



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre

**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

**RELACIONES INJERTO-INTERINJERTO EN ALGUNOS
ASPECTOS FISIOLÓGICOS Y ANATÓMICOS DE CUATRO
GENOTIPOS DE AGUACATE**

TESIS

**QUE COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

JUAN AYALA ARREOLA

Chapingo. México. Septiembre 2010.



DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
DIRECCIÓN DE SERVICIOS ESCOLARES
OFICINA DE EXÁMENES PROFESIONALES



Instituto de Horticultura

RELACIONES INJERTO-INTERINJERTO EN ALGUNOS ASPECTOS,
FISIOLOGICOS Y ANATÓMICOS DE CUATRO GENOTIPOS DE AGUACATE.

Esta tesis fue realizada por Juan Ayala Arreola bajo la dirección del Consejo Particular que se indica, ha sido aprobada por él mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

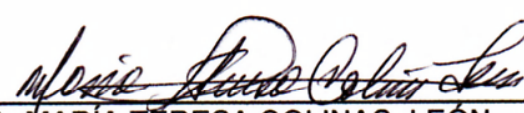
DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR:



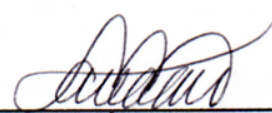
DR. ALEJANDRO F. BARRIENTOS PRIEGO

ASESOR:



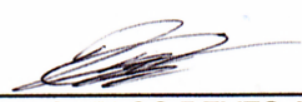
DRA. MARÍA TERESA COLINAS LEÓN

ASESOR:



DR. JAIME SAHAGÚN CASTELLANOS

ASESOR:



DR. JUAN CARLOS REYES ALEMÁN

LECTOR EXTERNO:



DRA. MARIA DE LA CRUZ ESPINDOLA BARQUERA

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado para lograr este grado académico.

A la Universidad Autónoma Chapingo, en especial al Departamento de Fitotecnia por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación académica y así cumplir una meta más en mi vida profesional.

A los Doctores Alejandro F. Barrientos Priego, María Teresa Beryl Colinas León, Jaime Sahagún Castellanos, Juan Carlos Reyes Alemán y María de la Cruz Espindola. Gracias por su disposición para la realización del presente trabajo.

Al Dr. Efraín Contreras M, al Biólogo José C. Vázquez, al M.C Claudio Pérez M y al M.C Policarpo Espinosa por la amistad brindada durante tantos años.

A la Dra. Amparo Borja, a la M.C Silvia García Díaz, y al Dr. Eduardo Campos R. por el apoyo brindado para poder concluir este trabajo.

A las familias: Meraz Moreno, Sánchez Carmona, Zarate Zarco, Meraz Urban.

Al personal de los siguientes laboratorios: de usos múltiples (Cecilio, y Anastasio), de anatomía de frutales (Ángela), al de anatomía de la madera de la División de Ciencias Forestales en especial al señor Francisco Pérez y a la señora María de Lourdes Nah, mi más sincero agradecimiento por su amistad y apoyo incondicional. Al personal de la biblioteca del departamento de Fitotecnia (Valentín, Carlos y Eva).

DEDICATORIA

A DIOS, por permitir ser parte de su creación y disfrutar día a día la alegría de seguir viviendo.

A mi Padre Juan Diego por su paciencia y comprensión. A la memoria de mi madre Guadalupe[†] en honor a su recuerdo.

Con todo mi amor a mi esposa Leticia, por ser la compañera de mi vida y por su apoyo incondicional.

A mis hijos: Iván, Brian y Diana, que con su amor y ternura motivan mi superación día a día.

A mis hermanos (as): Isabel, Reyes, Margarita, Maria Elena, Josefina y Claudia, con cariño y gratitud.

A mis sobrinos: Alexa, Jesús Uriel, Ximena, Deisy Karina, Juan, Dania Inés, Paúl, Edwin, Emiliano, Josué y las gemelas.

A mis tíos por su apoyo y muestras de cariño que siempre me han brindado.

A mis amigos de SINAREFI (Julio y Tere), de maestría generación 2002-2003 y del doctorado generación 2005-2007 con mi más sincero aprecio.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor nació el 30 de marzo de 1967 en Canatlán, Durango. La educación media superior la realizó en el Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo durante los años 1983-1986, los estudios de licenciatura los llevo a cabo en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo de 1986-1990. Titulándose el 8 de Diciembre de 1998 con el trabajo de tesis “Efecto del ethrel en la morfología y productividad de la planta de cebada cv. Centinela” obteniendo el veredicto en el examen profesional de “aprobado por unanimidad de votos”, los estudios de maestría los realizo en el Instituto de Horticultura, del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo durante 2002-2003. Titulándose el 18 de marzo de 2004 con el trabajo de tesis “Influencia del calcio, boro y molibdeno en la calidad de nochebuena” obteniendo el veredicto en el examen profesional de “aprobado por unanimidad de votos”. En lo referente a su vida profesional se ha desempeñado como coordinador técnico de diversos estudios de manejo integral forestal en los estados de Oaxaca y Puebla. Ha sido catedrático de la Universidad Autónoma del Estado de México (UAEM) con sede en Zumpango, Estado de México en la facultad de agronomía impartiendo las cátedras de Fruticultura I, II y Fisiología de Poscosecha. También ha laborado como consultor en el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) en el proyecto “Análisis de la Institucionalidad Local para el Desarrollo Rural Sustentable”: Sistema de Monitoreo, Seguimiento y Evaluación en el Marco de la ley de Desarrollo Rural Sustentable.

CONTENIDO

	Pág
ÍNDICE DE CUADROS	ii
ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE	v
RESUMEN GENERAL	vi
GENERAL ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
CAPÍTULO I RELACIONES INJERTO-INTERINJERTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y FISIOLÓGICAS DE LA HOJA DE CUATRO GENOTIPOS DE AGUACATE.	7
CAPÍTULO II CONTENIDO NUTRIMENTAL, UNIDADES SPAD Y CRECIMIENTO EN AGUACATE 'HASS' 'FUERTE' 'COLÍN V-33' Y 'DUKE 7' POR EFECTO DEL INTERINJERTO.	35
CAPÍTULO III INFLUENCIA DEL INTERINJERTO EN LA CONDUCTIVIDAD HIDRAULICA Y ANATOMÍA DEL XILEMA DEL TALLO EN CUATRO GENOTIPOS DE AGUACATE.	61
DISCUSIÓN GENERAL	96

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1.1.	Diseño de tratamientos como resultado de la combinación de interinjertos /injertos de aguacate.	Pág 12
CUADRO 1.2.	Efecto del interinjerto en la densidad de estomas, densidad de células epidérmicas, índice estomático y diámetro del estoma en la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	16
CUADRO 1.3.	Efecto del interinjerto en algunas variables anatómicas de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	16
CUADRO 1.4.	Efecto del interinjerto en algunas variables fisiológicas de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	17
CUADRO 1.5.	Efecto del interinjerto en algunas variables anatómicas en el vaso del xilema en un corte transversal de la vena central y del pecíolo de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	18
CUADRO 1.6.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en la densidad de estomas, densidad de células epidérmicas, índice estomático y diámetro del estoma en la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	20
CUADRO 1.7.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables anatómicas de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	21
CUADRO 1.8.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables fisiológicas de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	23
CUADRO 1.9.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables fisiológicas de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	24
CUADRO 1.10.	Comparación de medias y contrastes ortogonales	25

para el injerto final en algunas variables anatómicas en un corte transversal en la vena central y pecíolo de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

CUADRO 1.11.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables anatómicas de un corte transversal en la vena central y pecíolo de la hoja en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	26
CUADRO 2.1.	Efecto del interinjerto en el contenido de macro y micronutrientes en la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	45
CUADRO 2.2.	Efecto del interinjerto en la intensidad del color verde de la hoja y en algunas variables de crecimiento en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	46
CUADRO 2.3.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el contenido de macro y micronutrientes en hojas de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	48
CUADRO 2.4.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en la intensidad del color verde de la hoja, y en algunas variables de crecimiento en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	51
CUADRO 2.5.	Comparación de medias para el injerto final en algunas variables de crecimiento en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	51
CUADRO 3.1.	Efecto del interinjerto en algunas variables fisiológicas, morfológicas de la hoja y del tallo en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	77
CUADRO 3.2.	Efecto del interinjerto en algunas variables anatómicas y fisiológicas del tallo en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	79
CUADRO 3.3.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables morfológicas y fisiológicas de la hoja en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	81

CUADRO 3.4.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables fisiológicas de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	82
CUADRO 3.5.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables anatómicas del xilema y morfológicas del tallo en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	84
CUADRO 3.6.	Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables anatómicas del xilema y fisiológicas del tallo en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	85

ÍNDICE DE CUADROS DEL APÉNDICE

Cuadro 1A.	Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables fisiológicas y anatómicas de la vena central y el pecíolo de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	104
Cuadro 2A.	Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables de crecimiento y el contenido de macro y micronutrientes en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	105
Cuadro 3A.	Coeficientes de correlación de Pearson entre algunas variables fisiológicas de la hoja y anatómicas del tallo con la conductividad hidráulica y la resistencia al flujo hídrico en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.	106

**RELACIONES INJERTO-INTERINJERTO
EN ALGUNOS ASPECTOS,
FISIOLÓGICOS Y ANATÓMICOS DE
CUATRO GENOTIPOS DE AGUACATE.**

Juan Ayala Arreola¹ y Alejandro F. Barrientos Priego²

RESUMEN GENERAL

El interinjerto es un método de propagación que se utiliza como una alternativa para solucionar problemas de incompatibilidad entre portainjerto y cultivar, además, para controlar vigor y la producción del árbol. En el presente estudio se evaluó la relación interinjerto/injerto y su efecto sobre algunos aspectos fisiológicos y anatómicos de cuatro genotipos de aguacate: 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33', 'Duke 7', los cuales difieren en su anatomía del xilema. 'Fuerte' con interinjerto incrementó significativamente la densidad de estomas, la densidad de células epidérmicas y la tasa de asimilación de CO₂ en 18.8, 23.3 y 76.7 %, respectivamente, comparado sin interinjerto. 'Duke 7' con interinjerto redujo 9.2 % el grosor de la epidermis superior e incrementó el grosor de la epidermis inferior en 12.1 % siendo diferentes al sin interinjerto. 'Colín V-33' con interinjerto incrementó la altura del último injerto (88.3 %), mientras que 'Hass' la incrementó en 56.1 % y 'Fuerte' en 27.8 % en tanto que 'Duke 7' en 21.9 %. 'Fuerte' con interinjerto incrementó en 46.7 % la conductancia estomática y en 21.9 % el potencial hídrico del brote apical, y sin interinjerto incrementó la resistencia estomática en 41.7 %.

La presencia del interinjerto incrementó significativamente en 91.9 % el área de vaso del xilema en 'Duke 7'.

El grosor de la corteza disminuyó en 21.1 y 8.9 % en 'Colín V-33' y 'Fuerte', respectivamente, con la presencia del interinjerto. El número de vasos del xilema se incrementó con la presencia del interinjerto en 'Hass', 'Fuerte' y 'Colín V-33' en 30.5, 54.4 y 0.8 %, respectivamente

**GRAFT-INTERSTOCK RELATIONSHIPS
ON SOME PHYSIOLOGICAL AND
ANATOMICAL ASPECTS OF FOUR
GENOTYPES OF AVOCADO.**

Juan Ayala Arreola¹ and Alejandro F. Barrientos Priego²

GENERAL ABSTRACT

Interstock is a propagation method that is used as an alternative to solve incompatibility problems of between rootstock and to cultivar, as well as, to control vigor and the production of the tree. In this study the interstock/graft relationships were evaluated and its effect on some physiological and anatomical aspects. In four genotypes of avocado: 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33', 'Duke 7', which differ in their xylem anatomy. 'Fuerte' with interstock significantly increased stomatal density, of epidermal cells density and the CO₂ assimilation rate by 18.8, 23.3 and 76.7 %, respectively, compared without interstock. 'Duke 7' with interstock reduced by 9.2 % the thickness of the upper epidermis and increased the thickness of the lower epidermis by 12.1 % being different than that without interstock. 'Colín V-33' with interstock increased the height of the last graft (88.3 %), whereas 'Hass' increased in 56.1 % and 'Fuerte' by 27.8 %, and 'Duke 7' by 21.9 %. 'Fuerte' with interstock increased by 46.7 % the stomatic conductance by 21.9 % the water potential of the apical shoot, and without interstock it increased the stomatic resistance in 41.7 %.

The presence of the interstock significantly increased in 91.9 % the xylem of vessel area by 'Duke 7'.

The thickness of the bark diminished by 21.1 and 8.9 % in 'Colín V-33' respectively and 'Fuerte', with the presence of the interstock. The number of vessels xylem was increased with the presence of the interstock in 'Hass', 'Fuerte' and 'Colín V-33' by 30.5, 54.4 and 0.8 %, respectively.

La conductividad hidráulica en 'Hass' y 'Fuerte' disminuyó 35.3 y 9.8 %, respectivamente, con la presencia del injerto.

La altura del injerto final se correlacionó de manera positiva y altamente significativa con el diámetro del injerto final ($r=0.53^{**}$), con el número de ramas ($r=0.78^{**}$) con el crecimiento total de ramas ($r=0.75^{**}$) y con el diámetro del injerto final ($r=0.52^{**}$). El diámetro del xilema tuvo una correlación positiva y altamente significativa con el área transversal de la corteza ($r=0.86^{**}$), con el área transversal de xilema ($r=0.92^{**}$) y con el área transversal del tallo ($r=0.97^{**}$).

'Duke 7' usado como injerto influyó en la mayoría de las características anatómicas de elementos de vaso de xilema de la vena central y el pecíolo de la hoja, así como en la tasa de asimilación de CO_2 , resistencia estomática, en la concentración foliar de macro y micronutrientes, y en la conductividad hidráulica del xilema en tallo.

Palabras claves adicionales: *Persea americana*, densidad de estomas, sistema vascular, injerto intermedio, potencial hídrico, vasos del xilema.

Hydraulic conductivity in 'Hass' and 'Fuerte' was decreased by 35.3 and 9.8 %, respectively, with the presence of the interstock.

The height of the final graft correlated in a positive and highly significant manner with the diameter of the final graft ($r=0.53^{**}$), with the number of branches ($r=0.78^{**}$) with the total growth of branches ($r=0.75^{**}$) and with the diameter of the final graft ($r=0.52^{**}$). The diameter of xylem had a positive and highly significant correlation with the cross-sectional area of the bark ($r=0.86^{**}$), with the cross-sectional area of xylem ($r=0.92^{**}$) and with the cross-sectional area of the stem ($r=0.97^{**}$).

'Duke 7' used as interstock influenced in most of the anatomical characteristics of xylem vessel elements of the central vein and petiole of the leaf, as well as in the rate of assimilation of CO_2 , stomatal resistance, the foliar concentration of macro and micronutrients and in the hydraulic conductivity of the xylem in the stem.

Additional key words: *Persea americana*, stomatal density, vascular system, intermediate graft, water potential, xylem vessels.

¹Tesista

²Director de tesis

¹Thesis author

²Thesis adviser

RELACIONES INJERTO-INTERINJERTO EN ALGUNOS ASPECTOS FISIOLÓGICOS Y ANATÓMICOS DE CUATRO GENOTIPOS DE AGUACATE

INTRODUCCIÓN

Con base en su distribución y las evidencias taxonómicas existentes, el género *Persea* tienen su centro de origen en la zona centro sur de México. Está constituido por dos subgéneros, uno de ellos, *Persea*, que incluye poco más de 14 especies estrechamente relacionadas, entre las que se encuentra *P. americana* Mill (aguacate). El otro subgénero es *Eriodaphne*, bastante numeroso, variable y claramente diferenciado.

El aguacate es una especie polimórfica con polinización abierta, por lo que presenta una gran variabilidad genética, con posibilidades casi ilimitadas para su aprovechamiento (Bergh, 1992; Zentmyer y Schieber, 1992; Campos, 2006). La utilización de la diversidad genética existente ya sea como variedades, portainjertos y/o interinjertos para el mejoramiento de la especie y especies afines al aguacate, es invaluable para el desarrollo del aguacate bajo condiciones de estrés o simplemente como satisfactor de bienes de servicio al hombre (Ben Ya'acov, 1992; Zentmyer y Schieber, 1992).

La selección de portainjertos o interinjertos con atributos especiales para una cierta región o localidad, permite obtener material con un potencial productivo superior al que se ha obtenido con el uso de portainjertos a partir de semilla,

además de solucionar limitantes como el gran porte del árbol; permitiendo tener un mejor manejo agronómico del cultivo, una mayor facilidad para realizar la cosecha, y en consecuencia una disminución en los costos de producción (Alejandro F. Barrientos Priego, comunicación personal).

Para una especie vegetal y en un ambiente determinado, los factores de crecimiento más importantes son: luz, agua, CO₂, nutrimentos minerales y genotipo (Garate y Bonilla, 2000). La presencia de los nutrimentos en los tejidos vegetales es relevante, ya que pueden ser parte de las estructuras químicas o bien pueden participar en diversas reacciones químicas del metabolismo vegetal (Díaz, 2002). La concentración foliar de los elementos minerales, sin embargo, no sólo es función de la capacidad de absorción de las raíces, sino de la capacidad de transpiración de sus hojas y/o de su transporte xilemático, ya que son almacenados en aquellas y transportados a la copa, en épocas, velocidad y concentración variables con las condiciones del medio (Agustí, 2003). El injerto o interinjerto como componente básico de un árbol completo, puede influir en la concentración de los elementos mayores. Sin embargo, la influencia de éstos sobre el contenido foliar de los elementos minerales en frutales es difícil de generalizar, ya que las diferencias entre ellos son muy amplias.

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).

Las características anatómicas de tamaño de vasos y los porcentajes de xilema y floema, en tallos principales de frutales, son importantes para definir la cantidad de agua que pueda transportarse, ya que a medida que los porcentajes de estos tejidos son mayores y el diámetro de vasos menores, la cantidad de agua transportada será mayor, por lo tanto, habrá una mejor adaptación de las plantas a condiciones de alta humedad (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002).

Las características anatómicas del sistema de conducción de agua en las plantas puede tener un profundo impacto sobre la conductividad hidráulica del árbol (Tyree y Zimmerman, 2002). Desde un punto de vista de la ingeniería, el xilema es la red de distribución de agua desde la raíz a los principales consumidores, las hojas, en la parte superior de la planta (Karam, 2005). Recientes estudios anatómicos en árboles de aguacate (*Persea americana* Mill.) han mostrado las diferencias en la anatomía del vaso entre las razas y cultivares (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002).

OBJETIVO GENERAL

Evaluar si existen modificaciones por influencia del interinjerto en algunas características fisiológicas y anatómicas de la hoja del injerto final en cuatro genotipos de aguacate que difieren en su anatomía del xilema.

HIPÓTESIS GENERAL

La presencia del interinjerto modifica algunas características anatómicas y fisiológicas del injerto final en cualquier combinación injerto/interinjerto.

,

LITERATURA CITADA

AGUSTÍ, M. 2003. Citricultura. 2nd. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 422 p.

BEN-YA'ACOV, A. D. 1992. A study of avocado germplasm resources. Findings from the central part of México. Proc. Of Second World Avocado Congress pp 543-544.

BERGH, B. 1992. The origin, nature and genetic improvement of the avocado. California Avocado Society Yearbook 76: 61-75.

CAMPOS, R. E. 2006. Análisis de la filogenia del subgénero *Persea* (*Lauracea*). Una nueva propuesta de organización taxonómica en aguacate *P. americana* Mill. 59 p.

DÍAZ M., H. D. 2002. Fisiología de Árboles Frutales. AGT Editor, S. A. D. F. México. 390 p.

ESAU, K. 1985. Anatomía de las Plantas con Semilla. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. pp. 97-135.

GARATE, A.; BONILLA, I. 2000. Nutrición mineral y producción vegetal, pp. 113-130. *In*: Fundamentos de Fisiología Vegetal. Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (eds.). McGraw-Hill-Interamericana. Barcelona, España.

KARAM, G. 2005. Biomechanical model of the xylem vessels in vascular plant. *Ann. Bot.* 95: 1179-1186.

REYES-SANTAMARIA, I; TERRAZAS, T; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F; TREJO, C. 2002. Xylem conductivity and vulnerability in cultivars and races of avocado. *Scientia Horticulturae*. 92(2): 97-105.

TYREE, M. T.; ZIMMERMAN, M. H. 2002. Xylem Structure and the Ascent of Sap. Springer Verlag, Berlin. Germany.

ZENTMYER, G. A.; SCHIEBER, E. 1992. *Persea* and *Phytophthora* in Latin America. *Proc of Second World Avocado Congress*. pp. 61-66.

CAPÍTULO I

RELACIONES INJERTO-INTERINJERTO SOBRE CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS Y FISIOLÓGICAS DE LA HOJA DE CUATRO GENOTIPOS DE AGUACATE

RESUMEN

Se evaluó la influencia del interinjerto en las características fisiológicas y anatómicas de la hoja de los aguacates 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7' utilizados como interinjertos e injertos finales. En la lámina foliar se determinó la densidad estomática, densidad de células epidérmicas, índice estomático y diámetro polar de estoma. En cortes transversales de la vena central y del pecíolo de la hoja se evaluó: área, perímetro, longitud del eje mayor y menor, índice de redondez y diámetro Feret en vasos del xilema. En cortes transversales de hoja, se evaluó: el grosor de la epidermis superior e inferior y del parénquima en empalizada I. Las variables fisiológicas evaluadas fueron: tasa de asimilación de CO₂, conductancia estomática, concentración interna de CO₂, resistencia estomática, tasa de transpiración y temperatura de la hoja. 'Colín V-33' como interinjerto promovió la mayor densidad estomática, mayor densidad de células epidérmicas y grosor de la capa de parénquima en empalizada I. En la comparación intra genotipos se encontró que 'Hass' y 'Fuerte' con interinjerto incrementaron en 18.8 y 17.8 %, el número de estomas, mientras que en 'Duke 7' disminuyó en 25.4 %. La densidad de células epidérmicas se incrementó de manera significativa en 'Fuerte' (23.3 %) con la presencia del interinjerto. 'Fuerte' y 'Duke 7' con interinjerto incrementaron significativamente el grosor de la epidermis inferior en 14.9 y 12.1 %, respectivamente, mientras que 'Hass' y 'Colín V-33' con interinjerto disminuyeron el grosor de epidermis inferior en 19.5 y 1.0 %. Se encontró que 'Hass' como interinjerto promovió la tasa de asimilación neta de CO₂ más alta, siendo diferente 'Duke 7'. Para resistencia estomática le correspondió el menor valor a 'Colín V-33' y presentó diferencias con 'Duke 7'.

PALABRAS CLAVE: asimilación de CO₂, resistencia estomática, *Persea americana*, densidad de estomas, sistema vascular.

SCION-INTERSTOCK RELATIONSHIPS AND ANATOMICAL AND PHYSIOLOGICAL LEAF CHARACTERISTICS OF FOUR AVOCADO GENOTYPES

ABSTRACT

The influence of the interstock in the anatomical and physiological leaf characteristics were evaluated in 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' and 'Duke 7' used as interstocks and final grafts. In leaf blade the stomatal density, epidermal cell density, stomatic index and stomata polar diameter were evaluated. In cross sections of the central vein and petiole of the leaf: area, perimeter, length of the minimum and maximum axis, roundness index and Feret diameter of xylem vessels were considered. In cross sections of leaf: thickness of the upper and lower epidermis and thickness of palisade parenchyma I layer were evaluated. Physiological variables were: CO₂ assimilation rate, stomatic conductance, CO₂ internal concentration, stomatic resistance, transpiration rate and leaf temperature. 'Colín V-33' as interstock induced a higher stomatal density, epidermal cell density and thickness of palisade parenchyma I. In the intra genotype comparison 'Hass' and 'Fuerte' with interstock increased stomatal density 18.8 and 17.8 %, respectively, while for 'Duke 7' caused 25.4 % of reduction. Epidermal cell density was increased in 'Fuerte' (23.3 %) with the presence of the interstock. 'Fuerte' and 'Duke 7' with interstock increased the thickness of the lower epidermis in 14.9 and 12.1 %, respectively, while 'Hass' and 'Colín V-33' with interstock reduced their thickness of lower epidermis in 19.5 and 1.0 %, respectively. 'Hass' as interstock promoted a higher CO₂ assimilation rate, being different to 'Duke 7'. 'Colín V-33' as a rootstock showed lower stomatic resistance and was different to 'Duke 7'.

KEYWORDS: CO₂ assimilation, stomatal resistance, *Persea americana*, stomatal density, vascular system.

INTRODUCCIÓN

El cultivo del aguacate en México comprende una superficie de 122,186 ha en producción, las cuales generan 1,120 000 t de fruta (Anónimo, 2009). Este cultivo es un producto de alto valor nutritivo y de importancia tradicional en la dieta mexicana, así como para el mercado de exportación y es una fuente de ingreso de divisas para el país (Santacruz, 2004). La principal forma de propagación del aguacate es la injertación de cultivares comerciales sobre portainjertos francos (originados por semilla), mismos que presentan una alta heterocigosis que resulta en huertos heterogéneos en cuanto a comportamiento y productividad. Por tal motivo, reviste vital importancia la elección de un buen portainjerto, ya que de él puede depender el éxito o fracaso de una plantación (Barrientos-Priego *et al.*, 2000).

La investigación y selección de posibles portainjertos comerciales se ha ampliado de la resistencia a *Phytophthora cinnamomi* Rands a otras enfermedades, así como tolerancia a salinidad, sequía, pH alcalino, mayor productividad y precocidad en la producción, calidad, tamaño de fruto y un efecto enanizante. Las nuevas características adquiridas en la planta son el resultado de una intensa interacción entre el portainjerto o interinjerto y el injerto, aportando diferente información genética cada uno (Lockard y Schneider, 1981; Lacono *et al.*, 1998). Sin embargo, el uso de interinjertos en la producción de planta y en plantaciones comerciales de aguacate, como una alternativa para solucionar los problemas anteriormente mencionados, ha sido

poco estudiado (Ben-Ya'acov y Michelson, 1995). Con base en lo anterior en esta investigación se planteó como objetivo el evaluar si existen modificaciones por influencia del interinjerto en las características fisiológicas y anatómicas de la hoja del injerto final en cuatro genotipos de aguacate.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se realizó en un invernadero ubicado en el campo agrícola experimental San Martín, del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, Estado de México, situado a 19° 29' N y a 98° 53' O, a una altitud de 2240 m.

Material vegetal

Las varetas que se utilizaron para generar los interinjertos y los injertos finales se obtuvieron de árboles en producción establecidos en la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S. C., en Coatepec Harinas, Estado de México, en México. Se utilizaron 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7' como interinjertos e injertos finales. Como portainjertos se usaron plantas de la raza Guatemalteca, los cuales fueron obtenidos a partir de semilla. La injertación para generar los interinjertos se llevó a cabo de junio a diciembre 2006 y la injertación sobre los interinjertos se realizó de marzo a mayo 2007. El tipo de injerto utilizado fue de hendidura.

Diseño experimental y diseño de tratamientos

El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar con un arreglo de tratamientos factorial (4x4), en donde el factor 1 fue el interinjerto ('Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7') y el factor 2 fue el injerto final ('Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'). Ambos factores contaron con cuatro niveles (Cultivares anteriormente mencionados). La unidad experimental consistió en una planta y se tuvieron cuatro repeticiones de cada tratamiento; adicionalmente, se consideró un testigo sin interinjerto para cada cultivar, utilizando un total de 80 unidades experimentales (Cuadro 1.1).

CUADRO 1.1. Diseño de tratamientos como resultado de la combinación de interinjertos /injertos de aguacate.

Interinjerto	Injerto final			
	'Hass' (H)	'Fuerte' (F)	'Colín V-33' (C)	'Duke 7' (D)
'Hass' (H)	H/H	F/H	C/H	D/H
'Fuerte' (F)	H/F	F/F	C/F	D/F
'Colín V-33' (C)	H/C	F/C	C/C	D/C
'Duke 7' (D)	H/D	F/D	C/D	D/D

Variables de estomas y células epidérmicas

En cada uno de los injertos finales se seleccionó y se etiquetó una hoja madura y completamente expandida; de ésta se obtuvo una impresión con silicón para huellas dentales (Exactodent®). De la impresión se obtuvo, con barniz de uñas, la impresión positiva y después se fijó en portaobjeto y cubreobjeto. En la impresión se determinó la densidad estomática, densidad de células epidérmicas, índice estomático y diámetro polar de estoma (diez estomas por campo). El índice estomático se calculó a partir de la siguiente expresión: $IE =$

$[DE/(DE + DCE)] \times 100$; donde IE=índice estomático, DE=densidad estomática y DCE = densidad de células epidérmicas.

Los caracteres de estomas fueron evaluados en cinco campos (40X de objetivo y 10X de ocular), con un microscopio Motic B3 Professional Series, con una adaptación de una cámara de alta resolución Moticom 480, con un adaptador de 12 mm. Se utilizó el programa Imagen Plus 2000 para darle formato digital.

Cortes anatómicos en hoja

Las hojas de donde se extrajeron las réplicas para la evaluación de las variables estomáticas se colectaron y se fijaron en una solución FAA (50 % etanol 96° + 5 % ácido acético glacial + 10 % formaldehído con 40 % de pureza + 35 % agua destilada). Después, se procesaron en un cambiador automático de tejidos (Tissuematon Fisher) con cellosolve y xileno, para transferirse a parafina (55 °C), luego permanecieron 72 horas dentro de una estufa.

Se elaboró el taquete y pirámide de parafina de acuerdo con la metodología propuesta por Sass (1968). En un micrótomos rotatorio (American Optical Modelo 820) se realizaron cortes transversales en hoja abarcando la vena central con un grosor de 10 μ m, los cuales se montaron con adhesivo Haupt y formol al 10 % y su tinción se hizo con safranina y verde fijo. Se evaluaron las variables: área, perímetro, longitud del eje mayor y menor, índice de redondez ($4 \times PI \times \text{área}$) e índice Feret $[(4 \cdot \text{área} / \pi)^{0.5}]$, todo en vasos del xilema a 40X de

objetivo y 10X de ocular. Las mediciones fueron cuantificadas en cinco campos por planta, con base en el estudio de Sperry y Saliendra (1994).

En cortes de la lámina foliar se evaluó: el grosor de la epidermis superior e inferior y grosor de parénquima en empalizada I. Los cortes transversales en pecíolos se realizaron a 10 μm mediante un micrótomos de congelamiento de la marca Heindelberg modelo 880 (American Optical Corp). Se evaluaron las variables: área, perímetro, longitud del eje mayor y menor, índice de redondez e índice Feret, todo en vasos del xilema a 40X de objetivo y 10X de ocular. La medición de las variables fue a partir de imágenes digitales, con el programa Image Tool versión. 3.00 (Wilcox *et al.*, 2002).

Variables fisiológicas

Antes de realizar los cortes anatómicos en la hoja seleccionada y previamente identificada mediante una etiqueta en cada uno de los injertos finales y en las plantas testigos se evaluaron mediante un analizador de gases infrarrojo (IRGA; modelo LI-COR 6200) las variables de: tasa de asimilación de CO_2 , conductancia estomática, concentración interna de CO_2 . Las variables resistencia estomática, tasa de transpiración y temperatura de la hoja se evaluaron con un porómetro (modelo LI-COR 1600). Se realizaron tres mediciones semanales, entre las 9:30 a 14:30 horas, antes del corte de la hoja.

Análisis estadístico

Se llevaron a cabo las pruebas de comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$) para los factores interinjerto e injerto. También se realizaron contrastes ortogonales para el factor injerto final y así comparar con el testigo sin interinjerto. Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson.

RESULTADOS

Factor interinjerto

La prueba de comparación de medias para el factor interinjerto (Cuadro 1.2) mostró que 'Colín V-33' promovió la mayor densidad estomática, al igual que mayor densidad de células epidérmicas siendo diferente a los demás interinjertos para ambas variables ($P \leq 0.05$). Sin embargo, no existió diferencia entre cultivares para el índice estomático. Para diámetro del estoma, 'Fuerte' indujo mayor valor y 'Hass' menor valor ($P \leq 0.05$). Para el grosor del parénquima en empalizada I se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre Colín v-33 y 'Hass' (Cuadro 1.3). No se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) para los grosores de la epidermis superior e inferior entre interinjertos. El grosor de parénquima en empalizada presentó una correlación positiva y significativa con la mayoría de las variables anatómicas del vaso del xilema tanto en la vena central como en el pecíolo de la hoja (Cuadro 1 A).

CUADRO 1.2. Efecto del interinjerto en la densidad de estomas, densidad de células epidérmicas, índice estomático y diámetro del estoma en la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

Interinjerto	Densidad estomática (estomas·mm ⁻²)	Densidad de células epidérmicas (células·mm ⁻²)	Índice estomático (%)	Diámetro de estoma (µm)
'Hass'	405.45 b ^z	1671.51 bc	19.73 a	15.04 c
'Fuerte'	400.52 b	1581.85 c	20.29 a	16.49 a
'Colín V-33'	473.89 a	1919.54 a	19.98 a	15.74 b
'Duke 7'	414.63 b	1691.35 b	19.84 a	15.72 b
DMSH	25.26	105.73	0.90	0.58
CV (%)	13.92	14.38	10.61	9.05

^zValores con la misma letra en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

CUADRO 1.3. Efecto del interinjerto en algunas variables anatómicas de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

Interinjerto	Grosor de epidermis superior (µm)	Grosor de epidermis inferior (µm)	Grosor de parénquima en empalizada I (µm)
'Hass'	14.62 a ^z	14.79 a	56.75 b
'Fuerte'	14.71 a	14.72 a	59.87 ab
'Colín V-33'	15.19 a	14.07 a	62.32 a
'Duke 7'	15.20 a	14.84 a	61.29 ab
DMSH	1.10	0.85	3.67
CV (%)	13.90	11.02	17.12

^zValores con la misma letra en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

En la tasa de asimilación neta se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) entre 'Hass' y 'Fuerte' con 'Duke 7'. En tanto para resistencia estomática hubo diferencias entre 'Colín V-33' y 'Duke 7' (Cuadro 1.4). En los vasos del xilema de la vena central de la hoja 'Duke 7' generó mayores valores que 'Hass' para: área, perímetro, longitud del eje mayor, longitud del eje menor e índice Feret. En tanto que, para estas mismas variables pero en el pecíolo de la hoja se encontró que 'Fuerte', como interinjerto, generó mayores valores que 'Colín V-33'. (Cuadro 1.5).

CUADRO 1.4. Efecto del interinjerto en algunas variables fisiológicas de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

Interinjerto	Tasa de asimilación neta CO ₂ (μmol·m ⁻² s ⁻¹)	Tasa de transpiración (mmol·m ⁻² s ⁻¹)	Conductancia estomática (mmol·m ⁻² s ⁻¹)	Resistencia estomática (s·m ⁻²)	Concentración interna de CO ₂ (ppm)	Temperatura de la hoja (°C)
'Hass'	5.74 a ^z	1.60 a	65.69 a	0.75 ab	339.45 a	27.45 a
'Fuerte'	5.25 a	1.30 a	59.16 a	0.82 ab	352.94 a	26.43 a
'Colín V-33'	4.99 ab	1.84 a	68.12 a	0.70 b	341.37 a	27.08 a
'Duke 7'	4.33 b	1.52 a	66.04 a	0.87 a	361.93 a	26.11 a
DMSH	0.80	0.58	28.69	0.16	39.44	2.02
CV (%)	51.88	78.46	92.37	68.74	37.51	15.88

^zValores con la misma letra en cada columna no son diferentes entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

CUADRO 1.5. Efecto del interinjerto en algunas variables anatómicas en el vaso del xilema en un corte transversal de la vena central y del pecíolo de la hoja de aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Interinjerto	Área (μm)	Perímetro (μm)	VENA CENTRAL		Índice de redondez	Índice Feret (μm)
			Longitud eje mayor (μm)	Longitud eje menor (μm)		
‘Hass’	246.58 b ^z	65.78 b	21.23 b	12.62 b	0.66 a	16.73 b
‘Fuerte’	284.33 a	72.19 a	23.28 a	13.88 a	0.65 a	18.26 a
‘Colín V-33’	274.31 ab	71.58 a	23.01 a	13.65 a	0.65 a	17.97 a
‘Duke 7’	288.10 a	73.13 a	23.50 a	14.05 a	0.64 a	18.39 a
DMSH	32.60	4.70	1.70	0.94	0.02	1.10
CV (%)	22.53	12.57	14.11	13.07	4.98	11.68
PECÍOLO						
Hass’	331.57 b ^z	79.09 ab	25.27 b	15.21 ab	0.63 a	19.61 b
‘Fuerte’	374.57 a	84.04 a	27.19 a	16.24 a	0.63 a	20.96 a
‘Colín V-33’	318.89 b	77.76 b	25.01 b	14.83 c	0.63 a	19.30 b
‘Duke 7’	339.68 ab	80.49 ab	25.86 ab	15.70 ab	0.63 a	20.01 ab
DMSH	41.13	5.09	1.65	1.11	0.02	1.21
CV (%)	24.58	12.92	12.99	14.63	6.71	12.32

^zValores con la misma letra en cada columna no son diferentes entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Factor injerto final

El injerto final de ‘Duke 7’, con interinjerto, presentó la mayor densidad de estomas, mayor densidad de células epidérmicas y el menor diámetro del estoma, mostrando diferencias con ‘Hass’, ‘Fuerte’ y ‘Colin V-33’ (Cuadro 1.6). ‘Duke 7’ sin interinjerto tuvo los mayores valores para la densidad estomática y para la densidad de células epidérmicas siendo diferente ($P \leq 0.05$) a los demás cultivares.

En la comparación intra cultivares mediante contrastes ortogonales se encontró que la presencia del interinjerto en 'Hass' y 'Fuerte' incrementó significativamente (18.8 y 17.8 %, respectivamente) la densidad de estomas. La densidad de células epidérmicas se incrementó significativamente en 23.3 % con la presencia del interinjerto en 'Fuerte'. En 'Hass', con interinjerto, el índice estomático se incrementó significativamente en 7.3 %. El diámetro de estoma fue mayor en 'Hass', 'Fuerte' y 'Duke 7' sin interinjertos.

EL grosor de epidermis superior fue mayor en 'Hass' y 'Colín V-33', con interinjerto, presentando diferencias con 'Fuerte' y 'Duke 7'. En tanto que, para el grosor de epidermis inferior 'Duke 7' con interinjerto incrementó significativamente el grosor y fue diferente a 'Hass', 'Fuerte' y 'Colín V-33'. En cuanto al comportamiento de los injertos finales, sin interinjerto se observaron diferencias ($P \leq 0.05$) para el grosor de epidermis superior e inferior entre 'Hass' y 'Fuerte' (Cuadro 1.7). Para el grosor de parénquima en empalizada 'Colin V-33' sin interinjerto tuvo el mayor valor y fue diferente ($P \leq 0.05$) a los demás cultivares. En la comparación intra cultivares se encontró que 'Duke 7' con interinjerto disminuyó 9.2 % el grosor de la epidermis superior y fue diferente a cuando se estableció sin interinjerto. 'Fuerte' y 'Duke 7', con interinjerto, incrementaron el grosor de la epidermis inferior en 14.9 y 12.1 %, respectivamente y difirieron el de sin interinjerto.

CUADRO 1.6. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en la densidad de estomas, densidad de células epidérmicas, índice estomático y diámetro del estoma en la hoja de aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ v ‘Duke 7’.

Factor	Densidad estomática (estomas·mm ⁻²)		Densidad de células epidérmicas (células·mm ⁻²)		Índice estomático (%)		Diámetro polar de estoma (µm)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	376.15 c ^z A ^y	316.69 c B	1488.89 c A	1365.47 b A	20.22 ab A	18.84 b B	16.66 a A	17.36 a A
‘Fuerte’	427.53 b A	362.44 bc B	1738.55 b A	1409.96 b B	19.86 ab A	20.41 ab A	15.62 b B	16.54 a A
‘Colín V-33’	433.13 b A	430.86 b A	1712.49 c A	1579.51 b A	20.35 a B	21.39 a A	17.08 a A	16.86 a A
‘Duke 7’	470.19 a A	630.63 a B	1979.15 a A	2311.74 a B	19.38 b B	21.50 a A	13.64 c B	15.92 a A
DMSH	29.78	79.92	133.57	274.06	0.90	1.80	0.63	1.27
CV (%)	16.69	20.85	18.48	18.55	10.82	9.56	9.74	7.15

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

^yContrastes con la misma letra mayúscula en hileras para cada variable no presentan diferencias ($P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

CUADRO 1.7. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables anatómicas de la hoja de aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

	Grosor de epidermis superior (µm)		Grosor de epidermis inferior (µm)		Grosor de parénquima en empalizada I (µm)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	16.08 a ^z A ^y	16.11 a A	12.63 c B	15.69 a A	62.22 b A	44.84 b B
‘Fuerte’	14.09 b A	13.58 b A	15.00 b A	13.05 b B	64.43 ab A	47.73 b B
‘Colín V-33’	16.00 a A	15.62 ab A	14.25 b A	14.41 ab A	68.71 a A	61.89 a A
‘Duke 7’	13.92 b B	15.34 ab A	16.53 a A	14.74 a B	44.86 c A	44.52 b A
DMSH	1.67	2.24	0.89	1.58	6.21	4.89
CV (%)	14.37	13.48	11.56	10.03	19.54	9.02

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

^yContrastes con la misma letra mayúscula en hileras para cada variable no presentan diferencias ($P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

La comparación de medias para el factor injerto final con interinjerto mostró que 'Hass' 'Fuerte' y 'Colín V-33' presentaron la mayor tasa de asimilación neta de CO₂, siendo diferente a 'Duke 7'; este último presentó la mayor tasa de asimilación neta de CO₂ pero sin interinjerto, siendo diferente a 'Fuerte'. Con respecto a la tasa de transpiración y conductancia estomática no se encontraron diferencias entre genotipos (Cuadro 1.8). Para resistencia estomática 'Hass', sin interinjerto, presentó el mayor valor y 'Colín V-33' el menor.

Mediante contrastes ortogonales se encontró que 'Fuerte', con interinjerto, incrementó significativamente en 76.7 % la tasa de asimilación neta comparado con el sin interinjerto (Cuadro 1.8). La resistencia estomática se vio disminuida significativamente ($P \leq 0.05$) con el interinjerto para 'Hass' y 'Fuerte' en 38.46 y 26.31 %, respectivamente. Para las variables concentración interna de CO₂ y temperatura de la hoja no hubo diferencias significativas intra cultivares (Cuadro 1.9).

CUADRO 1.8. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables fisiológicas de la hoja de aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Injerto final	Tasa de asimilación neta CO ₂ ($\mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		Tasa de transpiración ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		Conductancia estomática ($\text{mmol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$)		Resistencia estomática ($\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	4.96 a ^z A ^y	3.70 ab A	1.42 a A	0.71 a A	59.38 a A	28.89 a A	0.80 a B	1.30 a A
‘Fuerte’	5.53 a A	3.13 b B	1.73 a A	1.21 a A	65.69 a A	78.11 a A	0.84 a B	1.14 ab A
‘Colín V-33’	5.32 a A	4.80 ab A	1.66 a A	1.64 a A	65.22 a A	39.14 a A	0.78 a A	0.62 b A
‘Duke 7’	4.10 b A	4.95 a A	1.33 a A	1.78 a A	37.85 a A	62.31 a A	0.75 a A	0.90 ab A
DMSH	0.80	1.79	0.57	1.12	27.58	71.95	0.16	0.67
CV	54.48	62.85	78.42	62.85	90.61	79.24	68.76	79.54

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P\leq 0.05$).

^yContrastes con la misma letra mayúscula en hileras para cada variable no presentan diferencias ($P\leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

CUADRO 1.9. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables fisiológicas de la hoja de aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ v ‘Duke 7’.

Injerto final	Concentración interna CO ₂ (ppm)		Temperatura de la hoja (°C)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	345.54 a ^z A ^y	358.08 a A	26.50 a A	23.47 a A
‘Fuerte’	338.59 a A	354.53 a A	26.89 a A	24.55 a A
‘Colín V-33’	346.07 a A	353.37 a A	26.38 a A	26.29 a A
‘Duke 7’	373.61 a A	344.93 a A	26.92 a A	26.02 a A
DMSH	38.74	21.20	1.98	6.04
CV	37.48	6.61	15.83	18.86

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

^yContrastes con la misma letra mayúscula en hileras para cada variable no presentan diferencias ($P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

En las características anatómicas de vasos de xilema en la vena central de la hoja para el factor injerto final con interinjerto se encontraron diferencias ($P \leq 0.05$) para área, perímetro, longitud del eje mayor, longitud del eje menor e índice Feret, de ‘Duke 7’ con el resto de los cultivares (Cuadro 1.10). Cuando se evaluó en injerto final, sin interinjerto, se observó que la vena central de la hoja de ‘Colín V-33’ fue diferente ($P \leq 0.05$) a las de los demás genotipos en: área, perímetro, longitud del eje mayor y menor e índice Feret (Cuadros 1.10 y 1.11).

En las características anatómicas de las células de xilema en el pecíolo de la hoja para el factor injerto final con interinjerto se encontró que ‘Colín V-33’ y ‘Hass’ presentaron diferencias ($P \leq 0.05$) con ‘Duke 7’ en la mayoría de las variables anatómicas evaluadas, excepto para la variable índice de redondez, donde ‘Duke 7’ presentó el mayor valor (Cuadros 1.10 y 1.11).

CUADRO 1.10. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables anatómicas en un corte transversal en la vena central y pecíolo de la hoja de aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Injerto final	Vena central							
	Área (μm)		Perímetro (μm)		Longitud eje mayor (μm)		Longitud eje menor (μm)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	311.96 a ^z A ^y	197.28 b B	76.30 a A	59.15 b B	24.64 a A	18.58 b B	14.53 a A	12.00 b B
‘Fuerte’	279.66 a A	157.72 b B	71.66 a A	51.97 b B	23.24 a A	16.25 b B	13.67 a A	10.48 b B
‘Colín V-33’	309.99 a A	308.72 a A	76.82 a A	76.17 a A	24.94 a A	24.60 a A	14.24 a A	14.37 a A
‘Duke 7’	191.71 b A	157.47 b A	57.89 b A	54.15 b A	18.18 b A	16.58 b A	11.78 b A	10.89 b A
DMSH	37.80	52.31	5.56	7.90	1.96	2.58	1.07	1.61
CV (%)	26.14	23.37	14.86	12.01	16.24	12.46	14.88	12.37

Injerto final	Pecíolo							
	Área (μm)		Perímetro (μm)		Longitud eje mayor (μm)		Longitud eje menor (μm)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	430.02 a ^z A ^y	247.04 b B	91.06 a A	68.64 b B	29.10 a A	21.51 b B	17.86 a A	13.66 b B
‘Fuerte’	291.23 b A	221.99 b B	75.17 b A	63.93 b B	24.41 b A	20.32 b B	14.09 b A	12.89 b A
‘Colín V-33’	395.53 a A	407.17 a A	87.95 a A	88.97 a A	28.55 a A	29.22 a A	16.73 a A	16.10 a A
‘Duke 7’	225.89 c A	221.45 b A	64.35 c A	63.42 b A	20.36 c A	20.05 b A	12.77 c A	12.72 b A
DMSH	45.93	77.65	5.78	10.08	1.87	3.32	1.25	2.07
CV (%)	27.51	28.06	14.69	14.09	14.81	14.50	16.45	14.91

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

^yContrastes con la misma letra mayúscula en hileras para cada variable no presentan diferencias ($P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

‘Colín V-33’ sin interinjerto mostró los mayores valores para área, perímetro, longitud del eje mayor y menor e índice Feret, siendo diferente ($P \leq 0.05$) a todos los demás cultivares (Cuadros 1.10 y 1.11).

CUADRO 1.11. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables anatómicas: Índice de redondez e Índice Feret de un corte transversal en la vena central y pecíolo de la hoja en ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Injerto final	VENA CENTRAL			
	Índice de redondez (μm)		Índice Feret (μm)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	0.63 c ^z A ^y	0.68 a B	19.04 a A	15.41 b B
‘Fuerte’	0.65 b A	0.70 a B	18.15 a A	13.65 b B
‘Colín V-33’	0.63 c A	0.63 b A	19.11 a A	19.01 a A
‘Duke 7’	0.68 a A	0.67 a A	15.05 b A	13.95 b A
DMSH	0.02	0.03	1.47	1.88
CV (%)	5.38	4.52	15.67	11.14

Injerto final	PECÍOLO			
	Índice de redondez (μm)		Índice Feret (μm)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	0.63 b A	0.65 a A	22.54 a A	17.27 b B
‘Fuerte’	0.63 b B	0.66 a A	18.64 b A	16.26 b B
‘Colín V-33’	0.62 b A	0.61 b A	21.73 a A	21.90 a A
‘Duke 7’	0.65 a A	0.66 a A	16.31 c A	16.22 b A
DMSH	0.01	0.03	1.37	2.40
CV (%)	7.17	4.80	14.05	13.38

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

^yContrastes con la misma letra mayúscula en hileras para cada variable no presentan diferencias ($P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

DISCUSIÓN

Para 'Fuerte' como injerto final la densidad estomática encontrada coincide con el intervalo reportado por Blanke (1992). Sin embargo, en general los datos no coinciden con los reportados por Macías y Borys (1980). Esto, quizás sea debido al efecto de las condiciones ambientales prevalecientes en el invernadero y a que estos autores estudiaron plantas francas de aguacate de diversas procedencias.

La presencia del interinjerto en 'Hass', 'Fuerte' y 'Colín V-33' tendió a incrementar la densidad de estomas y de células epidérmicas. Lo anterior, quizás se deba al efecto de injertación, coincidiendo parcialmente con lo encontrado por Páres *et al.* (2004) en anonas. Esto se puede interpretar como un aspecto positivo ya que se esperaría un incremento en conductancia estomática, y en consecuencia se aumentaría la capacidad de transpiración. Sin embargo, no se encontró tal relación en el presente estudio.

El alto grado de asociación entre el índice estomático y la densidad estomática reportada por Verdugo *et al.* (1999) no fue muy claro en el presente estudio. Esto quizás, sea debido a que el índice estomático depende de la densidad de estomas y células epidérmicas que pueden estar fuertemente influenciadas por las condiciones ambientales y por el genotipo que se trate (Wilkinson, 1979; Roth *et al.*, 1986; Rubino *et al.*, 1989; Bethke y Drew, 1992 y Salas *et al.*, 2001).

También se puede atribuir a que tanto la frecuencia como el tamaño de los estomas pueden variar en función de la posición foliar, las condiciones de crecimiento y el cultivar (Sánchez-Díaz y Aguirreola, 2008).

‘Colín V-33’ como injerto final, con y sin interinjerto presentó el mayor grosor de parénquima en empalizada I y valores muy similares para el grosor de epidermis superior e inferior lo que podría indicar que es más eficiente desde el punto de vista fotosintético y que quizás tenga un comportamiento más constante (Wilson y Cooper, 1970 y Barden, 1978). En este genotipo fue donde se apreció más claramente la presencia de dos capas de parénquima en empalizada, lo cual parcialmente se reflejó en la asimilación de CO₂, presentando valores altos al igual que ‘Duke 7’ que a su vez tenía un mayor contraste en densidad estomática.

En cuanto a las variables fisiológicas tasa de asimilación neta de CO₂, tasa de transpiración, conductancia estomática y temperatura de la hoja, se observó que con la presencia del interinjerto tendieron a incrementarse en ‘Hass’, y ‘Fuerte’, principalmente. Esto puede estar relacionado con lo encontrado en las dimensiones de los vasos del xilema del pecíolo y de la vena central de la hoja, donde se vieron favorecidas por la presencia del interinjerto, lo cual se relaciona con el transporte del agua en aguacate (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002), y esto al parecer podría haber influido en la eficiencia fisiológica de la hoja. La resistencia estomática disminuyó con la presencia del interinjerto en ‘Hass’, ‘Fuerte’ y ‘Duke 7’. Para este último genotipo se tuvieron los menores valores

en la mayoría de las variables fisiológicas evaluadas, con excepción de la concentración interna de CO₂ y la temperatura de la hoja, esto quizás sea debido a que éste cultivar ('Duke 7') no respondió adecuadamente a las condiciones de invernadero ya que manifestaron precozmente síntomas de deficiencia nutrimental y los brotes presentaron un bajo crecimiento, efecto más acentuado cuando se combinó con 'Colín V-33' como interinjerto. De hecho, 'Duke 7' en campo también presenta crecimiento lento y es frecuente la deficiencia de nitrógeno (Alejandro F. Barrientos Priego, comunicación personal).

Experimentalmente en 'Colín V-33', como interinjerto, se ha encontrado que existe una disminución de la auxina sintetizada en la copa; esta misma auxina tiene flujo polar basipétalo a través del floema y células cambiales, donde el ABA tiene una función importante en el balance ABA/AIA (Barrientos-Villaseñor *et al.*, 1999), esta característica juega un papel importante en la regulación de la forma de la planta y también en la formación de los tejidos vasculares. La relación ABA/AIA puede ser la causa de modificaciones en el abastecimiento recíproco de carbohidratos entre la parte aérea y la raíz en el que tienen gran influencia las auxinas (Faust, 1989). Por lo que se podría inferir que 'Colín V-33', tanto como portainjerto e interinjerto, se caracteriza por presentar una corteza engrosada, alto nivel de almidón y bajo nivel de auxinas. De la cantidad de auxina que llega a la raíz, depende el desarrollo del sistema radical y por lo tanto, la cantidad de citocininas sintetizadas, que son translocadas por el xilema a los puntos de crecimiento (Lockard y Schneider, 1981). El bajo nivel de auxina

se debe a .parte de esta se degrada en la corteza, por la influencia de la cantidad de ácido indolacético oxidasa, peroxidasa, fenoles y tal vez otros compuestos que hay en el floema y células cambiales; esto implica necesariamente que la molécula de la auxina sufre una rápida e irreversible destrucción durante la estimulación del crecimiento lo cual trae indudablemente cambios anatómicos y como consecuencia respuestas fisiológicas contrastantes.

CONCLUSIONES

La presencia del interinjerto modificó de manera significativa algunas características anatómicas de elementos de vaso de la vena central y del pecíolo de la hoja, así como la tasa de asimilación neta de CO₂.

El genotipo 'Duke 7' usado como interinjerto influyó en la mayoría de las características anatómicas de elementos de vaso de la vena central y el pecíolo de la hoja, así como en la tasa de asimilación de CO₂ y resistencia estomática.

En general, 'Hass' y 'Fuerte' presentaron mayores modificaciones en la anatomía y fisiología por efecto del interinjerto.

LITERATURA CITADA

- ANÓNIMO. 2009. Dirección General Adjunta de Planeación Estratégica y Análisis Sectorial, Financiera Rural. Monografía Aguacate. D.F., México.
- BLANKE, M. M. 1992. Photosynthesis of avocado fruit. Proc. Second World Avocado Congress. Orange, California, USA. pp. 179-189.
- BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; MUÑOZ-PÉREZ, R. B.; BORYS, M. W.; MARTÍNEZ-DAMIÁN, MA. T. 2000. Cultivares y portainjertos del aguacate, pp. 35-54. *In*: El Aguacate y su Manejo Integrado. TÉLIZ, D.; GONZÁLEZ, H.; RODRÍGUEZ, J.; DROMUNDO, R. (eds.). Mundi-Prensa México, S.A. de C.V. D.F., México.
- BARRIENTOS-VILLASEÑOR, A.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. E.; PEÑA-LOMELI, A.; MUÑOZ-PÉREZ, R. 1999. Influencia del interinjerto cv. Colín V-33 sobre algunos aspectos fisiológicos en aguacatero (*Persea americana* Mill.). Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 103-116.
- BARDEN, J. A. 1978. Apple leaves, their morphology and photosynthetic potential. HortScience 13(6): 644-645.

- BEN-YA'ACOV, A. D.; MICHELSON, E. 1995. Avocado rootstocks. Horticultural Reviews 17: 381-429.
- BETHKE, C. P.; DREW, C. M. 1992. Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity. Plant Physiology 99(1): 219-226.
- LACONO, F.; BUCCELLA, A.; PETERLUNGER, E. 1998. Water stress and rootstock influence on leaf gas exchange of grafted and ungrafted grapevines. Scientia Horticulturae 75(1): pp 27-39,
- LOCKARD, R. G.; SCHNEIDER, G. W. 1981. Stock and scion relationships and the dwarfing mechanism in apple. Horticultural Reviews 3: 315-375.
- MACÍAS G., J. L.; BORYS, M. W. 1980. Distribución de estomas en una población de *Persea americana* var. *drymifolia* Mill. Programa de Actividades y Resúmenes de Ponencias del Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Fitogenética (SOMEFI). Uruapan, México. p. 82.
- PÁRES-MARTÍNEZ, J.; ARIZALETA, M.; SANABRIA, M. E.; BRITO, L. 2004. Características de los estomas, densidad e índice estomático y su variación en función de la injertación en *Annona muricata*. L. y *Annona montana* MADFAC. Bioagro 16(3): 213-218.

- REYES-SANTAMARIA, I; TERRAZAS, T; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F; TREJO, C. 2002. Xylem conductivity and vulnerability in cultivars and races of avocado. *Scientia Horticulturae* 92(2): 97-105.
- ROTH, I.; MERIDA, T.; LINDORF, H. 1986. Morfología y anatomía foliar de plantas de la selva nublada de Rancho Grande, pp. 205-241. *In: La Selva Nublada de Rancho Grande. Parque Nacional "Henry Pittier". El Ambiente Físico, Ecología General y Anatomía Vegetal.* JUBER, O. (ed). Fondo Editorial Acta Científica Venezolana. Caracas, Venezuela.
- RUBINO, P.; TARANTINO, E.; REGA, F. 1989. Relationship between soil water status and stomatal resistance of tomatoes. *Irrigazione e Drenaggio* 36: 95- 98.
- SALAS, J. A; SANABRIA, M. E; PIRE, R. 2001. Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. *Bioagro* 13(3): 99-104.
- SÁNCHEZ-DÍAZ, M.; AGUIRREOLEA, J. 2008. Transpiración y movimientos estomáticos, pp. 41-56. *In: Fundamentos de Fisiología Vegetal.* AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M. (eds). McGraw-Hill-Interamericana. Barcelona, España.

- SANTACRUZ U., H. 2004. Actividad productora del aguacate en México y Michoacán. *Tecnoagro* 5(13): 13-18.
- SASS, J. E. 1968. *Botanical Microtechnique*. 3rd. Edition. The Iowa State University Press. Iowa, USA. 227 p.
- SPERRY, J. S.; SALIENDRA, N. Z. 1994. Intra and inter-plant variation in xylem cavitation in *Betula occidentalis*. *Plant, Cell and Environment* 17(11): 1233-1241.
- VERDUGO, V.; ROJAS, A.; DE LEÓN, A.; ZAMBRANO, B.; BARRIOS, S.; LEÓN, E.; RIOS, B.; BENAVIDES, A. 1999. Estimación del índice estomático y la frecuencia estomática en cuatro variedades de ajo (*Allium sativum* L.). *Curso de Fisiología de hortalizas. Maestría en Horticultura*. UAAAN, Saltillo. Coahuila, México.
- WILCOX C., D.; DOVE, S.B.; DOSS, W. M.; GREER, D. B. 2002. UTHSCSA Image Tool. IT Version 3.0 Department of Dental Diagnostic Science. University of Texas Health Science Center, San Antonio, Texas, USA. 57 p.
- WILKINSON, H. 1979. The plant superface (mainly leaf), pp. 97-165 *In: Anatomy of Dicotyledons*. METCALFE, C. R.; CHALK, L. (eds). Clarendon Press. Oxford, UK.
- WILSON, D.; COOPER, J. P. 1970. Effect of selection for mesophyll cell size on growth and assimilation in *Lolium perenne* L. *New Phytologist*. 69(2): 233-245.

CAPÍTULO II

CONTENIDO NUTRIMENTAL, UNIDADES SPAD Y CRECIMIENTO EN AGUACATE 'HASS', 'FUERTE', 'COLÍN V-33' Y 'DUKE 7', POR EFECTO DEL INTERINJERTO

RESUMEN

Se evaluó el efecto del interinjerto en la composición nutrimental foliar, unidades SPAD y en las variables de crecimiento de 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7' utilizados como interinjertos e injertos finales. Se determinó la concentración de N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y unidades SPAD en la hoja del injerto final. También se cuantificó: altura del último injerto, número de ramas por planta, crecimiento total de las ramas, diámetro superior e inferior del interinjerto y diámetro del injerto. Para el contenido de macronutrientes, 'Hass' como interinjerto superó el contenido de nitrógeno de los demás interinjertos ($P \leq 0.05$). El cv. Fuerte como interinjerto presentó los mayores contenidos de fósforo, calcio y magnesio y fue diferente a los de 'Duke 7'. Para el contenido de micronutrientes, 'Fuerte', como interinjerto, presentó el mayor contenido de cobre, manganeso y zinc, que difirió significativamente ($P \leq 0.05$) del de 'Hass' en los dos últimos elementos. Los contenidos de nitrógeno en 'Hass' y 'Fuerte' disminuyeron 18.8 y 17.7 %, respectivamente, con la presencia del interinjerto. En 'Duke 7' como injerto final se incrementó el contenido de fósforo, calcio y magnesio en 34.7, 30.8 y 43.0 %, en tanto que para 'Colín V-33' se incrementó el contenido de fósforo y calcio en 48.9 y 90.4 %.

PALABRAS CLAVES. Injerto intermedio, nutrición, *Persea americana* Mill.

ABSTRACT

The effect of the interstock was evaluated in the leaf nutrimental composition, SPAD units and in the variables of growth of 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' and 'Duke 7' used as interstocks and final grafts. The concentration of N, P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn and units SPAD were evaluated in the leaf of the end graft. were determined. It was also quantified: height of the last graft, number of branches for plant, total growth of the branches, upper and lower diameter of the interstock and diameter of the final graft. For the content of macronutriments, 'Hass' as interstock showed the largest content of nitrogen ($P \leq 0.05$). The cv. Fuerte as interstock presented the major content of phosphorus, calcium and magnesium and was different from those of 'Duke 7'. For the content of micronutrients, 'Fuerte', as interstock, showed the largest contents of copper, manganese and zinc, that were different significantly ($P \leq 0.05$) relative to of that of 'Hass' in the last two elements. The contents of nitrogen in 'Hass' and 'Fuerte' decreased 18.8 and 17.7 %, respectively, with the presence of the interstock. In 'Duke 7' as final graft the content of phosphorus, calcium and magnesium increased in 34.7, 30.8 and 43.0 %, respectively, whereas 'Colín V-33' increased the content of phosphorus and calcium in 48.9 and 90.4 %, respectively.

KEY WORDS. Intermediate graft, nutrition, *Persea americana* Mill.

INTRODUCCIÓN

Los portainjertos clonales son ampliamente utilizados para controlar el crecimiento vegetativo en frutales, para mejorar calidad y rendimiento de fruto (Webster, 1995; Castle, 1995). Además de aspectos sanitarios. En particular, en el aguacate (*Persea americana* Mill), de un buen portainjerto se espera un árbol longevo, de alto rendimiento y buena calidad de frutos en el injerto. Es altamente deseable que sin reducir el rendimiento por área de copa y otras características se obtengan árboles de porte bajo.

El árbol frutal está compuesto por el cultivar o variedad y el portainjerto/interinjerto. El portainjerto está en contacto directo con el suelo e influye en la absorción de agua, nutrimentos, en la concentración nutrimental en la hoja (Hartmann *et al.*, 1990); además, acumula los carbohidratos sintetizados en las hojas y sintetiza algunas hormonas (Agustí, 2003). Por ello, el análisis de tejido foliar es utilizado para diagnosticar el estado nutrimental de un árbol o huerta y sus requerimientos futuros, pero también se pone de manifiesto que todos sus componentes (portainjerto, interinjerto e injerto) pueden afectar el nivel de nutrimentos minerales (Hartmann *et al.*, 1990). Además, se usa para conocer la capacidad de los diferentes portainjertos en absorber y translocar nutrimentos a la hoja (West y Young, 1988; Rom *et al.*, 1991; Sharma y Sauna, 1991).

Richards *et al.* (1986) consideraron que el interinjerto influye en la distribución y el metabolismo de las hormonas en la planta, alterando su desarrollo. Atkinson

et al. (2003) concluyeron que el portainjerto induce cambios anatómicos en la parte aérea del injerto ocasionando una restricción en el transporte de agua y minerales de la parte aérea, posiblemente esto cause la acumulación de auxinas que son transportadas basipétalmente, en la planta, alterando su desarrollo. Los portainjertos enanizantes afectan en mayor grado que los vigorosos, la producción y el transporte basipétalo de las auxinas de la parte aérea a la raíz (Soumelidou *et al.*, 1994).

Barrientos-Priego *et al.* (1987) consideraron que el cv. Colín V-33 puede ser un portainjerto enanizante, ya que como injerto intermedio reduce en 43 % la altura del cv. Fuerte. En el caso del cv. Hass se ha encontrado que un interinjerto del cv. Colín V-33 reduce en 27 % el tamaño del mismo a los cuatro años de establecido (Barrientos Villaseñor *et al.*, 1999). García y Mosqueda (1993) y Vázquez *et al.* (2000) indicaron que dependiendo de la combinación portainjerto/interinjerto/cultivar utilizado, pueden obtenerse reducciones substanciales del tamaño de la planta, lo cual permite, además de asegurar una alta eficiencia productiva, incrementar significativamente la densidad de plantación, para el caso de mango (*Mangifera indica*).

Rozpara *et al.* (1990) mencionaron que el uso de diferentes longitudes del interinjerto M.9 modificó el contenido en nutrimentos minerales de la copa en el cv. Imperial Gala, especialmente la reducción en el contenido de potasio que pudiera ser la causa de la reducción del crecimiento vegetativo. Por otra parte, Warner (1991) mencionó que el portainjerto puede influir en la ramificación del

cultivar (portainjertos enanizantes tienen más ramas con crecimiento horizontal que vertical) y por lo tanto canalizan más carbohidratos (Brown *et al.*, 1985).

En aguacate casi no existe investigación en lo referente al efecto del interinjerto en la concentración nutrimental de las hojas y su relación con las variables de crecimiento. Es por eso, que en esta investigación se estableció como objetivos: determinar la composición nutrimental y de unidades SPAD en hojas de las combinaciones interinjerto/injerto de 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7' y evaluar el efecto del interinjerto en el crecimiento del injerto final de 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero ubicado en el campo agrícola experimental San Martín, del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, Estado de México, ubicado a 19° 29' N y a 98° 53' W, a una altitud de 2,240 m.

Material vegetal

Se utilizaron plántulas de 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7' de aproximadamente un año y medio de edad como interinjertos e injertos finales. Para el análisis nutrimental se colectaron cuatro hojas del injerto final (lámina foliar y pecíolo) por tratamiento, completamente desarrolladas y sanas de la parte media del árbol siguiendo los cuatro puntos cardinales. El muestreo de las

hojas se realizó en el mes de octubre de 2008. Las hojas se lavaron inicialmente una vez con agua normal y en dos ocasiones con agua destilada para remover cualquier residuo superficial contaminante. Posteriormente, se secaron en una estufa a 70 °C por 48 horas e inmediatamente fueron molidas en morteros de porcelana y colocadas en frascos de cristal de 40 ml (Labanauskas *et al.*, 1961). Se pesaron 0.4 g por muestra para su digestión con 4 ml de una mezcla de ácido sulfúrico y ácido perclórico en una proporción de 2:1, adicionando 2 ml de peróxido de hidrógeno y calentando la mezcla dentro de una campana de extracción, una vez digerida la muestra, se aforó a 50 ml con agua desionizada.

Manejo de las plantas

En el 2007 se realizaron aplicaciones del fertilizante foliar Aminocel® en series de tres aplicaciones con intervalos de 14 días a la dosis de 2 g·litro⁻¹ de agua, se llevaron a cabo dos ciclos, además se aplicó el fertilizante de origen orgánico 8-8-8 a la dosis de 4 mL·litro⁻¹ de agua, al mismo intervalo. A finales del año se realizó una aplicación al suelo con 17-17-17 de N-P-K, aproximadamente 10 g por árbol. En el año 2008 se realizaron tres ciclos en series de tres aplicaciones del fertilizante foliar Bayfolan® sólido a la dosis de 4 g·litro⁻¹ de agua y en forma alternada dicho fertilizante también se aplicó al suelo a la misma dosis. Se realizó un ciclo a base del fertilizante foliar Peka®+Humforte® a dosis de 6 mL·litro⁻¹ + 1 mL·litro⁻¹ de agua, respectivamente. A finales de año se realizó la segunda aplicación al suelo de 17-17-17 de N-P-K, aproximadamente 15 g por árbol. Se realizaron aplicaciones preventivas de los fungicidas (Cupramix® y

Tecto®) y de insecticidas (Pirimor®, Karate® y Plenum®) para el control de la mosca blanca principalmente. A las plantas se les aplicó riego semanal a capacidad de campo.

Variables evaluadas

Contenido de macro y micronutrientes en la hoja

Se determinaron las concentraciones de calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), cobre (Cu) y zinc (Zn) mediante un espectrofotómetro de emisión atómica de plasma por inducción acoplada ICP-AES de Varían. El nitrógeno se determinó por el método de Microkjeldahl, fósforo (P) por el método de amarillo de molibdato y las lecturas se hicieron en un espectrofotómetro de la marca Spectronic- 20 (The Bausch y Lomb), y potasio (K) por flamometría por el método de Microkjeldahl (Alcántar y Sandoval, 1999).

Unidades SPAD

La intensidad del color verde de la hoja se determinó en unidades SPAD mediante el medidor de clorofila Minolta SPAD 502, las mediciones se realizaron en hojas previamente seleccionadas y etiquetadas que correspondía a la cuarta o quinta hoja completamente expandida a partir del ápice. Las mediciones se realizaron en la parte media de la hoja y se tomaron tres lecturas por hoja. Las cuantificaciones se realizaron cada 15 días. Se obtuvo el promedio de las tres lecturas.

Variables de crecimiento

Para la medición del diámetro del injerto final y de los diámetros superior e inferior del interinjerto se utilizó un vernier digital de la marca Mitutoyo. En tanto que la altura del injerto final y el crecimiento total de las ramas se evaluaron mediante una cinta métrica. También, se contó el número de ramas por planta.

Diseño experimental y diseño de tratamientos

El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar con un arreglo de tratamientos factorial (4x4), en donde el factor 1 fue el interinjerto ('Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7') y el factor 2 fue el injerto final ('Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'). La unidad experimental consistió en una planta. Se tuvieron cuatro repeticiones; adicionalmente, se consideró un testigo sin interinjerto para cada cultivar.

Análisis estadístico

Se llevaron a cabo las comparaciones de medias por factor (interinjerto e injerto), mediante la prueba de Tukey con $P \leq 0.05$. También se realizaron contrastes ortogonales para comparar el injerto final con el testigo sin interinjerto. Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson (Cuadro 2 A).

RESULTADOS

Factor interinjerto

‘Hass’ como interinjerto presentó el mayor contenido de nitrógeno (Cuadro 2.1) Sin embargo, este cultivar tuvo los menores contenidos de calcio y magnesio que fueron diferentes ($P \leq 0.05$) al de ‘Duke 7’. Para el contenido de micronutrientes en hojas, no hubo diferencias significativas en cobre y hierro. En manganeso, ‘Fuerte’ superó al resto de las variedades ($P \leq 0.05$) que fueron estadísticamente iguales. En zinc sólo hubo una diferencia significativa: ‘Fuerte’ (78.1 $\mu\text{g}\cdot\text{g}$) superó a ‘Hass’ (48.7 $\mu\text{g}\cdot\text{g}$).

‘Duke 7’ presentó los valores más altos de unidades SPAD superando significativamente ($P \leq 0.05$) a los de ‘Hass’ y ‘Fuerte’ (Cuadro 2.2). Las cuatro variedades tuvieron la misma altura del injerto final. Sin embargo, el número de ramas por planta, el crecimiento total de las ramas, los diámetros superior e inferior del interinjerto y el diámetro del injerto final fueron estadísticamente iguales en las cuatro variedades.

CUADRO 2.1. Efecto del interinjerto en el contenido de macro y micronutrientes en la hoja de aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Interinjerto	Macronutrientes (%)				
	N	P	K	Ca	Mg
‘Hass’	1.72 a ^z	0.061 ab	1.32 b	2.08 b	0.91 b
‘Fuerte’	1.48 b	0.062 a	1.36 b	2.61 a	1.18 a
‘Colín V-33’	1.47 b	0.058 b	1.19 b	2.24 ab	1.03 ab
‘Duke 7’	1.55 b	0.054 c	1.56 a	2.14 b	0.95 b
DMSH	0.16	0.003	0.19	0.37	0.17
CV (%)	9.16	4.920	13.58	14.99	15.59

Interinjerto	Micronutrientes (µg·g)			
	Cu	Fe	Mn	Zn
‘Hass’	8.46 a ^z	80.19 a	126.52 b	48.70 b
‘Fuerte’	11.30 a	70.23 a	231.66 a	78.09 a
‘Colín V-33’	8.16 a	83.27 a	135.78 b	59.44 ab
‘Duke 7’	9.89 a	69.23 a	142.80 b	70.59 ab
DMSH	4.53	18.24	68.28	22.44
CV (%)	44.00	22.06	37.35	32.07

^zValores con la misma letra en cada columna no son diferentes entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

CUADRO 2.2. Efecto del interinjerto en la intensidad del color verde de la hoja y en algunas variables de crecimiento en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

Interinjerto	Intensidad del color verde (Unidades SPAD)	Altura del último injerto (cm)	Ramas por planta	Crecimiento total de las ramas (cm)	Diámetro inferior del interinjerto (mm)	Diámetro superior del interinjerto (mm)	Diámetro del injerto final (mm)
'Hass'	43.57 b ^z	81.06 a	8.36 a	191.7 a	15.79 a	11.63 a	11.32 a
'Fuerte'	42.53 b	88.61 a	11.23 a	238.3 a	15.71 a	12.69 a	12.89 a
'Colín V-33'	48.75 ab	59.95 a	7.21 a	123.2 a	14.22 a	11.89 a	11.91 a
'Duke 7'	50.17 a	74.56 a	9.52 a	258.7 a	18.24 a	13.52 a	13.85 a
DMSH	6.50	44.40	9.97	325.0	5.36	5.20	5.23
CV (%)	15.35	60.80	113.40	160.3	35.89	44.80	44.83

^zValores con la misma letra en cada columna no son diferentes entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Factor injerto final

Las medias de la concentración foliar de los macronutrientes en el injerto final muestran que en el contenido de fósforo y calcio, sí influyó significativamente ($P \leq 0.05$) la presencia del interinjerto (Cuadro 2.3) en las variedades 'Colín V-33' y 'Hass'. 'Colín V-33' como injerto generó el mayor contenido de fósforo, mientras que con 'Hass' se tuvo el mayor contenido de calcio. En los contenidos de nitrógeno, potasio y magnesio no hubo diferencias significativas ($P \leq 0.05$) entre injertos finales. 'Hass' sin interinjerto presentó el mayor contenido foliar de nitrógeno, fósforo y magnesio. Mientras que para el calcio el mayor contenido le correspondió a 'Fuerte' siendo diferente ($P \leq 0.05$) a los demás injertos. Los promedios para el contenido foliar de micronutrientes en el injerto final de 'Fuerte' y 'Duke 7' muestran que la presencia del interinjerto influyó significativamente ($P \leq 0.05$) en el contenido de hierro donde 'Fuerte', y 'Duke 7' fueron diferentes a 'Hass'. Mientras que para manganeso 'Hass' fue diferente a 'Fuerte'. En los demás micronutrientes no hubo diferencias. 'Hass' sin interinjerto presentó el mayor contenido de manganeso ($P \leq 0.05$) y fue diferente a los demás injertos. Mientras que, para el contenido de hierro 'Colín V-33' tuvo el mayor valor y difirió estadísticamente ($P \leq 0.05$) de 'Fuerte' y 'Duke 7'. Mediante contrastes ortogonales se encontró que el contenido de nitrógeno en 'Hass' y 'Fuerte' disminuyó en 18.8 y 17.7 % con la presencia del interinjerto, mientras que para 'Duke 7' se incrementó el contenido de fósforo y magnesio en 34.7 y 43.0 %, respectivamente. 'Colín V-33' incrementó en 48.9 y 90.4 % el contenido de fósforo y calcio. En tanto, que con 'Hass' se incrementó el contenido de calcio en 49.1 %.

CUADRO 2.3. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el contenido de macro y micronutrientes en hojas de aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Macronutrientes (%)										
	N		P		K		Ca		Mg	
Injerto final	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	1.51 a ^z B ^y	1.86 a A	0.048 b A	0.069 a A	2.24 a A	1.79 a A	1.61 a A	1.08 b B	1.07 a A	1.08 a A
‘Fuerte’	1.49 a B	1.81 a A	0.049 b A	0.053 ab A	2.29 a A	1.86 a A	1.06 b A	1.23 a A	1.07 a A	0.93 b A
‘Colín V-33’	1.51 a A	1.78 a A	0.070 a A	0.047 b B	2.14 a A	2.24 a A	1.39 b A	0.73 c B	0.90 a A	1.08 a A
‘Duke 7’	1.70 a A	1.28 b A	0.066 a A	0.049 b B	2.39 a A	2.08 a A	1.36 b A	1.04 b B	1.03 a A	0.72 c B
DMSH	0.27	0.47	0.014	0.009	0.43	1.36	0.49	0.09	0.19	0.10
CV (%)	16.12	10.65	22.59	6.930	17.32	26.41	32.24	3.41	17.53	0.42

Micronutrientes (µg·g)									
	Cu		Fe		Mn		Zn		
Injerto final	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	11.13 a ^z A ^y	9.42 a A	60.67 b A	73.51 ab A	200.16 a B	280.10 a A	74.02 a A	48.82 a B	48.82 a B
‘Fuerte’	8.92 a A	11.92 a A	86.67 a A	64.92 b A	114.39 b B	118.40 d A	68.31 a A	60.05 a A	60.05 a A
‘Colín V-33’	10.63 a A	10.56 a A	72.43 ab A	83.24 a A	138.07 ab A	185.46 b A	54.12 a A	36.28 a B	36.28 a B
‘Duke 7’	7.11 a A	9.24 a A	83.44 a A	66.76 b A	184.14 ab A	155.37 c A	60.37 a A	53.53 a A	53.53 a A
DMSH	4.39	10.09	15.66	9.75	73.71	24.76	24.29	33.74	33.74
CV (%)	42.69	37.51	18.95	5.17	42.48	5.12	34.71	25.98	25.98

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

^yContrastes con la misma letra mayúscula entre hileras para cada variable no presentan diferencias ($P \leq 0.05$).

En la concentración foliar de cobre y zinc, la presencia del interinjerto no influyó de manera significativa ($P \leq 0.05$). Sin embargo, 'Hass' presentó las mayores concentraciones de ambos elementos. Sin interinjerto, 'Fuerte' presentó el mayor contenido de estos elementos sin ser diferente a los demás cultivares. En el caso del zinc, 'Hass' y 'Colín V-33' incrementaron en 51.9 y 49.2 $\mu\text{g}\cdot\text{g}$ su contenido con la presencia del interinjerto, lo que no sucedió con manganeso y hierro.

La comparación de las medias de los cultivares mostró que el interinjerto influyó significativamente ($P \leq 0.05$) en la intensidad del color verde de las hojas de 'Hass', 'Fuerte' y 'Colín V-33' superando a las de 'Duke 7' (Cuadro 2.4). Por otro lado, en los cultivares sin interinjerto 'Hass' y 'Duke 7' tuvieron la mayor intensidad del color verde de la hoja y fueron diferentes a 'Fuerte' y 'Colín V-33'. Los diámetros del injerto final y de interinjerto (inferior y superior) de las cuatro variedades no difirieron significativamente ($P \leq 0.05$).

'Fuerte' y 'Colín V-33' incrementaron la intensidad del color verde en 53.5 y 62.6 %, respectivamente, con la presencia del interinjerto (Cuadro 2.4). 'Colín V-33' fue el que más incrementó la altura del último injerto (88.3 %), con interinjerto, mientras que 'Hass' la incrementó en 56.1 % y 'Fuerte' en 27.8 % en tanto que 'Duke 7' en 21.9 %, esto comparado con los mismos cultivares pero sin interinjerto. Para el número de ramas por planta en 'Colín V-33' y 'Duke 7' con interinjerto se generaron incrementos de 119.1 y 76.6 %, respectivamente, comparado al sin interinjerto. 'Fuerte' fue el que menos incrementó el número

de ramas (16.4 %) con la presencia del interinjerto. En cuanto, al crecimiento total de las ramas, éste se incrementó con la presencia del interinjerto en todos los cultivares pero de manera más notoria con 'Colín V-33', 'Hass' y 'Duke 7', en los que se incrementó en 224.4, 203.8 y 198.9 %, respectivamente. Aunque no hubo diferencias estadísticas en las variables de crecimiento, éstas se vieron favorecidas por la presencia del interinjerto.

La comparación de medias para el diámetro superior e inferior del interinjerto y del injerto final no mostró diferencias estadísticas ($P \leq 0.05$). Sin embargo, 'Hass' y 'Fuerte' presentaron los mayores valores para estas variables (Cuadro 2.5). El diámetro superior del interinjerto se correlacionó de manera altamente significativa con la altura de planta ($r=0.51^{**}$), con el número de ramas ($r=0.60^{**}$), con el crecimiento total de las ramas ($r=0.63^{**}$) y con la longitud promedio de la rama ($r=0.89^{**}$). La altura del injerto final se correlacionó de manera positiva y altamente significativa con el diámetro del injerto final ($r=0.53^{**}$), con el número de ramas ($r=0.78^{**}$), con el crecimiento total de ramas ($r=0.75^{**}$), de manera significativa se correlacionó con la intensidad del color verde de la hoja (unidades SPAD) ($r=0.31^{*}$). El magnesio se correlacionó de manera altamente significativa con el calcio ($r=0.48^{**}$) y con manganeso ($r=0.49^{**}$). El zinc se correlacionó de manera positiva y significativa con el diámetro del injerto final ($r=0.34^{*}$), con el diámetro superior del interinjerto ($r=0.34^{*}$), con el diámetro inferior del interinjerto ($r=0.35^{*}$), con la altura de la planta ($r=0.25^{*}$), con la longitud promedio de la rama ($r=0.27^{*}$) y con el magnesio ($r=0.39^{*}$).

CUADRO 2.4. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en la intensidad del color verde de la hoja, y en algunas variables de crecimiento en aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Injerto final	Intensidad del color verde (Unidades SPAD)		Altura del último injerto (cm)		Ramas por planta		Crecimiento total de las ramas (cm)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	44.07 ab ^z A ^y	37.36 ab A	85.77 ab A	54.93 a A	9.66 a A	7.33 a A	231.6 a A	76.23 ab A
‘Fuerte’	45.22 ab A	29.46 b B	109.66 a A	85.80 a A	13.59 a A	11.67 a A	337.8 a A	217.43 a A
‘Colín V-33’	49.42 a A	30.39 b B	64.93 bc A	34.48 a A	7.12 a A	3.25 a A	140.8 a A	43.40 b A
‘Duke 7’	41.32 b A	39.66 a A	40.70 c A	33.38 a A	6.18 a A	3.50 a A	123.9 a A	41.45 b A
DMSH	7.12	7.96	43.31	64.17	9.31	9.86	317.1	144.33
CV (%)	16.12	10.65	60.80	55.43	108.33	74.88	155.78	70.49

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

^yContrastes con la misma letra mayúscula entre hileras para cada variable no presentan diferencias ($P = 0.05$).

CUADRO 2.5. Comparación de medias para el injerto final en algunas variables de crecimiento en aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Interinjerto	Diámetro inferior del interinjerto (mm)	Diámetro superior del interinjerto (mm)	Diámetro del injerto final (mm)
‘Hass’	18.32 a ^z	14.18 a	14.43 a
‘Fuerte’	16.81 a	13.92 a	13.91 a
‘Colín V-33’	14.93 a	11.28 a	11.47 a
‘Duke 7’	13.92 a	10.34 a	10.15 a
DMSH	5.29	5.00	5.04
CV (%)	35.42	43.08	43.17

^zValores con la misma letra en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV.: coeficiente de variación.

DISCUSIÓN

La alta correlación entre unidades SPAD y el contenido de nitrógeno encontrada por Novoa y Villagrán (2002) en maíz (*Zea Mays*) y por Eucique *et al* (2005) en palma de aceite (*E. guineensis*) no fue muy clara en este trabajo. Quizás, esto se deba a que las unidades SPAD por ser un valor único son afectadas por: cantidad y fuente de nitrógeno, tipo de suelo, especie, nutrición, incidencia de plagas y enfermedades y de las condiciones ambientales.

Con base en los resultados obtenidos, parecería normal que al combinarse interinjerto/injerto de crecimiento vigoroso y con buena afinidad entre ellos como es el caso de 'Hass'/'Fuerte' y viceversa, la respuesta en crecimiento tanto vertical como horizontal sean mayores. Lo anterior, quizás sea debido a que como interinjertos tengan una mayor distribución de fotoasimilados y un mejor metabolismo de las hormonas principalmente giberelinas (Richards *et al.*, 1986). Además, pueden presentar una menor restricción en el transporte de agua y minerales de la parte aérea y posiblemente esto favorezca el transporte basipétalo de las auxinas en la planta, promoviendo su desarrollo (Atkinson *et al.*, 2003).

Existen evidencias de que 'Colín V-33' es un interinjerto enanizante de 'Fuerte' y en menor grado de 'Hass' (Barrientos-Priego *et al.*, 1987; Barrientos-Villaseñor *et al.*, 1999), y esto coincide con lo encontrado en el presente estudio ya que al utilizar como interinjerto a 'Colín V-33' en 'Hass', 'Fuerte' y 'Duke 7', se redujo la altura del injerto final en menor o mayor grado, coincidiendo con lo

encontrado en mango (*Mangifera indica*) por García y Mosqueda (1993) y Vázquez *et al* (2000) en el cv. Manila: algunas combinaciones portainjerto/interinjerto/cultivar pueden producir reducciones sustanciales en el tamaño de la planta. El mecanismo de reducción del tamaño del árbol del interinjerto 'Colín V-33' probablemente se deba al mayor grosor de su corteza ya que esta característica es un indicador de menor altura (Barrientos-Priego, y López *et al.*1987). La reducción de la altura de 'Duke 7' como interinjerto sobre todo de 'Colín V-33' como injerto se puede deber a que hay cierto grado de obstrucción reflejado en síntomas de deficiencia nutricional, bajo crecimiento de sus brotes y a la formación de un tipo de agalla en el punto de unión del injerto, inclusive algunas plantas se secaron, lo que puede ser un síntoma de incompatibilidad (Ryugo, 1993).

'Colín V-33' como interinjerto e injerto final presentó las menores concentraciones foliares de potasio, lo que quizás pueda ser otra causa de la reducción del crecimiento vegetativo como lo mencionaron Rozpara *et al.* (1990) para el portainjerto de manzano M9 (*Pyrus Malus*). Por otro lado, el zinc fue el elemento que más se correlacionó con las variables de crecimiento estudiadas, lo cual puede tener relación con la disminución en la producción de auxinas responsables del crecimiento del árbol, ya que es importante en la producción de la ácido indolacético oxidasa (Hartmann *et al.*, 1990). 'Colín V-33' presentó más ramas con crecimiento horizontal que vertical que coincide con lo encontrado por Warner (1991). Esto quizás, se deba a que hay una menor

canalización de carbohidratos hacia la parte aérea, como lo mencionaron Brown *et al.* (1985). También puede ser debido a una mayor producción de inhibidores y en consecuencia una menor cantidad de promotores del crecimiento que se transportan a través del xilema y floema (Lockard y Schneider, 1981).

En general, los cultivares de crecimiento vigoroso como 'Hass' y 'Fuerte' que presentaron los mayores niveles de nitrógeno, fósforo, potasio y cobre tendieron a inducir un crecimiento vigoroso en la variedad injertada (Agustí, 2003).

Los niveles nutrimentales encontrados para nitrógeno son considerados en el intervalo de deficiente (≤ 1.60 %) para 'Hass', 'Fuerte' y 'Colín V-33', mientras que para 'Duke 7' se consideran en el intervalo de suficiente (1.70 %) (Goodall *et al.*, 1975; Tukey y Dow, 1979). Para fósforo todos los cultivares presentaron valores considerados como deficientes (0.05-0.07 %), mientras que para el potasio y magnesio los niveles encontrados de 2.1-2.9 % para el primero y de 0.9-1.0 % para el segundo elemento se consideran dentro del intervalo de alto en todos los cultivares. Los niveles de calcio (1.0-3.0 %) se encontraron en el intervalo de suficiente (Jones *et al.*, 1991). La concentración foliar de todos los micronutrientes evaluados con la presencia del interinjerto estuvieron en el nivel de suficiente: cobre (5-15 $\mu\text{g}\cdot\text{g}$), hierro (50-200 $\mu\text{g}\cdot\text{g}$), manganeso (30-500 $\mu\text{g}\cdot\text{g}$) y zinc (30-150 $\mu\text{g}\cdot\text{g}$) en todos los cultivares (Tukey y Dow, 1979).

De acuerdo con el valor estándar reportado por Salazar *et al.* (1999), para cada nutrimento en aguacate 'Hass', potasio, magnesio y zinc presentaron valores ligeramente superiores al estándar para este mismo cultivar. Sin embargo, los

contenidos de nitrógeno, fósforo, calcio, cobre, y hierro fueron inferiores a los reportados como estándar en este cultivar.

Los altos coeficientes de variación encontrados para el contenido de cobre, manganeso y zinc son muy similares a los de Salazar *et al.* (1999) para hojas completamente sanas de 5-7 meses de edad de la parte media de brotes terminales desarrollados, sin fructificar.

CONCLUSIONES

La utilización del SPAD representa una ventaja ya que permite evaluar de forma indirecta y no destructiva, además de rápida, el contenido de clorofilas en las hojas convirtiéndose en un instrumento de gran utilidad para diagnosticar el estado nutrimental de un cultivo.

La presencia del interinjerto incrementó la intensidad del color verde de la hoja en todos los injertos finales.

‘Fuerte’ como interinjerto incrementó el contenido foliar de fósforo, calcio, magnesio, cobre, manganeso y zinc, y en consecuencia promovió una mayor altura y número de ramas por planta.

La presencia del interinjerto influyó en la concentración foliar de los macro y micronutrimiento de todos los injertos, pero de manera más sobresaliente para 'Colín V-33' en donde disminuyó el contenido de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio e incrementó los niveles de cobre, manganeso y zinc.

LITERATURA CITADA

AGUSTÍ, M. 2003. Citricultura. 2nd. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 422 p.

ALCANTAR, G. G.; SANDOVAL, V. M. 1999. Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Publicación Especial 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México.

ATKINSON C., J.; ELSE, M. A.; TAYLOR L; DOVER, C. J. 2003. Root and hydraulic conductivity as determinants of growth potential in grafted trees of apple (*Malus pumila* Mill.). J. Exp. Bot. 54: 1221-1229.

AUCIQUE, P. C.; COLMENARES, L. S.; BAYONA, C.; ROMERO M. H. 2005. Programa de Biología, Centro de Investigación en palma de aceite. CENIPALMA. Universidad de Colombia.

BARRIENTOS-VILLASEÑOR, A.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. E.; PEÑA-LOMELI, A.; MUÑOZ-PÉREZ, R. 1999. Influencia del interinjerto cv. Colín V-33 sobre algunos aspectos fisiológicos en aguacatero (*Persea Americana* Mill). Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 103-116.

BROWN, C. R.; YOUNG, E.; PHARR, D. M. 1985. Rootstocks and scion effects on the seasonal distribution of dry weigh and carbohydrates in young apple trees. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 110(5): 696-701.

BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. 1987. Características del cultivar de porte bajo 'Rincoatl'. Memoria del Centro de Investigaciones Científicas y Tecnológicas del Aguacate en el Estado de México. Coatepec Harinas, Méx. pp. 29-35.

BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; LÓPEZ J. A.; SÁNCHEZ C. S. 1987. Effect of cv. Colín V-33 as interstock on avocado (*Persea americana* Mill) growth cv. Fuerte. South African Avocado Grower's Assoc. Yrbk. 10: 22-24.

CASTLE, W. S. 1995. Rootstock as a fruit quality factor in citrus and deciduous tree crops. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 23: 383-394.

- GARCÍA, E.; MOSQUEDA, R. 1993. Vegetative growth analysis of mango Manila trees grafted onto several interstock-rootstocks combinations. *Acta Horticulturae* 341: 281-288.
- GOODALL, G. E; EMBLETON, T. W.; PLATT, R. G. 1975. Avocado fertilization. Universidad de California. Coop. Ext. Bull. 2024.
- HARTMANN, H. T.; KESTER, D. E., DAVIES, F. T. 1990. Plant Propagation, Principles and Practices. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, USA. 880 p.
- JONES Jr, B.; WOLF, J. B.; MILLIS, A. H. 1991. Plant Analysis Handbook. A Practical Sampling Preparation, Analysis, and Interpretation Guide. Micro-Macro Publishing, Inc. Athens, Georgia. USA. 535 p.
- LABANAUSKAS, C.K.; EMBLETON, T.W.; JONES, W.W.; GARBER. M.J. 1961. Seasonal changes in concentrations of zinc, copper, boron, manganese, and iron in 'Fuerte' avocado leaves. *Proc. Amer. Soc. Hort. Sci.* 77:173-179.
- LOCKARD, R.; SCHNEIDER, W. 1981 Stock and scion growth relationships and the dwarfing mechanism in apple. *Hortic Rev* 3: 315-375.

- NOVOA, R.; VILLAGRÁN, N. 2002. Evaluación de un instrumento medidor de clorofila en la determinación de niveles de nitrógeno foliar en maíz. Agricultura Técnica 62 (1): 166-171.
- RICHARDS, D.; THOMPSON, W. K.; PHARIS, R. P. 1986. The influence of dwarfing interstock on the distribution on metabolism of xylem-applied [3H] gibberellin A₄ in apple. Plant Physiol. 82: 1090-1095.
- ROM, C. R.; ROM, R. C.; AUTIO, W.R.; ELFVING, D.C.; CLINE. R. A. 1991. Rootstock effects on foliar nutrient content of 'Starkspur Supreme' in the NC-140 rootstock trial. Compact Fruit Tree 24: 11-14.
- ROZPARA, E.; GRZYB, Z. S.; OLSZEWSK, T. 1990. The mineral content in leaves of two sweet cherry cultivars with interstem. Acta Hort. 274: 05-412.
- RYUGO, K. 1993. Fruticultura-Ciencia y arte. AGT S.A. México.460 p.
- SALAZAR, G. S.; LAZCANO, F. I.1999. Diagnóstico nutrimental del aguacate 'Hass' bajo condiciones de temporal. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 173-184.

- SHARMA, D. D.; SAUNA, J. S. 1991. Effects of different rootstocks and training systems on the mineral composition of 'Delicious' apple leaves. J. Hort. Sci. 66: 703-707.
- SOUMELIDOU, K.; MORRIS, D. A.; BATTEY, N. H.; BARNETT, J. R.; JOHN, P. 1994. Auxin transport capacity in relation to the dwarfing effect of apple rootstocks. J. Hort. Sci. 69(4):719-725.
- TUKEY, R. B.; DOW, A. I. 1979. Fertilizer guide: Nutrient content fruit trees in Washington State University, Bulletin FG-28f. Pullman, W.A. USA.
- VÁZQUEZ V., V.; SALAZAR S.; PÉREZ, M. 2000. 'Esmeralda' interstocks reduce 'Ataulfo' mango tree size with no reduction in yield: Results of the first five years. Acta Horticulturae 509: 291-296.
- WARNER, J. 1991. Rootstock affects primary scaffold branch crotch angles of apple trees. HortScience 26: 1266-1267.
- WEBSTER, A. D. 1995. Rootstock and interstock effects on deciduous fruit tree vigour, precocity, and yield productivity. New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science 23: 373-382.
- WEST, S.; E. YOUNG. 1988. Effects of rootstock and interstocks on seasonal changes in foliar nutrient (N, P, K, Ca) composition of *Delicious* and *Golden* apple. Fruit Var. J. 42: 9-12.

CAPÍTULO III

INFLUENCIA DEL INTERINJERTO EN LA CONDUCTIVIDAD HIDRAÚLICA Y ANATOMÍA DEL XILEMA DEL TALLO EN CUATRO GENOTIPOS DE AGUACATE

RESUMEN

Se evaluó la influencia del interinjerto en las características fisiológicas de la hoja y anatómicas del tallo en 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7' utilizados como interinjertos e injertos finales. En la hoja del injerto final se determinó: área foliar de hoja individual y de las hojas del brote apical, potencial hídrico de hoja, conductancia estomática y resistencia estomática de la lámina foliar. En el tallo se midió diámetro, potencial hídrico y grosor de corteza. En tanto, que en cortes transversales del tallo se cuantificó: número de vasos, área de vaso, área transversal del tronco, diámetro del xilema, área transversal del xilema, área transversal de corteza, conductividad hidráulica y resistencia hídrica. 'Duke 7' como interinjerto incrementó significativamente el área foliar del brote apical, potencial hídrico de la hoja, número de vasos y conductividad hidráulica del tallo. La presencia del interinjerto incrementó el área foliar del brote apical en 73.50, 10.42 y 10.15 %, en 'Hass', 'Fuerte' y 'Duke 7', respectivamente, como injertos finales, en tanto que en 'Colín V-33' disminuyó en 20.48 %. El potencial hídrico de la hoja en 'Hass' 'Fuerte' y 'Colín V-33' disminuyó en 13.69, 13.48 y 11.34 % con la presencia del interinjerto, mientras que en 'Duke 7' se incrementó en 9.16 %. 'Colín V-33' como interinjerto e injerto final presentó el mayor número de vasos y el mayor grosor de corteza estableciendo diferencias con 'Fuerte' y 'Duke 7'. El número de vasos se incrementó con la presencia del interinjerto en 'Hass', 'Fuerte' y 'Colín V-33' en 30.48, 54.43 y 0.76 %, respectivamente. La conductividad hidráulica disminuyó con la presencia del interinjerto en 'Hass' y 'Fuerte' en 35.35 y 9.79 %, respectivamente.

PALABRAS CLAVE: potencial hídrico, área transversal del xilema, vasos del xilema, conductancia estomática, *Persea americana* Mill.

INTERSTOCK INFLUENCE ON HIDRAULIC CONDUCTANCE AND XYLEM ANATOMY OF STEM IN FOUR GENOTYPES OF AVOCADO

ABSTRACT

The influence of the interstock in anatomical and physiological characteristics of the leaf and stem was evaluated in 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' and 'Duke 7' used as interstock and final grafts. In the leaf of the final graft it was determined: foliar area of individual leaf and of the leaves of the apical shoot, leaf water potential, stomatal conductance, and stomatic resistance of leaf lamina. In the stem was evaluated: diameter, water potential and thickness of bark. In the cross sections of the stem it was determined: number of vessels area of vessel, cross-sectional area of the stem, diameter of xylem, cross-sectional area of xylem, transversal area of bark, hydraulic conductance and water potential. 'Duke 7' as interstock significantly increased the foliar area of the apical shoot, leaf water potential, number of vessels and hydraulic conductivity. The presence of the interstock increased the foliar area of the apical shoot in 73.50, 10.42, and 10.15 %, respectively. in 'Hass', 'Fuerte', and 'Duke 7', like final graft, Whereas in 'Colín V-33' was reduced by 20.48 %. The leaf water potential in 'Hass', 'Fuerte', and 'Colín V-33' was reduced in 13.69, 13.48, and 11.34 % with the presence of the interstock, whereas 'Duke 7' was increased in 9.16 %. 'Colin V-33' as interstock and final graft showed the greater number of vessels and the higher thickness of bark, having differences with 'Fuerte', and 'Duke 7'. The number of vessels was increased with the presence of the interstock in 'Hass', 'Fuerte', and 'Colín V-33' in 30.48, 54.43, and 0.76 %, respectively. The hydraulic conductance was reduced with the presence of the interstock in 'Hass' and 'Fuerte' in 35.35 and 9.79%, respectively.

KEY WORDS: water potential, cross-sectional area of xylem, xylem vessels, stomatal conductance, *Persea Americana* Mill.

INTRODUCCIÓN

El agua es importante para las plantas por el papel crucial que cumple en los procesos fisiológicos y por la gran cantidad que requieren (Steudle, 2000; Andreev, 2001). El agua comprende de 80 a 90 % de la biomasa de los tejidos vegetales y es constituyente esencial del protoplasma y pared celular. Por su polaridad, el agua actúa como solvente universal, disolviendo y transportando gran cantidad de iones y metabolitos orgánicos (como azúcares, aminoácidos y proteínas) y hormonas, compuestos críticos para el metabolismo (Zyalalov, 2004).

El agua participa de forma relevante en la fotosíntesis y la respiración, regula la temperatura de los tejidos a través de la transpiración (Díaz, 2002). También actúa como medio transportador en los espacios intercelulares y en los tejidos de conducción del xilema y el floema (Larcher, 2003). La corriente transpiratoria favorece el transporte de nutrimentos inorgánicos procedentes del suelo y el transporte de solutos orgánicos, aminoácidos y fitohormonas desde la raíz a los órganos con transpiración, aunque se destaca que el transporte por el xilema también ocurre en ausencia de transpiración (Larcher, 2003; Zyalalov, 2004).

El transporte de agua por el xilema es afectado por varios factores. En el caso de aguacate no existe información respecto del comportamiento del sistema de conducción cuando se unen injerto-interinjerto que presentan diferente diámetro y número de elementos de vaso y su efecto sobre la conductividad hidráulica y

otros aspectos de la misma anatomía y fisiología de la planta, es por eso que en esta investigación se planteó como objetivo: evaluar el comportamiento fisiológico, anatómico y la conductividad hidráulica en combinaciones injerto-interinjerto en 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33', 'Duke 7', los cuales difieren en su anatomía del xilema.

REVISIÓN DE LITERATURA

Sistema vascular

En las plantas angiospermas el transporte de agua, y nutrientes absorbidos por la raíz y transportados hacia la parte aérea requiere de los haces vasculares: conductos que comunican a diferentes partes de la planta entre sí. El tejido vascular está constituido por xilema y floema (Nijse, 2004). El floema es un tejido complejo, que moviliza los carbohidratos producidos en la fotosíntesis, moléculas mensajeras (ARN), así como otras sustancias, hacia las zonas de crecimiento y diferenciación. El floema se caracteriza por un alto contenido de materia seca, en la cual el mayor soluto es la sacarosa, que se encuentra en concentraciones de 10 a 30 %. Además de azúcares, se ha detectado en el floema una amplia variedad de sustancias, que incluyen aminoácidos libres, enzimas, ATP, iones inorgánicos, compuestos inorgánicos, vitaminas, reguladores del crecimiento (Flores-Vindas, 1999).

El floema en forma análoga al xilema, consta de varios tipos celulares y puede ser de origen primario o secundario. El floema primario se origina en el

procambium y el secundario en el cambium, durante el crecimiento secundario de la planta. El floema primario está compuesto por protofloema y metafloema (Flores-Vindas, 1999).

El transporte de agua en las plantas, a través de los vasos xilemáticos, ocurre a favor del gradiente de potencial hídrico existente entre el suelo y la atmósfera. De acuerdo a la teoría de la tensión-cohesión, la evaporación en las hojas genera tensiones en las zonas más cercanas a los lugares de evaporación (Tyree, 1997). La elevada cohesión entre las moléculas de agua permite que estas tensiones sean transmitidas a través de toda la planta y, por lo tanto, hace posible el transporte (Steudle, 1995).

El estado del agua en el suelo, planta y atmósfera se describe en términos de potencial hídrico (Ψ_w) y consta de varios componentes importantes para las células y sus alrededores: el potencial osmótico (Ψ_π) que depende de la concentración de solutos (sales, azúcares etc.) en la células; el potencial mátrico (Ψ_m) que es parte de las fuerzas capilares de las células y tejidos; el potencial de presión (Ψ_p) registra las presiones en exceso que actúan sobre un sistema y el potencial gravitacional (Ψ_g) que se relaciona con la altura de la planta y la influencia de la gravedad (Díaz, 2002 y Larcher, 2003).

El potencial hídrico, se encuentra íntimamente ligado a diferentes funciones dentro de la planta (intercambio gaseoso, fotosíntesis, división y elongación celular, variaciones en los niveles hormonales y proteicos), conocer el comportamiento del potencial hídrico en aguacatero y su relación con la

humedad del suelo resulta importante a la hora de estimar respuestas, tanto fisiológicas como metabólicas (Taiz y Zeiger, 2002).

El agua se mueve desde el compartimiento de un alto potencial hídrico hacia el de bajo potencial hídrico. Las diferencias en potencial hídrico ofrecen la posibilidad de ocurrencia de un proceso que permite mantener la homeostasis celular, ya sea por transporte de agua y otras sustancias entre células, tejidos y órganos (iones, carbohidratos, aminoácidos, etc.) a favor de gradientes de potencial hídrico (Steudle, 2000; Canny, 2001). Altos potenciales hídricos permiten una mayor apertura estomática en el día, lo que trae como consecuencia una mayor captación de CO₂ para ser fijado en la fotosíntesis (Hsiao, 1990).

Mecanismos de osmorregulación y transporte de agua

El movimiento de agua en tejidos vegetales es de importancia crucial para el crecimiento de la planta y ocurre básicamente a través de tres rutas: el apoplasto, el simplasto y la ruta transcelular (Steudle, 2000; Zyalalov, 2004). El ajuste osmótico proporciona un medio de mantenimiento del contenido de agua en la célula, importante para la actividad celular (Javot *et al.*, 2003; Bartels y Ramanjalu, 2005). Debido a que la pérdida de agua puede incrementar la concentración de solutos en la célula, las moléculas que regulan el metabolismo pueden ser afectadas. Así, algunos iones inorgánicos, tales como potasio, calcio, magnesio y cloro, no pueden ser metabolizados o incorporados dentro

de la estructura celular y se acumulan en situaciones de deshidratación (Steudle, 2000; Andreev, 2001; Canny, 2001; Zyalalov, 2004).

Bass (1982) mencionó que las características de los vasos responsables de la conducción de agua son genéticamente fijas en las especies; sin embargo, las razas de aguacatero son más variables que los cultivares y probablemente esas diferencias estén relacionadas al tiempo de usarse como cultivo. ‘Fuerte’ es un híbrido entre las razas Mexicana y Guatemalteca, y ‘Hass’ tiene únicamente de 10 a 15 % de genes de la raza Mexicana y el resto de la raza Guatemalteca (Bergh y Ellstrand, 1986). Ambos cultivares tienen los mismos progenitores raciales y esto explica, en parte, la alta similitud en las características de los vasos. Estos cultivares presentan la frecuencia de vasos más baja y los diámetros más anchos que sus progenitores, contrariamente a otros híbridos (Peszlen, 1994).

Influencia del portainjerto/interinjerto en la conductividad hidráulica en frutales

Los mecanismos por los cuales los portainjertos son usados comercialmente son muy complejos y poco entendidos, pero una hipótesis común es que los portainjertos pueden influir en vigor (Syvertesen y Graham. 1985; Atkinson *et al.*, 2001) y en la productividad de la parte aérea afectando al balance hídrico del árbol (Olien y Lakso, 1986; Klamkowski y Treder, 2002).

Olien y Lakso (1986) mencionaron que la conductividad hidráulica en portainjertos enanizantes de manzano es más baja que en portainjertos vigorosos, lo que podría estar relacionado con la baja conductividad hidráulica en el sistema radical de estos patrones, y/o en la reducción de la conductividad hidráulica causada por la unión del injerto. La baja conductividad de la raíz reduce el transporte del agua a los tallos, afectando la conductancia estomatal, fotosíntesis y crecimiento de tallo para impulsar el desarrollo de biomasa de la raíz (Hubbard *et al.*, 2001).

Solari *et al.* (2006) sugieren que el efecto de los portainjertos sobre el crecimiento vegetativo de los árboles de durazno se asocia con un equilibrio en las relaciones hídricas, en particular a las diferencias en la conductancia hidráulica en el sistema vascular de los portainjertos. La conductividad hidráulica de la parte aérea vinculada al área foliar y al portainjerto sobre el cual fue injertado fue mayor para la parte aérea de los tallos sobre portainjertos semivigorosos y vigorosos (Atkinson *et al.*, 2003).

Diferencias en el potencial hídrico de las hojas también se han encontrado en función del portainjerto. A este respecto, los patrones que confieren a la variedad injertada un potencial hídrico menos negativo, los hacen más resistentes al estrés hídrico. Estas diferencias en el potencial hídrico foliar no sólo se deben a diferencias en la capacidad de las raíces para incorporar agua, sino a su conductividad hidráulica, responsable de la absorción de agua por unidad de masa radical (Agustí, 2003).

Mediante la injertación se ha encontrado una disminución de la conductividad hidráulica absoluta y específica de diversos árboles frutales, como ocurre al utilizar portainjertos de bajo vigor en nectarina (*Prunus persica*) y en durazno (Motisi *et al.*, 2004; Basile *et al.*, 2003). En el caso de la vid, se ha encontrado que la injertación puede afectar en uno u otro sentido la conductividad hidráulica del injerto. Sin embargo, mencionan que la conductividad hidráulica específica es mayor en las plantas directas que en las injertadas sobre sí mismas (Bavaresco y Lovisolo, 2000; Smith, 2001).

Atkinson *et al.* (2001) reportaron que los tejidos de la zona del injerto presentan mucha desorganización, especialmente el xilema; debido al desarrollo de cambios morfológicos y anatómicos se crea una discontinuidad de los tejidos vasculares, lo que ocasiona una alta resistencia hidráulica que afecta el movimiento de agua, iones y sustancias hormonales desde la raíz a la parte aérea en las plantas injertadas de manzano.

Hussein y McFarland (1994) encontraron en árboles de manzano que la causa de las diferencias en las tasas de flujo de savia entre los distintos portainjertos podría estar relacionada con diferencias en las características de la raíz, anatomía del xilema, u otras características relacionadas con la arquitectura hidráulica de las raíces al punto de unión del injerto. Variación en las relaciones hídricas en cítricos que se han atribuido a los portainjertos son probablemente debidos a diferencias en la raíz, cantidad, distribución y/o a la aparente eficiencia en la absorción de agua y al transporte (Syvertsen, 1981).

Else *et al.* (2001) encontraron que las anomalías anatómicas que se producen en el sitio de unión portainjerto-variedad no influyen en el flujo de la savia a las tasas normales de transpiración. Asimismo, Clearwater *et al.* (2004) no detectaron que la zona del injerto ocasionara alguna reducción significativa de la conductividad hidráulica en plantas de kiwi (*Actinidia deliciosa*). Sin embargo, demostraron que la conductancia hidráulica y el flujo de savia fueron más lentos en portainjertos de bajo vigor que en portainjertos más vigorosos.

Olmstead *et al.* (2006) presentaron evidencias de que una combinación de pocos y más pequeños vasos en la variedad y la unión del injerto, así como orientación irregular de los vasos en el tejido vascular podrían contribuir a la resistencia hidráulica en la unión del injerto.

Reyes *et al.* (2002) analizaron el sistema de conducción de agua en tres cultivares de las tres razas de aguacate, y encontraron diferencias grandes en el número y diámetro de vasos del xilema, vulnerabilidad y conductancia relativa. Los provenientes de semilla difirieron fuertemente de los cultivares, por lo que la combinación injerto/portainjerto con diferentes combinaciones y densidad del sistema conductor de agua probablemente afecta la fisiología de la parte aérea del árbol de aguacate. Sin embargo, no encontraron diferencias entre portainjertos en relación a la conductividad hidráulica relativa, lo que sugiere un ajuste entre el diámetro de los vasos y su frecuencia.

Fassio *et al.* (2009) mencionaron que 'Duke 7' tuvo mayor consumo de agua que 'Toro Canyon' cuando ambos fueron injertados sobre el mismo portainjerto. Esto quizás sea debido a una mayor área y sección transversal de los vasos en 'Duke 7' lo que puede resultar en un transporte de agua más rápido y de mayor volumen a través del sistema de la raíz de 'Duke 7'. Sin embargo, en ambos casos, el injerto tuvo el mismo efecto en términos de restricción del flujo de agua. Esta respuesta podría deberse al hecho de que no se encontraron diferencias entre 'Duke 7' y 'Toro Canyon' en las características del vaso del xilema en el tallo (área del vaso del xilema, número de vasos por mm² y el total de superficie de los conductos), pero sí se encontraron diferencias entre los portainjertos y 'Hass'. Las raíces de 'Toro Canyon' tendieron a tener una mayor proporción de corteza de la estela en comparación con 'Duke 7'.

En cítricos los portainjertos que promueven vigor en la variedad o parte aérea, tienen alta conductividad en la raíz, tasas más altas de intercambio de gases en la hoja, incrementó en la concentración de N y P en la hoja y superiores tasas de brotes y raíces cuando crecen como plantas no injertadas (Syvertsen y Graham, 1985). De acuerdo con Massai y Gucci (1997), las restricciones hidráulicas en el xilema causadas por la unión del injerto podrían inducir un déficit hídrico más rápido en la variedad.

Beakbane y Thompson (1939), indicaron que los portainjertos enanizantes de manzano tienden a tener raíces con menos vasos y más pequeños en el xilema que los portainjertos vigorosos. Wang *et al.* (1994) encontraron que los

portainjertos que promueven floración, tienden a tener una mayor área total de la sección transversal de xilema de los vasos en la estela que los portainjertos que no promueven floración, lo que implica mayor conductividad axial de la raíz.

MATERIALES Y MÉTODOS

El experimento se llevó a cabo en un invernadero ubicado en el campo agrícola experimental San Martín, del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, en Chapingo, Estado de México, ubicado a 19° 29' N y a 98° 53' W, a una altitud de 2,240 m.

Material vegetal

Las varetas que se utilizaron para generar los interinjertos y los injertos finales se obtuvieron de árboles en producción establecidos en la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S. C., en Coatepec Harinas, Estado de México, en México. Se utilizaron 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7' como interinjertos e injertos finales. Como portainjertos se usaron plantas de la raza Guatemalteca, los cuales fueron obtenidas a partir de semilla. Para la determinación de la conductividad y resistencia hidráulica se cortó el tallo del injerto final aproximadamente 25 cm a partir del punto de unión con el interinjerto. Se utilizó un medidor de flujo de alta presión (HCFM Dinamax, Inc). También en estos segmentos de tallos se midió el diámetro del tallo y el grosor de corteza. Posteriormente se conservaron en GAA (glicerina 50 %), alcohol (25 %) y agua destilada (25 %).

Mediante un micrómetro de la marca Jung se realizaron cortes anatómicos transversales a 25 μm , posteriormente se realizó la tinción mediante las técnicas de: safranina y verde fijo, así como la de pardo bismarck. Las preparaciones se observaron en un microscopio (Motic B3 Professional Series) con una adaptación de una cámara de video de alta resolución (Moticam 480) con un adaptador de 12 mm. Se utilizó el programa Image Plus 2000 para su digitalización. Los caracteres evaluados para xilema fueron a partir de diez campos (40x de objetivo y 10x de ocular). Las variables evaluadas fueron: número de vasos, área de vaso, área transversal del tallo, diámetro de xilema, área transversal del xilema y área transversal de la corteza.

Potencial hídrico

Para determinar el potencial hídrico en la hoja y en los segmento de tallo, se utilizó una cámara de presión de tipo Scholander. En el caso de la hoja se utilizó la cuarta completamente expandida a partir del ápice. La técnica consistió en cortar la hoja y colocarla dentro de la cámara de presión con una porción del pecíolo fuera de ésta, con la finalidad de observar el menisco de la columna de agua. Una vez dentro de la cámara, ésta se presurizó lentamente con gas nitrógeno, hasta que con la ayuda de una lupa (10x) se observó la primera gota de savia en la superficie cortada del pecíolo y se registró el valor de la presión utilizada en megapascals (MPa). En el caso del potencial hídrico del tallo se utilizaron segmentos de 15 cm de longitud cortados a partir del ápice y se siguió el mismo procedimiento que para el pecíolo de la hoja. Tanto en la hoja del pecíolo como en las del brote se determinó el área foliar.

Diseño experimental y diseño de tratamientos

El diseño experimental utilizado fue un completamente al azar con un arreglo de tratamientos factorial 4x4, en donde los factores fueron el interinjerto y el injerto final. Adicionalmente se incluyeron los cuatro cultivares sin interinjerto. La unidad experimental consistió en una planta y se tuvieron cuatro repeticiones de cada tratamiento.

Análisis estadístico

Se llevaron a cabo las pruebas de comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$) por factor (interinjerto e injerto final). También se realizaron contrastes ortogonales para comparar el factor injerto final (con interinjerto con el testigo sin interinjerto). Además, se realizó un análisis de correlación de Pearson.

RESULTADOS

Factor interinjerto

La comparación de medias mostró que 'Colín V-33' presentó el mayor tamaño de hoja siendo diferente ($P \leq 0.05$) a 'Duke 7' (Cuadro 3.1). Sin embargo, 'Duke 7' tuvo mayor área foliar del brote apical siendo diferente ($P \leq 0.05$) a 'Fuerte'. Para el potencial hídrico de la hoja 'Duke 7' presentó el mayor valor siendo diferente ($P \leq 0.05$) a 'Colín V-33', sin embargo, para el potencial hídrico del brote no existieron diferencias. Para resistencia estomática 'Fuerte' tuvo el mayor valor siendo diferente ($P \leq 0.05$) a 'Duke 7', contrariamente para conductancia estomática no existieron diferencias. El análisis de correlación de

Pearson mostró que el área foliar de la hoja se correlacionó y significativamente con el área foliar del brote ($r=0.35^*$), con el potencial hídrico de la hoja ($r=0.30^*$), y de manera negativa con el área transversal del tallo ($r=-0.34^*$), y con el área transversal del xilema ($r=-0.35^*$) (Cuadro 3 A). En tanto, que la conductancia estomática tuvo una correlación negativa y altamente significativa con la resistencia estomática ($r=-0.73^{**}$), y significativa con el grosor de corteza ($r=0.24^*$), con el área transversal del tallo ($r=0.28^*$), con el diámetro del xilema ($r=0.26^*$) y con el área transversal de la corteza ($r=0.33^*$), con la conductancia hidráulica ($r=0.26^*$).

CUADRO 3.1. Efecto del interinjerto en algunas variables fisiológicas, morfológicas de la hoja y del tallo en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

Interinjerto	Área foliar de la hoja (cm ²)	Área foliar de las hojas del brote apical (cm ²)	Diámetro del tallo (mm)	Potencial hídrico de hoja (MPa)	Potencial hídrico del tallo (MPa)	Conductancia estomática mmol·m ⁻² ·s ⁻¹	Resistencia estomática s·m ⁻²
'Hass'	55.51 ab ^z	256.25 ab	4.75 a	-20.56 a b	-16.83 a	27.31 a	47.81 ab
'Fuerte'	63.70 ab	203.80 b	4.99 a	-19.27 a b	-16.46 a	22.17 a	68.12 a
'Colín V-33'	76.27 a	295.63 ab	5.07 a	-18.80 b	-14.99 a	25.45 a	49.92 ab
'Duke 7'	53.44 b	316.26 a	4.67 a	-21.60 a	-17.52 a	22.22 a	46.52 b
DMSH	21.54	92.00	0.55	2.60	2.75	9.10	20.52
C.V (%)	34.45	36.48	11.92	13.79	17.99	38.64	40.87

^zValores con la misma letra en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).
DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

La mayor cantidad de vasos y menor área de vaso le correspondió a 'Duke 7' presentando diferencias ($P \leq 0.05$) con 'Fuerte' para ambas variables (Cuadro 3.2). 'Colín V-33' como interinjerto influyó significativamente en el grosor de la corteza siendo diferente a 'Fuerte' y 'Duke 7'.

'Duke 7' como interinjerto presentó los menores valores para todas las variables anatómicas evaluadas, aunque algunas no fueron significativas (área transversal del tallo, diámetro del xilema, área transversal del xilema y área transversal de corteza). Para conductividad hidráulica 'Duke 7' como interinjerto presentó los mayores valores estableciendo diferencias ($P \leq 0.05$) con 'Hass' y 'Fuerte' (Cuadro 3.2).

El número de vasos se correlacionó de manera significativa pero negativa con el área de vaso ($r = -0.75^*$), con el área transversal del tallo ($r = -0.26^*$), con el diámetro del xilema ($r = -0.26^*$) (Cuadro 3A). El grosor de corteza se correlacionó de manera positiva y altamente significativa con el área transversal de la corteza ($r = 0.67^{**}$). De manera significativa con el área transversal del tallo ($r = 0.30^*$) y con el diámetro del xilema ($r = 0.29^*$). El área transversal del tallo tuvo una correlación altamente significativa y positiva con el área transversal del xilema ($r = 0.96^{**}$), con el diámetro del xilema ($r = 0.97^{**}$) y con el área transversal de la corteza ($r = 0.87^{**}$). El diámetro del xilema se correlacionó de manera positiva y altamente significativa con el área transversal de xilema ($r = 0.92^{**}$) y con el área transversal de la corteza ($r = 0.86^{**}$).

CUADRO 3.2. Efecto del interinjerto en algunas variables anatómicas y fisiológicas del tallo en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

Interinjerto	Número de vasos (mm ²)	Área de vaso (µm ²)	Grosor de Corteza (mm)	Área transversal del tallo (mm ²)	Diámetro del xilema (mm)	Área transversal del xilema (mm ²)	Área transversal de corteza (mm ²)	Conductividad hidráulica (kg/s)	Resistencia Hídrica (MPa s/kg)
'Hass'	18.97 ab ^z	7352 ab	1.26 ab	1714.00 a	26.29 a	1454.60 a	259.42 a	3.24E-07 b	3.55E+04 a
'Fuerte'	17.46 b	8569 a	1.15 b	2034.60 a	27.85 a	1819.80 a	214.81 a	3.21E-07 b	2.93E+04 a
'Colín V-33'	20.87 ab	6732 ab	1.48 a	2426.90 a	31.80 a	1775.00 a	314.19 a	3.78E-07 ab	2.66E+04 a
'Duke 7'	24.16 a	5379 b	1.16 b	1176.90 a	20.58 a	1002.60 a	174.28 a	4.66E-07 a	2.75E+04 a
DMSH	6.23	2673.80	0.30	2056.70	17.10	1878.40	177.25	125E-09	1.73E+04
CV (%)	32.60	40.47	25.63	118.92	68.25	131.98	78.22	30.23	52.63

^zValores con la misma letra en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Factor injerto final

Se encontró en el factor injerto final que 'Fuerte' presentó la mayor área foliar del brote siendo diferente a 'Colín V-33' (Cuadro 3.3). En tanto, que el mayor diámetro del brote apical le correspondió a 'Hass' y fue diferente ($P \leq 0.05$) a 'Duke 7'. Al realizar los contrastes ortogonales para la comparación intra genotipos se encontró que 'Hass' con interinjerto incrementó en 73.5 %, el área foliar del brote apical. El potencial hídrico en hoja 'Hass' 'Fuerte' y 'Colín V-33' disminuyó en 13.7, 13.5 y 11.3 %, respectivamente, con la presencia del interinjerto, mientras que 'Duke 7' sin interinjerto incrementó el potencial hídrico de la hoja en 9.2 %, sin presentar diferencias significativas.

'Hass' como injerto final presentó el mayor potencial hídrico del brote apical y fue diferente ($P \leq 0.05$) a 'Colín V-33' (Cuadro 3.4). La presencia del interinjerto en 'Duke 7' provocó una disminución en el área foliar de la hoja, área foliar del brote apical, potencial hídrico de la hoja, potencial hídrico del brote apical y resistencia estomática. Mediante contrastes ortogonales se encontró que 'Fuerte' con interinjerto incrementó en 46.7 % la conductancia estomática y en 21.9 % el potencial hídrico del brote apical, y sin interinjerto incrementó la resistencia estomática en 41.7 % (Cuadro 3.4).

CUADRO 3.3 Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables morfológicas y fisiológicas de la hoja en aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Factor	Área foliar de la hoja del pecíolo (cm ²)		Área foliar del brote apical (cm ²)		Diámetro del brote apical (mm)		Potencial hídrico del pecíolo (MPa)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	54.41 a ^z A ^y	44.29 a A	283.28 ab A	163.37 a B	5.20 a A	4.61 a A	-20.93 a A	-24.25 a A
‘Fuerte’	56.79 a A	67.87 a A	322.44 a A	292.01 a A	4.81 ab A	4.47 a A	-20.33 a A	-23.50 ab A
‘Colín V-33’	73.67 a A	62.54 a A	221.70 b A	278.81 a A	4.87 ab A	4.65 a A	-18.84 a A	-21.25 ab A
‘Duke 7’	64.05 a A	54.06 a A	244.52 ab A	221.99 a A	4.61 b A	5.14 a A	-20.25 a A	-18.55 b A
DMSH	22.16	36.97	97.81	170.27	0.55	2.05	3.27	5.65
CV (%)	38.11	30.79	39.07	33.93	12.17	20.66	17.40	12.30

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

^yContrastes con la misma letra mayúscula entre hileras para cada variable no presentan diferencias ($P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

CUADRO 3.4. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables fisiológicas de la hoja de aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Factor	Potencial hídrico brote apical (MPas)		Conductancia estomática $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$		Resistencia estomática $\text{s} \cdot \text{m}^{-2}$	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
‘Hass’	-17.72 a ^z A ^y	-15.25 a A	20.17 a A	24.20 a A	55.01 a A	44.33 a A
‘Fuerte’	-16.94 ab A	-13.90 a A	29.74 a A	20.27 a A	56.96 a B	70.73 a A
‘Colín V-33’	-14.17 b A	-15.47 a A	25.31 a A	25.15 a A	50.86 a A	47.55 a A
‘Duke 7’	-16.48 ab A	-14.05 a A	25.62 a A	26.95 a A	49.54 a A	47.30 a A
DMSH	2.87	8.84	9.58	21.69	25.00	45.65
CV (%)	18.81	28.71	40.77	42.80	50.41	41.44

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre sí (Tukey, $P \leq 0.05$).

^yContrastes con la misma letra mayúscula entre hileras para cada variable no presentan diferencias ($P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

Como injerto final 'Colín V-33' presentó el mayor número de vasos y fue diferente ($P \leq 0.05$) a 'Hass' (Cuadro 3.5). También 'Colín V-33' presentó el mayor grosor de corteza estableciendo diferencias con 'Fuerte' y 'Duke 7'. En cuanto al área de vaso, 'Colín V-33' tuvo los menores valores y fue diferente a 'Hass'. 'Colín V-33' sin interinjerto presentó el mayor grosor de corteza siendo diferente ($P \leq 0.05$) a los demás cultivares. 'Fuerte' sin interinjerto presentó los mayores valores para el área de vaso y área transversal del tronco siendo diferente ($P \leq 0.05$) a 'Duke 7' para la primera variable.

Al realizar la comparación intra cultivares mediante contrastes ortogonales se encontró que la presencia del interinjerto incrementó significativamente en 91.9 % el área de vaso en 'Duke 7'. El grosor de la corteza disminuyó en 21.1 y 8.9 % en 'Colín V-33' y 'Fuerte', respectivamente, con la presencia del interinjerto. El área transversal del tallo también se vio afectada por la presencia del interinjerto en 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7' ya que disminuyó en 5.3, 21.0 y 26.7 %. El número de vasos se incrementó con la presencia del interinjerto en 'Hass', 'Fuerte' y 'Colín V-33' en 30.5, 54.4 y 0.8 %, respectivamente.

'Hass' presentó diferencias ($P \leq 0.05$) en el área transversal de corteza con 'Duke 7' (Cuadro 3.6). Al realizar la comparación intra cultivares mediante contrastes ortogonales se encontró que la conductividad hidráulica fue la variable más afectada por la presencia del interinjerto en 'Hass' y 'Fuerte' donde disminuyó 35.3 y 9.8 %, respectivamente.

CUADRO 3.5. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables anatómicas del xilema y morfológicas del tallo en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

Factor	Número de vasos (mm ²)		Área de vaso (µm ²)		Grosor de corteza (mm)		Área transversal del tallo (mm ²)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
'Hass'	14.51 b A	11.12 a A	8669 a A	6189 ab B	1.40 a A	1.26 b A	2754.10 a A	1597 a A
'Fuerte'	19.69 a A	12.75 a A	6227 ab A	8223 a A	1.12 b A	1.22 b A	1860.80 a A	1965 a A
'Colín V-33'	22.61 a A	22.44 a A	6009 b A	4614 ab A	1.47 a A	1.78 a B	1352.50 a A	1713 a A
'Duke 7'	20.88 a A	21.29 a A	6313 ab A	3289 b A	1.02 b A	1.10 b A	1335.30 a A	1822 a A
DMSH	5.36	13.39	2496	30.54	0.28	0.51	43.43	3027
CV (%)	29.28	34.19	38.99	40.00	25.53	18.39	107.62	75.44

²Valores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

³Contrastes con la misma letra mayúscula entre hileras para cada variable no presentan diferencias ($P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

CUADRO 3.6. Comparación de medias y contrastes ortogonales para el injerto final en algunas variables anatómicas del xilema y fisiológicas del tallo en aguacate ‘Hass’, ‘Fuerte’, ‘Colín V-33’ y ‘Duke 7’.

Factor	Diámetro del xilema (mm)		Área transversal del xilema (mm ²)		Área transversal de corteza (mm ²)		Conductividad hidráulica (kg/s)		Resistencia hídrica (MPa s/kg)	
	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto	Con interinjerto	Sin interinjerto
Injerto final										
‘Hass’	33.47 a ^z A ^y	22.64 a A	2412.5 a A	1351.4 a A	341.4 a A	245.3 a A	5.0E-07 a A	5.5E-07 a A	3.0E+04 a A	3.1E+04 a A
‘Fuerte’	27.62 a A	31.34 a A	1646.0 a A	1732.3 a A	214.1 ab A	232.1 a A	3.6E-07 a A	4.0E-07 ab B	3.0E+04 a A	3.6E+04 a A
‘Colín V-33’	21.80 a A	22.44 a A	1012.1 a A	1404.1 a A	236.9 ab A	309.3 a A	3.6E-07 a A	3.9E-07 ab A	2.8E+04 a A	2.5E+04 a A
‘Duke 7’	22.79 a A	28.62 a A	1005.5 a A	1607.3 a A	171.3 b A	214.6 a A	3.6E-07 a A	3.7E-07 b B	3.0E+04 a A	3.0E+04 a A
DMSH	13.87	27.36	1458.9	2824.6	134.3	219.1	1.1E-07	163E-09	1.7E+04	4.8E+04
CV (%)	63.21	48.39	115.6	88.3	70.1	41.7	30.2	14.6	52.63	60.2

^zValores con la misma letra minúscula en cada columna no son diferentes entre si (Tukey, $P \leq 0.05$).

^yContrastes con la misma letra mayúscula entre hileras para cada variable no presentan diferencias ($P \leq 0.05$).

DMSH: diferencia mínima significativa honesta; CV: coeficiente de variación.

DISCUSIÓN

Para el número de vasos y área de vasos 'Hass' y 'Fuerte' como interinjertos presentaron valores similares. Esto quizás, se deba a que ambas características responsables de la conducción de agua son genéticamente fijas como lo menciona Bass (1982). También, se puede deber a su origen ya que 'Fuerte' es un híbrido entre las razas Mexicana y Guatemalteca y 'Hass' tiene únicamente de 10 a 15 % de genes de la raza Mexicana y el resto de la raza Guatemalteca (Bergh y Ellstrand, 1986) y esto podría explicar, en parte, la alta similitud en las características de los vasos de ambos cultivares. Tal vez también pueda influir el hecho de que ambos cultivares son los más domesticados por el hombre.

La conductividad hidráulica fue mayor en los cultivares sin interinjerto, coincidiendo con lo encontrado por Basile *et al.* (2003) en vid (*Vitis*), donde la injertación afectó en uno u otro sentido la conductividad hidráulica del injerto. También, se puede deber al desarrollo de cambios morfológicos y anatómicos en la zona unión que crea una discontinuidad de los tejidos vasculares provocando una importante resistencia al flujo del agua desde el sistema de la raíz a la parte aérea tal y como lo demostraron Atkinson *et al.* (2001) en manzano (*Malus domestica* L.). Estos cambios anatómicos pueden ser debidos a limitaciones en el transporte polar de auxinas (AIA) a través del injerto y su acumulación en el mismo (Soumelidou *et al.*, 1994).

Colín V-33 como interinjerto e injerto final presentó los menores valores para el potencial hídrico de la hoja y del tallo lo que coincide con lo encontrado por Giulivo *et al* (1982) en manzano (*Malus domestica*) injertados sobre portainjertos enanizantes M.9 y M.26 que presentaron menor potencial hídrico en la hoja comparado con el de árboles sobre patrones vigorizantes M11 (proveniente de semilla). Esto también se pueden deber a la influencia del portainjerto y no solo se deben a diferencias en la capacidad de las raíces para incorporar agua, sino a su conductividad hidráulica, responsable de la absorción de agua por unidad de masa radicular (Agustí, 2003).

La mayor área foliar del brote y el mayor potencial hídrico tanto del pecíolo como del tallo le correspondió a 'Duke 7', esto quizás sea debido que este cultivar en condiciones de invernadero presentó una mayor producción de hojas apicales y menor longitud de hoja comparado con 'Hass', 'Fuerte' y 'Colín V-33' que presentaron menos hojas pero de mayor tamaño. También se puede deber a que 'Duke 7' es el que presenta más características silvestres. Esto quizás, sea debido a la gran compatibilidad que como interinjerto presentó 'Duke 7' lo que favoreció la unión del injerto si provocar grandes cambios en los flujos de las hormonas vegetales, asimilados, agua y nutrimentos entre el cultivar y el interinjerto promoviendo el crecimiento vegetativo (Micic *et al.*, 1997). Por otra parte, es de destacar que 'Duke 7' como interinjerto promovió la conductancia hidráulica y coincidiendo con el mayor número de vasos pero de menor área transversal de vaso, lo cual ha sido indicado anteriormente en aguacate por

Reyes-Santamaría *et al.* (2002), donde aguacates con menores dimensiones son menos propensos al embolismo.

‘Duke 7’ por su origen es derivado sólo de la raza mexicana (Barrientos-Priego *et al.*, 2007) y de acuerdo a Reyes-Santamaría *et al.*, 2002, la raza mexicana tiene mayor número y menor área transversal de vaso, comparado con ‘Fuerte’ y ‘Hass’, lo cual fue el caso del presente estudio. Dichas características tal vez estén relacionadas, junto con otras con la alta productividad que generó ‘Duke 7’ al ser injertado con ‘Hass’ en comparación con otros portainjertos (Arpaia *et al.*, 1992; Köhne, 1992).

CONCLUSIONES

‘Hass’ fue el cultivar más influenciado por la presencia del interinjerto ya que se observaron incrementos en numerosas variables estudiadas (área foliar de la hoja del pecíolo, área foliar del brote, diámetro del brote apical, potencial hídrico del pecíolo, potencial hídrico del brote, área de vaso, área transversal del tallo, diámetro del xilema, área transversal del xilema y conductividad hidráulica).

‘Duke 7’ como interinjerto fue uno de los que modificó de manera importante algunas variables estudiadas entre ellas la conductividad hidráulica.

No se encontraron diferencias en la mayoría de las variables estudiadas al comparar plantas con interinjerto y sin él.

LITERATURA CITADA

AGUSTÍ, M. 2003. Citricultura. 2nd. Edición. Ediciones Mundi-Prensa Madrid, España. 422 p.

ANDREEV, I. 2001. Functions of the vacuole in higher plants cells. Russian J. Plant Physiol. 48(5): 777-787.

ARPAIA, M.L.; BENDER, G.S.; WITNEY, G.W. 1992. Avocado clonal rootstock production trial. Proc. Of the Second World Avocado Congress II. Orange, California, USA. Pp.305-310.

ATKINSON, C. J.; ELSE, M. A.; TAYLOR, L.; WEBSTER, A. D. 2001. The rootstock graft union: a contribution to the hydraulics of the worked fruit tree. Acta Hort. 557: 117-122.

ATKINSON, C. J.; ELSE, M. A.; TAYLOR, L.; DOVER, C. J. 2003. Root and stem hydraulic conductivity as determinants of growth potential in grafted trees of apple (*Malus pumila* Mill.). J. Exp. Bot. 54: 1221-1229.

- BASS, P. 1982. Systematic Phylogenetic and Ecological Word Anatomy: history and perspectives. pp 23-58. *In*: New Perspectives in Word Anatomy. Bass, P. (Ed.), MARTINES NIJHORFF. The Netherlands.
- BARRIENTOS-PRIEGO, A.F.; MUÑOZ-PÉREZ, R.B.; REYES-ALEMÁN, J.C.; BORYS, M.W.; MARTÍNEZ-DAMÍAN, MA. T. 2007. Taxonomía, cultivares y portainjertos, pp. 31-62. *In*: El aguacate y su manejo integrado. TÉLIZ, D.; MORA, A. (Coord.). Mundi-Prensa. D.F., México.
- BASILE, B.; MARSAL, J.; SOLAR, L. I.; TYREE, M. T.; BRYLA, D. R.; DEJONG, T. M. 2003. Hydraulic conductance of peach trees grafted on rootstocks with differing size-controlling potentials. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 78: 768-774.
- BARTELS, D.; RAMANJULU, S. 2005. Drought and salt tolerance in plants. *Plant Sciences* 24: 23-58.
- BAVARESCO, L.; LOVISOLO, C. 2000. Effect of grafting on grapevine chlorosis and hydraulic conductivity. *Vitis* 39: 89-92.
- BEAKBANE, A.; THOMPSON, E. 1939. Anatomical studies of stem and roots of hardy fruit trees. II. The internal structure of the roots of some vigorous and some dwarfing apple rootstocks, and the correlation of structure with vigor. *J. Pomol. Hort. Sci.* 17: 141-149.

- BERGH, G. P.; ELLSTRAND, N. 1986. Taxonomy of avocado. Calif. Avocado Soc. Yrbk.70: 135-145.
- CANNY, M. 2001. Contributions to the debate on water transport. Am. J. Bot. 88: 43-46.
- CLEARWATER, M. J.; LOWE, R. G.; HOFSTEE, B. J; BARCLAY, C.; MANDEMAKER, A. J.; BLATTMANN, P. 2004. Hydraulic conductance and rootstock effects in grafted vines of kiwifruit. J. Exp. Bot. 55: 1371.
- DÍAZ M., H. D. 2002. Fisiología de Árboles Frutales. AGT Editor, S. A. D.F., México. 390 p.
- ELSE, M. A.; COUPLAND, D.; DUTTON, L.; JACKSON, M. B. 2001. Hydraulic and chemical signalling in flooded and well-drained Castor oil (*Ricinus communis* L.) plants. Physiol. Plant. 111: 46-54.
- FLORES-VINDAS, E. 1999. La Planta: Estructura y Función. Vol. 1. Libro Universitario Regional. San José Costa Rica. 367 p.
- FASSIO, C.; HEATH, R.; ARPIA, 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.

- GIULIVO, C.; PONCHIA, G.; GIANOLA, A.; PITACCO, A. 1985. Effect of rootstocks on water balance of golden delicious apple trees. *Acta Hort.* 171: 399-404.
- HSIAO, T. 1990. Fisiología general, estrés de agua y dinámicas de crecimiento y rendimiento de las plantas cultivables. Técnicas de medición del estado dinámico en la planta. Curso Internacional Manejo de Agua en Frutales. Universidad de Concepción. Chile. 102 p.
- HUBBARD, R. M.; RYAN, M. G.; STILLER, V.; SPERRY, J. S. 2001. Stomatal conductance and photosynthesis vary linearly with plant hydraulic conductance in *Ponderosa* pine. *Plant Cell Environ* 24: 113-121.
- HUSSEIN, I. A., MCFARLAND, M. J. 1994. Rootstocks induced differences in sap flow of 'Granny Smith' apple. *HortScience* 29: 1120-1123.
- JAVOT, H.; LAUVERGEAT, V.; SANTONI, V.; MARTIN, F.; GÜÇLÜ, J.; VINH, J.; HEYES, J.; FRANCK, K.; SCHÄFFNER, A.; BOUCHEZ, D. 2003. Role of a single aquaporin isoform in root water uptake. *Plant Cell* 15: 509-522.
- KLAMKOWSKI, K.; TREDER, W. 2002. Influence of rootstocks on transpiration rate and changes in diameter of an apple tree leader growing under different soil water regimes. *J. Fruit Ornamental Plant Res.* 10: 31-39.

- KÖHNE, J.S. 1992. Field evaluation of 'Hass' avocado grown on Duke 7, GG and G755 c rootstock. Proc. of Second World Avocado Congress II. Orange, California, USA. pp. 301-303.
- LARCHER, W. 2003. Physiological Plant Ecology. 4th ed. Springer, Germany. 231 p.
- MASSAI, R.; GUCCI, R. 1997. Transpiration and water relation in three peach x almond hybrid rootstocks. Acta Hort. 44: 99-106.
- MICIC, N.; PREDIC, T.; LUKIC, R. 1997. Anatomical and morphological properties and mineral content of apple rootstocks on pseudogley. Acta Hort. 450:511-517.
- MOTISI, A.; PERNICE, F.; SOTTILE, F.; CARUSO, T. 2004. Rootstock effect on stem water potential gradients in cv. 'Armking' nectarine trees. Acta Hort. 658: 75-79.
- NIJSSE, J. 2004. On the mechanism of xylem vessel length regulation. Plant Physiology. 134: 32-34.
- OLIEN, W. C.; LAKSO, A. N. 1986. Effect of rootstock on apple (*Malus domestica*) tree water relations. Physiol. Plant. 67: 421-430.

- OLMSTEAD, M.; LANG, S.; EWERS, F.; OWENS, S. 2006. Xylem vessel anatomy of sweet cherries grafted onto dwarfing and non dwarfing rootstocks. J. Am. Soc. Hort. Sci. 131: 577-585.
- PESZLEN, I. 1994. Influence of age on selected anatomical properties of Populus clones. IAWA J. 15: 311-321.
- REYES-SANTAMARIA, I.; BARRIENTOS-PRIEGO, A.; TERRAZAS, T.; TREJO, C. 2002. Xylem conductivity and vulnerability in cultivars and races of avocado. Scientia Horticulturae. 92: 97-105.
- SMITH, J. P. 2001. Physiological mechanisms underlying rootstock effects on scion vigour and yield in Shiraz grapevines. Grape and Wine Research and Development Centre. Geisenheim, Germany. 9 p.
- STEUDLE, E. 1995. Trees under tension. Nature 378: 663-664.
- STEUDLE, E. 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. J. Exp. Bot. 51(350): 1531-1542.
- SOLARI, L. L.; JOHNSON, S.; DEJONG, T. M. 2006. Relationship of water status to vegetative growth and leaf exchange of peach (*Prunus persica*) trees on different rootstocks. Tree Physiol. 26: 1333-1341.

- SOUMELIDOU, K.; MORRIS, D. A.; BATTEY, N. H.; BARNETT, J. R.; JOHN, P. 1994. Auxin transport capacity in relation to the dwarfing effect of apple rootstocks. *J. Hort. Sci.* 69(4):719-725.
- SYVERTSEN J. P. 1981. Hydraulic conductivity of four commercial citrus rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106, 378–381.
- SYVERTSEN, J. P.; GRAHAM, J. H. 1985. Hydraulic conductivity of roots, mineral nutrition, and leaf gas exchange of citrus rootstocks. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 110: 865-869.
- TAIZ, L; ZIEGER, E. 2002. *Plant Physiology*. 3^a. Edición. Sinauer, Sunderland, EE.UU.
- TYREE, M. 1997. The Cohesion-Tension Theory of sap ascent: current controversies. *Journal of Experimental Botany*. 315: 1753-1765.
- ZYALALOV, A. 2004. Water flows in higher plants: physiology, evolution, and system analysis. *Russian J. Plant Physiol.* 51(4): 547-555.
- WANG, Z. Y.; GOULD, K.S.; PATTERSON, K.J. 1994. Comparative root anatomy of five actinidia species in relation to rootstock effects on kiwifruit flowering. *Ann. Bot.* 73: 403-413.

DISCUSIÓN GENERAL

Los estomas juegan un papel importante en las respuestas fisiológicas que presentan las plantas a las condiciones ambientales, ya que son responsables de la regulación de la pérdida de vapor de agua y el ingreso de CO_2 . Sin embargo, la función estomática esencial es la regulación del medio interno del organismo, mientras que actúa con el ambiente. La relación entre mecanismo estomático y fotosíntesis es una de las muchas respuestas a cambios externos o internos (Flores-Vindas, 1999).

En el primer artículo se estudió las relaciones interinjerto-injerto y características anatómicas y fisiológicas de la hoja de cuatro genotipos de aguacate. La presencia del interinjerto en 'Hass', 'Fuerte' y 'Colín V-33' tendió a incrementar la densidad de estomas y de células epidérmicas. Sin embargo, los valores encontrados para estas variables no coinciden en su totalidad con los reportados en la literatura lo que se podría atribuir a la edad de la planta (2 años aproximadamente) y a las condiciones ambientales en las cuales se desarrolló el experimento (invernadero), que influyeron fuertemente en estas características fisiológicas de la hoja o quizás sea un efecto directo de la injertación como en anonas (Pares-Martínez *et al.*, 2004). También, se puede atribuir a que tanto la frecuencia como el tamaño de los estomas pueden variar en función de la posición foliar, las condiciones de crecimiento y el cultivar (Sánchez-Díaz y Aguirreola, 2008).

Colín V-33 como injerto final con y sin interinjerto se caracterizó por presentar mayor grosor de parénquima en empalizada lo que podría indicar que es más eficiente desde el punto de vista fotosintético y que quizás tenga un comportamiento más constante (Wilson y Cooper, 1970).

Para las variables fisiológicas tasa de asimilación neta de CO₂, tasa de transpiración, conductancia estomática y temperatura de la hoja, se observó que con la presencia del interinjerto tendieron a incrementarse en 'Hass', y 'Fuerte', principalmente. Esto puede estar relacionado con las mayores dimensiones de los vasos del xilema del pecíolo y de la vena central de la hoja, donde se vieron favorecidas por la presencia del interinjerto, lo cual se relaciona con el transporte del agua en aguacate (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002). 'Duke 7' presentó los menores valores en la mayoría de las variables fisiológicas evaluadas, con excepción de la concentración interna de CO₂ y la temperatura de la hoja, esto quizás sea debido a que éste no respondió adecuadamente a las condiciones de invernadero ya que manifestaron precozmente síntomas de deficiencia nutrimental en consecuencia los brotes presentaron un bajo crecimiento, efecto más acentuado cuando se combinó con 'Colín V-33' como interinjerto. De hecho 'Duke 7' en campo también presenta lento crecimiento y es frecuente la deficiencia de nitrógeno (Alejandro F. Barrientos Priego, comunicación personal). Además, este cultivar con y sin interinjerto presentó los menores valores para las variables anatómicas en la vena central y el pecíolo de la hoja; lo que quizás limite el transporte de agua, nutrientes y hormonas repercutiendo en un menor tamaño de la hoja (Flores-Vindas, 1999).

El interinjerto juega un papel importante en la translocación de los elementos nutrimentales y determina en gran parte el crecimiento del cultivar injertado. En el segundo artículo se evaluó el contenido nutrimental, unidades SPAD y crecimiento en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7', por efecto del interinjerto. 'Hass', 'Fuerte' y 'Duke 7' como interinjeritos presentaron un mayor crecimiento reflejado en una mayor altura de planta y en mayor crecimiento de las ramas del injerto final. Esto podría ser el resultado de una mayor distribución de fotoasimilados y un mejor metabolismo de las hormonas principalmente giberelinas (Richards *et al.*, 1986). Además, pueden presentar una menor restricción en el transporte de agua y minerales de la parte aérea y posiblemente esto favorezca el transporte basipétalo de las auxinas en la planta, promoviendo su desarrollo (Atkinson *et al.*, 2003), caso contrario que presentó 'Colín V-33' como interinjerto. En el caso de 'Duke 7' como interinjerto se presentó buena compatibilidad con 'Hass' y 'Fuerte' lo que favoreció la unión del injerto, lo cual puede reducir los grandes cambios en los flujos de las hormonas vegetales, asimilados, agua y nutrimentos entre el cultivar y el interinjerto promoviendo el crecimiento vegetativo (Micic *et al.*, 1997).

'Fuerte' como interinjerto presentó el mayor contenido de macronutrimentos y de cobre, manganeso y zinc lo que pudo haber contribuido al mayor crecimiento. La concentración de zinc y manganeso se incrementó con la presencia del interinjerto en todos los cultivares evaluados.

Las características anatómicas de tamaño de vasos y los porcentajes de xilema y floema, en tallos principales de frutales injertados es de gran importancia fisiológica ya que estas características están ligadas directamente a la eficiencia y seguridad de los sistemas de conducción del agua y a las respuestas de la planta a determinadas condiciones ambientales (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002). Quizás también, estas características contribuyan a explicar el grado de compatibilidad entre interinjerto-injerto o portainjerto-injerto.

En el tercer artículo se evaluó la influencia del interinjerto en la conductividad hidráulica y anatomía del xilema del tallo en cuatro genotipos de aguacate. ‘Colín V-33’ como interinjerto e injerto final presentó el mayor grosor de corteza, esta característica ligada al porte enanizante, esto podría ser la causa de la reducción del crecimiento que presenta este cultivar como interinjerto e injerto final. Lo anterior quizás se deba a un alto nivel de almidón y bajo nivel de auxinas producidas en la copa. Parte de esta auxina se degrada en la corteza, por la influencia de la cantidad de ácido indolacético oxidasa, peroxidasa, y fenoles que están presentes en el tejido de la corteza del portainjerto ó interinjerto enanizante y tal vez por otros compuestos que hay en el floema y células cambiales, y que son controlados genéticamente según el cultivar; por lo que, podemos especular que ‘Colín V-33’ promueve poco desarrollo del sistema radical y con poca producción de citocininas que son traslocadas por el xilema a los puntos de crecimiento. Los fenoles son conocidos como reguladores de la planta que interfieren con la fisiología de las auxinas. Estas relaciones son de interés en cultivares enanizantes de manzano (*Malus domestica* Borkh.) que

tienen bajo contenido de auxina y los cultivares más vigorosos que tiene grandes cantidades de fenoles endógenos y mayor contenido de floridzin y floretin que inhiben el transporte del azúcar y en ocasiones aumentan la síntesis del almidón (Lockard y Scheider, 1981).

‘Colín V-33’ presentó más ramas con crecimiento horizontal que vertical que coincide con lo encontrado por Warner (1991). Esto quizás se deba a una mayor producción de inhibidores y en consecuencia una menor cantidad de promotores del crecimiento que se transportan a través del xilema y floema (Lockard y Schneider, 1981). La presencia del ABA tiene una función importante en el balance ABA/AIA (Barrientos-Villaseñor *et al.*, 1999); esta característica juega un papel importante en la regulación de la forma de la planta y también en la formación de los tejidos vasculares; por lo que se podría inferir que en ‘Colín V-33’, como interinjerto, repercute en una menor dimensión de la célula y en el efecto sobre la asimilación de CO_2 y resistencia estomática.

La conductividad hidráulica fue mayor en los cultivares sin interinjerto, coincidiendo con lo encontrado por Basile *et al.* (2003) en vid (*Vitis*), donde la injertación afectó en uno u otro sentido la conductividad hidráulica del injerto. También se puede deber al desarrollo de cambios morfológicos y anatómicos en la zona unión que crea una discontinuidad de los tejidos vasculares generando una importante resistencia al flujo del agua desde el sistema de la raíz a la parte aérea tal y como lo demostraron Atkinson *et al.* (2001) en manzano (*Malus domestica* Borkh).

Por otra parte, es de destacar que 'Duke 7' como interinjerto promovió la conductancia hidráulica y coincidiendo con el mayor número de vasos pero de menor área transversal de vaso, lo cual ha sido indicado anteriormente en aguacate por Reyes-Santamaría *et al.* (2002), donde aguacates con menores dimensiones son menos propensos al embolismo.

LITERATURA CITADA

ATKINSON C., J.; ELSE, M. A.; TAYLOR L; DOVER, C. J. 2003. Root and hydraulic conductivity as determinants of growth potential in grafted trees of apple (*Malus pumila* Mill.). J. Exp. Bot. 54: 1221-1229.

ATKINSON, C. J.; ELSE, M. A.; TAYLOR, L.; WEBSTER, A. D. 2001. The rootstock graft union: a contribution to the hydraulics of the worked fruit tree. Acta Hort. 557: 117-122.

BARRIENTOS-VILLASEÑOR, A.; BARRIENTOS-PRIEGO, A. F.; RODRÍGUEZ-PÉREZ, J. E.; PEÑA-LOMELI, A.; MUÑOZ-PÉREZ, R. 1999. Influencia del interinjerto cv. Colín V-33 sobre algunos aspectos fisiológicos en aguacatero (*Persea americana* Mill.). Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 103-116.

BASILE, B.; MARSAL, J.; SOLAR, L. I.; TYREE, M. T.; BRYLA, D. R.; DEJONG, T. M. 2003. Hydraulic conductance of peach trees grafted on rootstocks with differing size-controlling potentials. J. Hort. Sci. Biotech. 78: 768-774.

- FLORES-VINDAS, E. 1999. La Planta: Estructura y Función. Vol. 1. Libro Universitario Regional. San José, Costa Rica. 367 p.
- LOCKARD, R. G.; SCHNEIDER, G. W. 1981. Stock and scion relationships and the dwarfing mechanism in apple. Horticultural Reviews 3: 315-375.
- PÁRES-MARTÍNEZ, J.; ARIZALETA, M.; SANABRIA, M. E.; BRITO, L. 2004. Características de los estomas, densidad e índice estomático y su variación en función de la injertación en *Annona muricata* L. y *Annona montana* MADFAC. Bioagro 16(3): 213-218.
- REYES-SANTAMARÍA, I.; TERRAZAS, T.; BARRIENTOS-PRIEGO, A.F.; TREJO, C. 2002 Xylem conductivity and vulnerability in cultivars and races of avocado. Scientia Horticulturae. 2: 97-105.
- RICHARDS, D.; THOMPSON, W. K.; PHARIS, R. P. 1986. The influence of dwarfing interstock on the distribution on metabolism of xylem-applied [3H] gibberellin A₄ in apple. Plant Physiol. 82: 1090-1095.
- SÁNCHEZ-DÍAZ, M.; AGUIRREOLEA, J. 2008. Transpiración y movimientos estomáticos, pp. 41-56. In: Fundamentos de Fisiología Vegetal. AZCÓN-BIETO, J.; TALÓN, M. (eds.). McGraw-Hill-Interamericana. Barcelona, España.
- WARNER, J. 1991. Rootstock affects primary scaffold branch crotch angles of apple trees. HortScience 26: 1266-1267.

WILSON, D.; COOPER, J. P. 1970. Effect of selection for mesophyll cell size on growth and assimilation in *Lolium perenne* L. New Phytologist. 69(2): 233-245.

.CONCLUSIONES

El genotipo 'Duke 7' usado como interinjerto influyó en la mayoría de las características anatómicas de elementos de vaso de la vena central y el pecíolo de la hoja, así como en la tasa de asimilación de CO₂, resistencia estomática, en la concentración foliar de macro y micronutrientes y en la conductividad hidráulica del xilema en tallo.

En general, 'Hass' fue el cultivar más influenciado por la presencia del interinjerto ya que presentó las mayores modificaciones en la fisiología de la hoja y en la anatomía de la hoja y el tallo.

La presencia del interinjerto modificó de manera significativa algunas características anatómicas de elementos de vaso de la vena central y del pecíolo de la hoja, así como algunos aspectos del intercambio de gases de la hoja.

El interinjerto influyó en la concentración foliar de los macro y micronutrientes de todos los injertos, pero de manera más sobresaliente para 'Colín V-33' que disminuyó el contenido de nitrógeno, potasio, magnesio e incrementó los niveles de cobre y zinc.

La presencia del interinjerto afectó la conductividad hidráulica de todos los cultivares estudiados.

APENDICE

Cuadro 1A. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables fisiológicas y anatómicas de la vena central y el pecíolo de la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

	NCE	DE	LPEI	TRA	CE	HR	AP	PP	LEMAP	LEMP	DFP	AN	PN	LEMAN	LEMN	IRN	DFN
NE	0.82*	-0.29*	-0.11	0.22	0.06	-0.02	-0.19	-0.21*	-0.20	-0.21	-0.20	-0.11	-0.10	-0.122	-0.07	0.06	-0.10
NCE		-0.40*	-0.16	0.13	-0.06	-0.09	-0.27*	-0.28*	-0.27*	-0.28*	-0.27*	-0.11	-0.10	-0.118	-0.06	0.13	-0.09
DE			0.33	0.01	0.07	0.04	0.39*	0.41*	0.40*	0.39*	0.40*	0.30*	0.31*	0.325	0.02	-0.30*	0.29*
LPEI				0.04	-0.05	-0.13	0.33*	0.40*	0.42*	0.30*	0.36*	0.46*	0.48*	0.491*	0.39*	-0.38*	0.40*
TRA					0.73*	0.11	0.03	-0.04	0.03	0.03	0.03	0.00	0.05	-0.008	0.03	0.01	0.07
CE						0.49*	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	-0.02	-0.03	-0.040	-0.02	0.06	-0.02
HR							-0.01	-0.03	-0.04	0.04	-0.02	-0.03	-0.03	-0.037	-0.02	0.05	-0.02
AP								0.97*	0.96*	0.96*	0.99*	0.47*	0.49*	0.489*	0.43	-0.43*	0.46*
PP									0.99*	0.94*	0.98*	0.49*	0.50*	0.503*	0.44*	-0.45*	0.48*
LEMAP										0.91*	0.97*	0.48*	0.50*	0.501*	0.43*	-0.45*	0.48*
LEMP											0.97*	0.47*	0.48*	0.477*	0.43*	-0.42*	0.46*
DFP												0.48*	0.49*	0.497*	0.44*	-0.44	0.47*
AN													0.98*	0.980*	0.93*	-0.58	0.99*
PN														0.992*	0.91*	-0.69	0.98*
LEMAN															0.88*	-0.68	0.98*
LEMN																-0.44	0.95*
IRN																	-0.59
DFN																	

NE: Número de estomas por mm⁻²; NCE: Número de células epidérmicas por mm⁻²; DE: Densidad estomática; LPEI: Grosor del parénquima en empalizada I; TRA:=Transpiración; CE: Conductividad estomática; HR: Humedad relativa; TH: Temperatura de la hoja; AP: Área del vaso del xilema en el pecíolo; PP: Perímetro del vaso del xilema en el pecíolo; LEMAP: Longitud del eje mayor del vaso del xilema en el pecíolo; LEMP: Longitud del eje menor del vaso del xilema en el pecíolo; DFP: Diámetro Feret del vaso del xilema en el pecíolo; AN: Área del vaso del xilema en la vena; PN: Perímetro del vaso del xilema en la vena; LEMAN, Longitud del eje menor del vaso del xilema en la vena; LEMN: Longitud del eje menor del vaso del xilema en la vena; IRN: Índice de redondez del vaso del xilema en la vena; DFP: Diámetro Feret del vaso del xilema en la vena. * significativo ($P \leq 0.05$), **altamente significativo ($P \leq 0.001$); ns; no significativo

Cuadro 2A. Coeficientes de correlación de Pearson entre las variables de crecimiento y el contenido de macro y micronutrientes en la hoja de aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y 'Duke 7'.

	C	DIF	DSI	DII	A	NR	CTR	LPR	N	P	K	Ca	Mg	Cu	Fe	Mn	Zn
C		0.34*	0.34*	0.32*	0.31*	0.23*	0.28*	0.20*	0.20*	0.04	0.12	-0.03	-0.14	0.05	0.04	-0.29*	-0.15
DIF			0.97**	0.89**	0.53**	0.60**	0.64**	0.57**	-0.12	-0.22	-0.11	0.10	0.25	0.21	0.21	0.08	0.34*
DSI				0.89**	0.52**	0.60**	0.63**	0.54**	-0.17	-0.21	-0.13	0.09	0.24	0.16	0.16	-0.09	0.34*
DII					0.40*	0.48*	0.53**	0.44*	-0.04	-0.16	0.02	0.07	0.16*	0.13	0.13	0.14	0.35*
A						0.78**	.76**	0.79**	-0.12	-0.10	-0.09	0.05	0.10	0.03	0.03	-0.16	0.25*
NR							.96**	0.68**	-0.12	-0.13	-0.04	0.07	0.08	0.01	0.01	-0.11	0.24
CTR								0.73**	-0.14	-0.15	-0.03	0.04	0.04	-0.05	-0.05	-0.15	0.22
LPR									0.17	-0.27*	-0.11	0.12	0.17	0.04	0.04	-0.14	0.29*
N										0.31*	0.32*	-0.08	-0.35*	-0.20	-0.20	-0.16	-0.03
P											0.40*	-0.14	-0.43*	-0.14	-0.14	0.03	-0.24
K												-0.10	-0.28*	-0.03	-0.03	0.15	-0.24
Ca													0.48**	-0.08	-0.08	0.14	0.12
Mg														0.05	0.04	0.49**	0.30*
Cu															-0.33*	0.03	0.39*
Fe																-0.30*	0.16
Mn																	0.14
Zn																	

C: Intensidad del color verde de la hoja; DIF: Diámetro del injerto final; DSI: Diámetro superior del interinjerto; DII: Diámetro inferior del interinjerto; A: Altura del injerto final; NR: Número de ramas; CTR: Crecimiento total de la rama; LPR: Longitud promedio de la rama; N: Nitrógeno; P: Fósforo; K: Potasio; Ca: Calcio; Mg: Magnesio; Cu: Cobre; Fe: Hierro; Mn: Manganeseo; Zn: Zinc. * significativo ($P \leq 0.05$), **altamente significativo ($P \leq 0.001$); ns; no significativo

Cuadro 3A. Coeficientes de correlación de Pearson entre algunas variables fisiológicas de la hoja y anatómicas del tallo con la conductividad hidráulica y la resistencia al flujo hídrico en aguacate 'Hass', 'Fuerte', 'Colín V-33' y

	AFHP	AFB	PHP	PHB	CE	RE	NV	APV	GC	ATT	DX	ATX	ATC	F	R
AFHP		0.35*	0.30*	0.14	0.01	-0.10	-0.03	0.09	-0.01	-0.34*	-0.33*	-0.35*	-0.26*	-0.06	-0.07
AFB			0.13	0.06	-0.14	-0.02	0.16	-0.23	0.05	-0.34*	0.29*	-0.33*	-0.18	0.06	-0.12
PHP				0.24*	-0.20	0.20	-0.11	0.10	-0.18	-0.15	-0.13	-0.11	-0.17	0.13	0.18
PHB					-0.27*	0.10	-0.24	0.27*	-0.30*	0.17	-0.19	-0.11	-0.25*	-0.11	0.18
CE						-0.73**	0.07	-0.17	0.24*	0.28*	0.26*	0.17	0.33*	0.26*	0.27*
RE							-0.10	0.14	-0.22	-0.24 *	-0.22	-0.19	-0.28*	-0.03	-0.06
NV								-0.75**	0.005	-0.26*	-0.26*	-0.26*	-0.21	-0.03	-0.02
APV									-0.09	0.19	0.18	0.23	0.10	0.02	0.05
GC										0.30*	0.29*	0.19	0.67**	0.08	0.07
ATT											0.97**	0.96**	0.87**	0.12	0.15
DX												0.92**	0.86**	0.09	0.12
ATX													0.76**	0.14	0.16
ATC														0.11	0.14
F															0.92**
R															

AFHP: Área foliar de la hoja del pecíolo mm^{-2} ; AFB: Área foliar del brote mm^{-2} ; PHP: Potencial hídrico del pecíolo; PHB: Potencial hídrico del brote; CE: Conductancia estomática; RE: Resistencia estomática; NV: Número de vasos por mm^{-2} ; APV: Área del vaso; GC: Grosor de corteza; ATT: Área transversal del tallo en mm^{-2} ; DX: Diámetro del xilema en mm; ATX: Área transversal del xilema mm^{-2} ; ATC: Área transversal de la corteza mm^{-2} ; F: Flujo hídrico; P: Presión hídrica. * significativo ($P \leq 0.05$), **altamente significativo ($P \leq 0.001$); ns; no significativo.