, R. A., Becerril-Román, A. E., López-Castañeda, C. y A. Castillo-Morales (2002) Crecimiento del manzano cv Golden Delicious sobre cuatro portainjertos en diferentes condiciones de humedad y nutrición. *Revista Fitotecnia Mexicana* 25:193-200.
- Saeed, M., Dodd, P. B. and L. Sohail (2010) Anatomical studies of stems, roots and leaves of selected citrus rootstock varieties in relation to their vigour. *Journal of Horticulture and Forestry* 2: 87-94, <http://www.academicjournals.org/jhf>
- Sanchez, S. E. e E. A. Girardi (2010) Utilização de práticas culturais na citricultura frente ao Huanglongbing. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. Ministerio da Agricultura, Pecuária y Abastecimento. Documentos 191. Brazil. Disponible en <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/29714/1/documentos-191ID27554.pdf>
- Sugiyatno A. and N. E. Palupi (2017) Interstock effect on the growth of mandarin cv Batu 55, tangerine cv Pontianak and lime cv Nimas propagated by grafting. *Russian Journal of Agricultural and Socio-Economic Sciences* 10:239-246, <https://doi.org/10.18551/rjoas.2017-10.34>

- Villegas-Monter, A. y A. Mora-Aguilera (2011) Avances de la fruticultura en México. *Revista Brasileira de Fruticultura* 33:179-186, <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-29452011000500021>
- Wheaton, T. A., Whitney, J. D., Castle, W. S., Muraro, R. P., Browning, H. W. and D. P. H. Tucker (1995) *Citrus* scion and rootstock, topping height, and tree spacing affect tree size, yield, fruit quality, and economic return. *Journal of American Society for Horticultural Science* 120:861-870.