



# **COLEGIO DE POSTGRADUADOS**

**INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS  
AGRÍCOLAS**

**CAMPUS MONTECILLO**

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

**FRUTICULTURA**

## **INTERCAMBIO DE GASES Y SU RELACIÓN CON ANATOMÍA DE HOJA Y TALLO EN GENOTIPOS DE AGUACATE**

**GARCIA GUTIERREZ ROMAN**

**T E S I S**

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

**MAESTRO EN CIENCIAS**

**MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MEXICO**

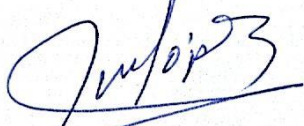
**2015**

La presente tesis titulada “**Intercambio de gases y su relación con anatomía de hoja y tallo en genotipos de aguacate**”, realizada por el alumno **Roman Garcia Gutierrez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS  
RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD  
FRUTICULTURA

CONSEJO PARTICULAR


CONSEJERO



---

Dr. Alfredo López Jiménez

ASESOR



---

Dr. Alejandro V. Barrientos Priego

ASESOR



---

Dra. María de la Cruz Espíndola Barquera

Montecillo, Texcoco, Estado de México, 9 de Noviembre de 2015

# INTERCAMBIO DE GASES Y SU RELACIÓN CON ANATOMÍA DE HOJA Y TALLO EN GENOTIPOS DE AGUACATE

Roman Garcia Gutierrez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estudiar las características anatómicas de hoja y tallo determinar su relación con el intercambio de gases en hoja de algunos genotipos de aguacate. El experimento se realizó en invernadero, en Chapingo, México. Se evaluaron los genotipos: ‘Aguilar’, ‘Colín V-33’, ‘Encinos’, ‘Fundación II’, ‘Fuerte’, ‘Hass’, ‘Méndez No. 1’, ‘Pionero’, ‘Pinkerton’, ‘HxP 5’, ‘HxP 126’ y ‘Palma’, provenientes de la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S. C. Se realizaron cortes transversales de hoja y tallo, además se realizaron impresiones en la zona abaxial de hoja, se tomaron imágenes digitales y se analizaron con el programa ImageTool. En hoja se determinaron variables estomáticas y de grosor en lámina. En cortes transversales de tallo se determinó: área transversal y la frecuencia de vasos de xilema, así como la proporción de xilema, corteza y médula. Se evaluaron con analizador de gases infrarrojo las variables tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y conductancia estomática. Las características anatómicas de tallo que se asociaron fuertemente a un mayor intercambio gaseoso fueron mayor área transversal de vasos de xilema y alta proporción de médula; asimismo, el mayor intercambio gaseoso, se relacionó débilmente a una alta proporción de xilema, baja proporción de corteza y menor frecuencia de vasos de xilema. El área foliar fue la única de las variables de hoja que presentó relación con intercambio de gases, la cual fue de manera positiva.

**Palabras clave:** *Persea americana* Mill., anatomía de hoja, anatomía de tallo, asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración.

# **GAS EXCHANGE AND ITS RELATIONSHIP WITH ANATOMY OF LEAF AND STEM IN AVOCADO GENOTYPES**

Roman Garcia Gutierrez, M.C.

Colegio de Postgraduados, 2015

## **ABSTRACT**

The aim of this research was to study the anatomical characteristics of leaf and stem and determine their relationships with the leaf gas exchange of some genotypes of avocado. The experiment was conducted in greenhouse at Chapingo, Mexico. The genotypes evaluated were: ‘Aguilar’, ‘Colín V-33’, ‘Encinos’, ‘Fundación II’, ‘Fuerte’, ‘Hass’, ‘Méndez No. 1’, ‘Pionero’, ‘Pinkerton’, ‘HxP 5’, ‘HxP 126’ y ‘Palma’, from the Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S.C. Cross sections of leaf and stem were performed, also impressions were taken on the abaxial leaf area, digital images were obtained and analyzed with the ImageTool program. In leaf stomata and thickness were determined. In stem cross section cuts were determined: cross sectional area and frequency of xylem vessels, as well as the proportion of xylem, cortex and pith. CO<sub>2</sub> assimilation rate, transpiration rate and stomatal conductance were evaluated by an infrared gas analyzer. Stem anatomical features were strongly associated with higher gas exchange were higher transversal area of xylem vessels and high proportion of pith; also higher gas exchange was weakly related to high proportion of xylem, low proportion of cortex and lower frequency of xylem vessels. Leaf area was the only one characteristic of leaf associated with gas exchange and was positive.

**Keywords:** *Persea americana* Mill., stem anatomy, leaf anatomy, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration.

## **AGRADECIMIENTOS**

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

Al Colegio de Postgraduados, en especial a Fruticultura, por brindarme la oportunidad de continuar con mi preparación académica y así cumplir una meta más.

A los Doctores Alejandro F. Barrientos Priego, Alfredo López Jiménez y María de la Cruz Espíndola Barquera. Gracias por su disposición y gran apoyo para la realización del presente trabajo.

Al equipo del invernadero: Meche, Marcelo, Emmanuel, Don Chevo, Dr. Campos y Dr. Ayala, por la amistad y apoyo brindado en las diferentes etapas que compartimos.

A la familia García Gutiérrez de Tequesquahuac por su amistad brindada estos años.

A la señora Gloria García Islas, mi más sincero agradecimiento por su amistad y apoyo.

## **DEDICATORIA**

A la memoria de mi madre Clemencia Gutiérrez Olvera† en honor a su recuerdo.

A mi hijo Efraín, que ha llenado de alegría mi vida y motiva mi superación día a día.

A mi esposa Lolita, por ser la compañera de mi vida y por su apoyo incondicional.

A mis hermanos (as): Rosalía, Abel, Ramiro, Edith, Francisco, Coco y Gaby, con cariño y gratitud.

A mis sobrinos: Andy, Chucho, Abel Jr, Iris, Dulce, Brayan,

A mis amigos de maestría generación 2013-2015 con mi más sincero aprecio.

## CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
1. Objetivo general	3
2. Hipótesis general	3
3. Literatura citada	4
CAPÍTULO I. INTERCAMBIO DE GASES Y SU RELACIÓN CON ANATOMÍA DE HOJA EN DIFERENTES GENOTIPOS DE AGUACATE	6
1.1 Introducción	9
1.2 Materiales y métodos	10
1.3 Resultados y discusión	13
1.4 Conclusiones	23
1.5 Literatura citada	23
CAPÍTULO II. INTERCAMBIO DE GASES Y SU RELACIÓN CON ANATOMÍA DE TALLO EN DIFERENTES GENOTIPOS DE AGUACATE	26
2.1 Introducción	29
2.2 Materiales y métodos	30
2.3 Resultados y discusión	32
2.4 Conclusiones	40
2.5 Literatura citada	40
CONCLUSIONES GENERALES	44

## LISTA DE CUADROS

	Pág.
CUADRO 1.1. Intercambio de gases en diferentes genotipos de aguacate.	14
CUADRO 1.2. Variables de estomas en diferentes genotipos de aguacate.	16
CUADRO 1.3. Comparación de medias de algunas variables en hoja de algunos genotipos de aguacate.	19
CUADRO 1.4. Comparación de medias en elementos de vaso de xilema en vena central de hoja y tallo de algunos genotipos de aguacate.	21
CUADRO 1.5. Coeficientes de correlación de Pearson entre variables de intercambio de gases y anatomía de hoja.	22
CUADRO 2.1. Intercambio de gases en algunos genotipos de aguacate.	33
CUADRO 2.2. Comparación de medias de variables en tallo de algunos genotipos de aguacate.	35
CUADRO 2.3. Coeficientes de correlación de Pearson entre variables de intercambio de gases y anatómicas de tallo de aguacate.	37



## LISTA DE FIGURAS

	Pág
FIGURA 1.1. Estomas en hoja de los cultivares de aguacate ‘Colín V-33’ y ‘Palma’.	15
FIGURA 1.2. Cortes transversales de lámina de hoja de los cultivares de aguacate ‘Pinkerton’ y ‘Pionero’.	18
FIGURA 1.3. Vasos de xilema en vena central de hoja de los cultivares de aguacate ‘Aguilar’ y ‘Fundación II’.	22
FIGURA 2.1. Área transversal de vasos de xilema en tallo de los cultivares de aguacate ‘Méendez No. 1’ y ‘Encinos’.	34
FIGURA 2.2. Densidad de vasos de xilema en tallo de los cultivares de aguacate ‘Colín V-33’ y ‘Méendez No. 1’.	36
FIGURA 2.3. Regresión lineal de área de vasos con tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> , transpiración y conductancia estomática.	38

## INTRODUCCION GENERAL

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es nativo de América Central y es un cultivo de importancia económica en muchos países, entre ellos México, Israel, Estados Unidos, Chile y Sudáfrica. México sobresale al ser el principal productor y exportador mundial.

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).

Para una especie vegetal y en un ambiente determinado, los factores de crecimiento más importantes son: luz, agua, CO<sub>2</sub>, nutrimentos minerales y genotipo (Garate y Bonilla, 2000). 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 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).

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 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 CO<sub>2</sub> para ser fijado en la fotosíntesis (Hsiao, 1990).

La conductancia estomática es proporcional al radio del área del poro y la profundidad (Brown y Escombe, 1900), por lo tanto, al aumentar el área de poro estomatal/profundidad por unidad de área foliar, se incrementa la conductancia estomática y el intercambio de gases que permite mayor tasa fotosintética y desarrollo del cultivo (Franks y Farquahar, 2007). La frecuencia estomática se determina genéticamente, en el caso de cítricos la heterosis y el nivel de ploidía tienden a disminuir la frecuencia estomática e incrementar el tamaño de estomas (Costa *et al.*, 2004).

La eficiencia fisiológica de aguacate es de gran importancia y puede estar relacionada con la anatomía de la hoja. Los espacios de aire de la hoja y los arreglos internos de las células, se asocian a la eficacia con la cual las plantas pueden asimilar el CO<sub>2</sub> o intercambiar otros gases (Black *et al.*, 1975).

## **1. OBJETIVO GENERAL**

Determinar la relación entre el intercambio de gases y la anatomía de hoja y tallo de algunos genotipos de aguacate.

## **2. HIPÓTESIS GENERAL**

Los genotipos que presentan mayores valores en variables del perfil transversal de hoja, estomas y en xilema de tallo presentan un mayor intercambio de gases.

### 3. LITERATURA CITADA

- Agustí, M. 2003. Citricultura. 2nd. Edición. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 422 p.
- Bergh, B. 1992. The origin, nature and genetic improvement of the avocado. California Avocado Society Yearbook 76: 61-75.
- Black, C. C.; Goldstein, L. D.; Ray, T. B.; Kestler, D. P. and Mayne, B. C. 1975. The relationship of plant metabolism to internal leaf and cell morphology and the efficiency of CO<sub>2</sub> assimilation, pp. 113-139. *In*: CO<sub>2</sub> Metabolism and plant productivity. Burris, R. H. and Black, C. C. (eds.). University Park Press. Baltimore, USA.
- Brown, H T; F. Escombe. 1900. Static diffusion of gases and liquids in relation to assimilation of carbon and translocation in plants. Phil. Trans. Royal Soc. London 193: 223–291.
- Canny, M. 2001. Contributions to the debate on water transport. Am. J. Bot. 88: 43-46.
- Campos, R. E. 2006. Análisis de la filogenia del subgénero *Persea* (Lauracea) una nueva propuesta de organización taxonómica en aguacate, *P. americana* Mill. Tesis de Grado. Colegio de Posgraduados. Montecillo, Texcoco, Estado de México, México. 59 p.
- Costa, M. A. P. C.; Almeida, W. A. B.; Mourao Filho, F. A. A.; Mendes, B. M. J.; A. P. M. Rodríguez. 2004. Stomatal analysis of citrus somatic hybrids obtained by protoplast fusion. Pesquisa Agropecuária Brasileira 39:297–300.
- Esau, K. 1985. Anatomía de las Plantas con Semilla. Editorial Hemisferio Sur, Buenos Aires, Argentina. pp. 97-135.
- Franks, P. J.; G. D. Farquhar. 2007. The mechanical diversity of stomata and its significance in gas–exchange control. Plant Physiol. 143: 78–87.
- Garate, A.; I. Bonilla. 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.

- 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.
- 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.
- Steudle, E. 1995. Trees under tension. *Nature* 378: 663-664.
- Steudle, E. 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. *Journal of Experimental Botany* 51(350): 1531-1542.
- Tyree, M. 1997. The Cohesion-Tension Theory of sap ascent: current controversies. *Journal of Experimental Botany* 315: 1753-1765.
- Tyree, M. T.; Zimmerman, M. H. 2002. *Xylem Structure and the Ascent of Sap*. Springer Verlag, Berlin. Germany. 284 p.
- Zentmyer, G. A.; E. Schieber. 1992. *Persea* and *Phytophthora* in Latin America. Proc of Second World Avocado Congress. Orange, California, USA. pp. 61-66.

## **CAPÍTULO I**

# **INTERCAMBIO DE GASES Y SU RELACIÓN CON ANATOMÍA DE HOJA EN ALGUNOS GENOTIPOS DE AGUACATE**

## RESUMEN

Las características anatómicas de la hoja son aspectos importantes de estudio, ya que pueden proporcionar información de la eficiencia del intercambio gaseoso en diferentes genotipos de aguacate y servir de base para la selección de cultivares. El objetivo de la presente investigación fue evaluar variables anatómicas de hoja para determinar su influencia en el intercambio de gases en algunos genotipos de aguacate bajo condiciones de invernadero. El experimento se realizó en invernadero ubicado en Chapingo, México. Se evaluaron los genotipos: ‘Aguilar’, ‘Colín V-33’, ‘Encinos’, ‘Fundación II’, ‘Fuerte’, ‘Hass’, ‘Méndez No. 1’, ‘Pionero’, ‘Pinkerton’, ‘HxP 5’, ‘HxP 126’ y ‘Palma’, provenientes de la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C., en Coatepec Harinas, Estado de México. Se determinaron variables estomáticas en la zona abaxial de hoja, se analizó el perfil transversal de lámina de hoja y se determinó el área foliar. Se evaluaron con un analizador de gases infrarrojo (IRGA) las variables tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y conductancia estomática. ‘HxP 5’, ‘Fuerte’, ‘Méndez No. 1’, ‘Pinkerton’ y ‘Aguilar’ presentaron la mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y conductancia estomática. La asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y conductancia estomática se correlacionaron de manera positiva con área foliar, siendo la única de las características de hoja que presentó relación con el intercambio de gases en los genotipos de aguacate estudiados.

**Palabras clave:** *Persea americana* Mill., estomas, anatomía de hoja, asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración.



# **GAS EXCHANGE AND ITS RELATIONSHIP WITH LEAF ANATOMY IN SOME GENOTYPES OF AVOCADO**

## **SUMMARY**

The anatomical characteristics of the leaf are important aspects of study, as they can provide information on the efficiency of gas exchange in different genotypes of avocado and assist as a basis for the selection of cultivars. The aim of this research was to study stomatal and leaf anatomical variables to determine their influence on gas exchange in some genotypes of avocado. The experiment was conducted in greenhouse at Chapingo, Mexico. The genotypes evaluated were: 'Aguilar', 'Colín V-33', 'Encinos', 'Fundación II', 'Fuerte', 'Hass', 'Méndez No. 1', 'Pionero', 'Pinkerton', 'HxP 5', 'HxP 126' y 'Palma', from the Salvador Sanchez Colin-CICTAMEX, S.C. Foundation in Coatepec Harinas, State of Mexico. Anatomical variables were determined on the abaxial area of the leaf, for the case of stomata, and in cross sections of the leaf blade. CO<sub>2</sub> assimilation rate, transpiration rate and stomatal conductance were evaluated by an infrared gas analyzer (IRGA). 'HxP 5', 'Fuerte', 'Mendez No. 1', 'Pinkerton' and 'Aguilar' showed the highest CO<sub>2</sub> assimilation rate, stomatal conductance and transpiration. CO<sub>2</sub> assimilation, stomatal conductance and transpiration positively correlated with leaf area, it is the only one of the characteristics of leaf presented relation to gas exchange avocado genotypes studied.

**Keywords:** *Persea americana* Mill., stomata, leaf anatomy, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration.

## INTRODUCCIÓN

En las plantas superiores varias funciones fisiológicas importantes involucran intercambio de gases entre la atmósfera y la hoja. El intercambio de gases generalmente se lleva a cabo a través de estomas en la epidermis. Los estomas son responsables de la toma de CO<sub>2</sub> y de la pérdida de agua durante la transpiración bajo las cambiantes condiciones ambientales (Barrientos-Priego *et al.*, 2003).

La eficiencia fisiológica de aguacate es de gran importancia, la cual puede estar relacionada con la anatomía de la hoja. Los espacios de aire de la hoja y los arreglos internos de las células, se asocian a la eficacia con la cual las plantas pueden asimilar el CO<sub>2</sub> o intercambiar otros gases (Black *et al.*, 1975).

De acuerdo con Chartzoulakis *et al.* (2002), la anatomía foliar del aguacate es influenciada por condiciones ambientales, como la sequía, donde se observan grandes cambios, sobre todo en el espacio intercelular del parénquima esponjoso y en general en el grosor de la hoja. La tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> puede servir de base para la selección de cultivares, ya que puede estar relacionada directamente con la anatomía de la hoja, muy similar a lo que sucede con otras especies en el que las dimensiones del mesófilo en empalizada de la hoja, está relacionado con la anatomía de la cutícula, así como de la epidermis de la hoja, la presencia de tricomas y de ceras (Mickelbart *et al.*, 2000).

En manzano se ha probado que los mayores índices de potencial fotosintético están asociados a un mayor grosor de la hoja, peso específico y número de capas de parénquima en empalizada (Barden, 1978).

En el caso de aguacate 'Lamb Hass' se ha encontrado que presenta algunas características únicas en sus hojas como son: mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y resistencia al ácaro *Persea* (Hoddle, 1998), así como mayor largo, ancho y área del parénquima en empalizada I, comparado con 'Hass' y otros genotipos (González-Calderón *et al.*, 2011). Estas características son de gran importancia para la selección de nuevos cultivares y pueden estar relacionadas directamente con la anatomía de las hojas, ya que en otras especies se ha encontrado que las dimensiones del mesófilo en empalizada de la hoja, está relacionada con su capacidad fotosintética (Wilson y Cooper, 1970); es de esperarse que la resistencia a algunos insectos y ácaros esté también relacionada con la cutícula y epidermis de sus hojas, así como tricomas y ceras (Mickelbart *et al.*, 2000).

La información acerca de la anatomía de hoja es importante para el mejor entendimiento del intercambio de gases. El objetivo de esta investigación fue estudiar las características del perfil de lámina de hoja y estomas, y determinar su relación con el intercambio de gases en diferentes genotipos de aguacate.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se realizó en invernadero y laboratorio ubicados en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, México.

## **Material vegetal**

El material vegetal (varetas) se obtuvo de árboles en producción establecidos en la Fundación Salvador Sánchez Colín-CICTAMEX, S. C., en Coatepec Harinas, Estado de México.

Se estudiaron los genotipos: ‘Aguilar’, ‘Colín V-33’, ‘Encinos’, ‘Fuerte’, ‘Fundación II’, ‘Hass’, ‘Pionero’, ‘Pinkerton’, ‘Méndez No. 1’, ‘HxP 5’, ‘HxP 126’ y ‘Palma’, 18 meses después de injertados.

Los genotipos ‘HxP 5’ y ‘HxP 126’ son selecciones destacadas de las cruzas de ‘Hass’ x ‘Pionero’, las cuales producen fruto con buenas características organolépticas. Se utilizó como portainjerto un genotipo criollo de la raza Mexicana obtenido por semilla de Teziutlán, Puebla.

## **Intercambio de gases**

Con analizador de gases infrarojo (IRGA) CID BIO-SCIENCE modelo CI-340, se determinaron las variables: tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y conductancia estomática; esto se realizó durante cinco días entre las 10:00 y 12:00 horas.

## **Área foliar**

Se determinó el área foliar de cada una de las plantas al final del experimento con un medidor de área foliar LI-COR modelo LI-3100.

## **Variables de estomas y células epidérmicas**

Se seleccionó una hoja madura completamente expandida, de la cual se obtuvo una impresión en la zona abaxial con silicón para huellas dentales EXACTODEN®, a la cual se le agregó barniz de uñas transparente RENOVA® para obtener 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 (10 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.

### **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 transfirieron a parafina (55 °C), donde 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 micrótopo (Thermo Scientific Modelo HM 325) se realizaron cortes transversales en hoja abarcando la vena central con un grosor de 10  $\mu\text{m}$ , los cuales se montaron en portaobjetos. Su tinción se realizó con safranina (1g en 100 mL de alcohol etílico 50°) y verde rápido (1g en 100 mL de alcohol etílico absoluto).

En cortes de lámina de hoja se determinó el grosor de: lámina de hoja, cutícula, epidermis superior e inferior, parénquima esponjoso y parénquima en empalizada I y II; asimismo en vena central de hoja se determinó área transversal de vaso de xilema y frecuencia de vasos. Se realizaron cinco mediciones por repetición.

### **Obtención y análisis de imágenes**

Las imágenes digitales se obtuvieron con cámara Motic 580, con un adaptador de 12 mm adaptada a microscopio Olympus modelo B3 Professional Series a 10 y 40x de objetivo y 10x de ocular en cortes anatómicos y a 40x de objetivo y 10x de ocular para estomas. Las mediciones en el análisis de imágenes se realizó con el programa Image Tool ver 3.00 (Wilcox *et al.*, 2002).

### **Diseño experimental y Análisis estadístico**

El diseño experimental fue completamente al azar. La unidad experimental consistió en una planta, con tres repeticiones de cada tratamiento, en total fueron 11 tratamientos y 'Hass' como testigo; Se tuvo un total de 36 unidades experimentales. Se realizó pruebas de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para cada variable y correlaciones de Pearson con el programa estadístico SAS versión 9.0.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

'HxP 5', 'Fuerte', 'Méndez No. 1', 'Pinkerton' y 'Aguilar' presentaron la mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y conductancia estomática. 'Hass' presento valores intermedios en estas variables (Cuadro 1.1).

Cuadro 1.1. Intercambio de gases en genotipos de aguacate.

Genotipo	Tasa de asimilación neta de CO <sub>2</sub> (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Conductancia estomática (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )	Tasa de transpiración (μmol·m <sup>-2</sup> ·s <sup>-1</sup> )
‘Aguilar’	7.49 ab <sup>z</sup>	70.14 ab	2.71 ab
‘Colín V-33’	4.55 cd	39.81 bcd	1.78 cde
‘Encinos’	3.50 d	24.23 d	1.07 e
‘Fuerte’	8.35 ab	79.11 a	2.56 abc
‘Fundación II’	6.32 bcd	47.95 bcd	2.03 bcd
‘Hass’	6.33 bcd	69.77 ab	2.31 abcd
‘HxP 5’	9.00 a	74.44 a	3.00 a
‘HxP 126’	5.70 bcd	50.09 abcd	2.14 bcd
‘Palma’	5.77 bcd	53.01 abcd	2.02 bcd
‘Pionero’	4.25 cd	38.84 cd	1.60 de
‘Pinkerton’	7.68 ab	71.77 a	2.85 ab
‘Méndez No. 1’	8.11 ab	68.62 abc	2.54 abc
DMSH	2.73	30.54	0.82
C.V. (%)	22.54	21.12	14.56

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de la misma columna no son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

DMSH= diferencia mínima significativa honesta. CV= coeficiente de variación.

No se encontró una clara relación entre las variables de estomas y el intercambio gaseoso, ejemplo de esto son ‘Palma’ y ‘Colín V-33’. ‘Palma’ presentó el mayor diámetro polar de estoma y un bajo índice estomático y frecuencia de estomas. ‘Colín V-33’ presentó el mayor índice estomático, la mayor frecuencia estomática (al igual que ‘Aguilar’ y ‘HxP 5’) y el menor diámetro polar de estoma (junto con ‘Fuerte’ y ‘Hass’). Ambos cultivares, a pesar de presentar grandes diferencias en variables estomáticas (Figura 1.1), presentaron bajos valores en cuanto a la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y conductancia estomática. De la misma manera, ‘Fuerte’ y ‘HxP 5’, que presentaron valores altos en variables de intercambio de gases, contrastan en cuanto a las variables estomáticas, (Cuadro 1.1 y Cuadro 1.2).

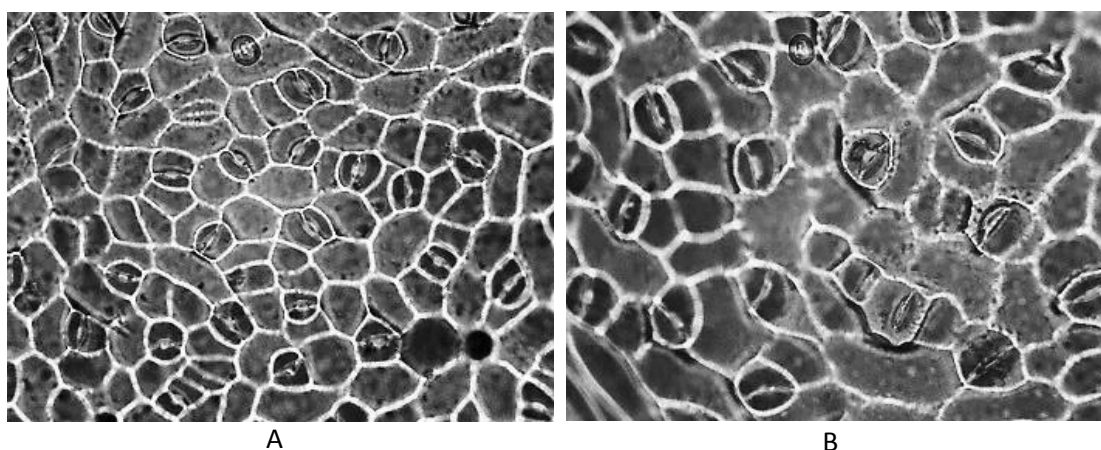


Figura 1.1. Estomas en hoja de los cultivares de aguacate. A) ‘Colín V-33’ y B) ‘Palma’ (40x de objetivo y 10x de ocular). Escala 136:1.



Cuadro 1.2. Variables de estomas en genotipos de aguacate.

Genotipo	Diámetro polar de estoma ( $\mu\text{m}$ )	Índice estomático (%)	Frecuencia estomática (estomas $\cdot\text{mm}^{-2}$ )	Frecuencia de células epidérmicas (células $\cdot\text{mm}^{-2}$ )
‘Aguilar’	15.10 bcd <sup>z</sup>	24.47 d	665.24 a	2080.12 a
‘Colín V-33’	13.50 ef	30.78 a	672.39 a	1512.16 c
‘Encinos’	13.56 ef	26.68 bcd	497.85 b	1376.25 cd
‘Fuerte’	13.26 f	26.99 bc	386.27 d	1057.22 ef
‘Fundación II’	14.28 de	24.63 cd	469.24 bc	1433.48 c
‘Hass’	13.93 ef	25.49 bcd	463.52 bc	1361.95 cd
‘HxP 5’	15.29 bc	26.28 bcd	618.03 a	1752.50 b
‘HxP 126’	15.49 b	27.53 b	326.18 e	861.23 f
‘Palma’	17.51 a	24.43 d	379.11 de	1218.88 de
‘Pionero’	14.28 de	25.63 bcd	465.50 bc	1357.60 cd
‘Pinkerton’	15.08 bcd	27.89 b	473.53 bc	1232.26 de
‘Méndez No. 1’	14.31 cde	26.84 bcd	432.05 cd	1188.84 de
DMSH	0.99	2.46	58.22	201.11
C.V. (%)	8.03	11.01	14.12	17.36

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de la misma columna no son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ .

DMSH= diferencia mínima significativa honesta. CV= coeficiente de variación.

‘Aguilar’ fue el que mayor frecuencia de células epidérmicas presentó y fue diferente a los demás genotipos. ‘HxP 126’ presentó los valores más bajos en frecuencia estomática, frecuencia de células epidérmicas, grosor de epidermis inferior y parénquima esponjoso, lo cual puede estar relacionado con el bajo intercambio gaseoso determinado en este genotipo.

Para ‘Hass’, ‘Fuerte’ y ‘Colín V-33’ la frecuencia estomática, frecuencia de células epidérmicas, índice estomático y diámetro polar de estoma, en general, no coincide con los valores reportados por Ayala-Arreola *et al* (2010), ya que en el presente estudio el diámetro polar de estoma fue menor, y las otras variables fueron de mayor valor. Lo anterior se puede atribuir a que tanto la frecuencia como el diámetro de los estomas pueden variar en función de la posición foliar, las condiciones de crecimiento y el cultivar (Sánchez-Díaz y Aguirreola, 2008). Ninguna de las variables de estomas se correlacionaron con las variables de intercambio de gases (Cuadro 1.3), lo cual podría deberse a que la frecuencia estomática se determina genéticamente, ejemplo en cítricos la heterosis y el nivel de ploidía tienden a disminuir la frecuencia estomática e incrementar el tamaño de estomas (Costa *et al.*, 2004).

Cuadro 1.3. Coeficientes de correlación de Pearson entre variables de intercambio de gases y anatomía de hoja de aguacate (n=180).

	Asimilación de CO <sub>2</sub>	Tasa de transpiración	Conductancia estomática
Frecuencia estomática	0.10 ns	0.07 ns	0.20 ns
Frecuencia de células epidérmicas	0.17*	0.13 ns	0.23*
Índice estomático	-0.10 ns	-0.07 ns	-0.05 ns
Diámetro polar de estoma	0.05 ns	0.03 ns	0.07 ns
Grosor de hoja	0.12 ns	0.30*	0.19*
Grosor de cutícula	-0.12 ns	-0.13**	-0.14 ns
Grosor de epidermis superior	0.03 ns	0.06 ns	-0.07 ns
Grosor de parénquima empalizada I	0.13 ns	0.06 ns	0.10 ns
Grosor de parénquima empalizada II	0.11 ns	0.25*	0.15 ns
Grosor de parénquima esponjoso	0.06 ns	0.42**	0.41**
Grosor de epidermis inferior	-0.05 ns	-0.12 ns	-0.02 ns
Área de vaso de vena central	-0.22 ns	-0.21 ns	-0.22 ns
Frecuencia de vasos de vena central	0.23*	0.13 ns	0.16*
Área foliar	0.62**	0.63**	0.61**

\*significativo ( $P \leq 0.05$ ), \*\*altamente significativo ( $P \leq 0.01$ ), ns= no significativo.

Es importante considerar que mayor densidad de estomas puede determinar el desarrollo, ya que a través de los estomas no sólo se lleva a cabo la absorción de CO<sub>2</sub>, sino también la pérdida de agua en el proceso de transpiración, la cual es esencial en la absorción de nutrientes por las raíces, el cierre de estomas reduce la transpiración, pero disminuye el intercambio de CO<sub>2</sub> afectando adversamente a la fotosíntesis (Wang *et al.*, 2007).

‘Fuerte’ presentó el mayor grosor de lámina de hoja, grosor de cutícula, epidermis superior y parénquima esponjoso (Cuadro 1.3); ‘Pinkerton’ obtuvo el mayor grosor de parénquima esponjoso y, junto con ‘Fuerte’, fue el de mayor grosor de hoja (Figura 1.2); ambos genotipos presentaron valores altos en asimilación de CO<sub>2</sub> y transpiración. En el caso del manzano se ha probado que los mayores índices de potencial fotosintético están asociados a un mayor grosor de la hoja, peso específico y número de capas de parénquima en empalizada (Barden, 1978).

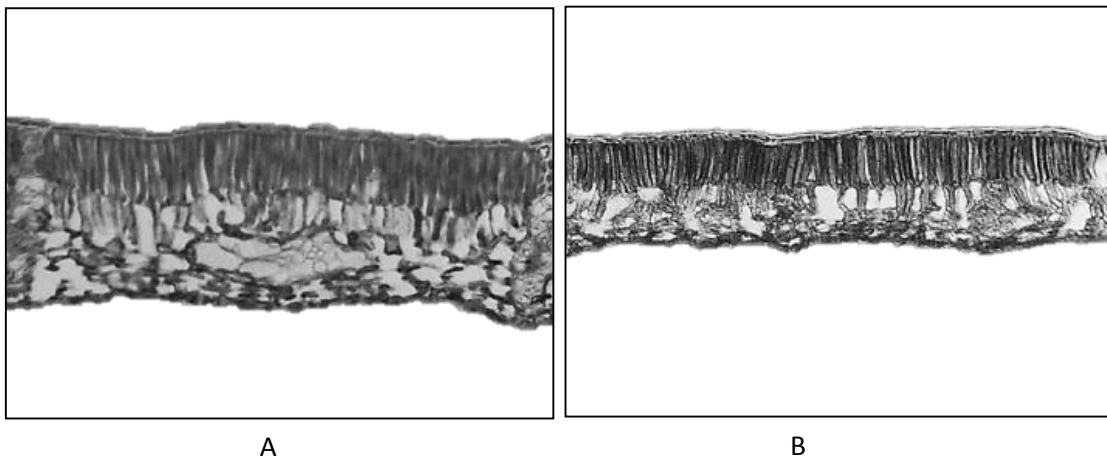


Figura 1.2. Cortes transversales de lámina de hoja de los cultivares de aguacate. A) ‘Pinkerton’ y B) ‘Pionero’ (10x de objetivo y 10x de ocular). Escala 34:1.

Cuadro 1.3. Comparación de medias de algunas variables en hoja de genotipos de aguacate.

Genotipo	GL ( $\mu\text{m}$ )	GC ( $\mu\text{m}$ )	GES ( $\mu\text{m}$ )	GPÉ1 ( $\mu\text{m}$ )	GPE2 ( $\mu\text{m}$ )	GPES ( $\mu\text{m}$ )	GEI ( $\mu\text{m}$ )
‘Aguilar’	181.65 ef <sup>z</sup>	3.34 de	7.83 de	67.47 de	45.18 ab	38.38 d	10.84 d
‘Colín V-33’	222.92 bc	4.21 ab	9.35 cd	88.71 a	41.37 b	53.31 c	12.22 c
‘Encinos’	199.39 de	4.55 a	11.98 b	61.29 ef	44.60 b	51.00 c	9.72 e
‘Fuerte’	233.21 ab	4.61 a	15.09 a	76.00 bc	44.76 b	60.72 a	14.06 b
‘Fundación II’	206.08 cd	3.64 bcd	7.53 de	66.22 de	33.96 c	54.86 bc	9.64 e
‘Hass’	226.98 b	3.65 bcd	11.95 b	74.40 bc	45.91 ab	58.60 ab	11.91 c
‘HxP 5’	171.64 fg	4.63 a	7.50 de	65.66 de	43.10 b	36.48 d	8.19 f
‘HxP 126’	179.81 f	3.03 def	10.48 bc	72.19 cd	44.96 ab	30.62 e	7.10 g
‘Palma’	207.76 cd	2.71 ef	11.92 b	70.74 cd	46.60 ab	53.93 bc	15.39 a
‘Pionero’	160.38 g	4.01 abc	7.20 e	57.97 f	42.58 b	38.21 d	9.63 e
‘Pinkerton’	245.80 a	3.44 cd	8.96 cde	80.55 b	50.04 a	53.99 bc	11.48 cd
‘Méndez No. 1’	171.27 fg	2.58 f	7.87 de	61.44 ef	42.74 b	38.15 d	7.78 fg
DMSH	18.61	0.65	1.95	6.78	5.26	5.19	1.01
C.V. (%)	7.87	14.94	16.90	8.18	10.20	9.31	8.06

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de la misma columna no son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ . DMSH= diferencia mínima significativa honesta. CV= coeficiente de variación. GL= grosor de lámina; GC=grosor de cutícula; GES= grosor de epidermis superior; GPE1= grosor de parénquima en empalizada I; GPE2= grosor de parénquima en empalizada II; GPES= grosor de parénquima esponjoso; GEI= grosor de epidermis inferior.

En aguacate ‘Lamb Hass’ se ha reportado mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y resistencia al ácaro *Persea* (Hoddle, 1998), así como mayor largo, ancho y área del parénquima en empalizada I, comparado con ‘Hass’ y otros genotipos (González-Calderón *et al.*, 2011).

En otras especies se ha encontrado que las dimensiones del mesófilo en empalizada de la hoja está relacionada con su capacidad fotosintética (Wilson y Cooper, 1970). Chartzoulakis *et al.* (2002) encontraron que la anatomía foliar del aguacate es influenciada por condiciones ambientales, como la sequía, donde se observan grandes cambios, sobre todo en el espacio intercelular del parénquima esponjoso y en general en el grosor de la hoja.

En ‘Colín V-33’ se determinó el mayor grosor de parénquima en empalizada I, lo cual concuerda con Ayala *et al.* (2010) donde este genotipo, con y sin interinjerto, presentó el mayor grosor de parénquima en empalizada I, lo que podría indicar que es más eficiente desde el punto de vista fotosintético y que posiblemente tenga un comportamiento más constante (Wilson y Cooper, 1970 y Barden, 1978); sin embargo, esto no se reflejó en el presente estudio, ya que este genotipo presentó bajo intercambio gaseoso.

Los genotipos con mayor área transversal de vaso en vena central de hoja presentaron menor frecuencia en dichos vasos y viceversa (Cuadro 1.4), donde ‘Aguilar’ presentó la mayor área transversal de vaso y ‘Fundación II’ la menor (Figura 1.3). Núñez-Colín *et al.* (2006), al estudiar la anatomía de tallo en *Prunus*, determinaron que grupos provenientes de zonas con fuertes déficits hídricos tuvieron características de vasos de xilema grandes, pero en bajas densidades, los cuales se relacionan con un bajo flujo de agua en el sistema de conducción, y son algunos mecanismos indicados como adaptaciones a resistencia a sequía (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002), por lo cual se esperaba que los genotipos evaluados en este estudio con estas características presentarían bajo intercambio gaseoso; sin embargo, esto no se observó claramente.

Cuadro 1.4. Comparación de medias de elementos de vaso de xilema en vena central de hoja y área foliar de diferentes genotipos de aguacate.

Genotipo	Área transversal de vaso en vena central de hoja ( $\mu\text{m}^2$ )	Frecuencia de vasos en vena central de hoja (vasos·mm <sup>-2</sup> )	Área foliar (cm <sup>2</sup> ·planta)
‘Aguilar’	754.35 a <sup>z</sup>	781.35 ef	865.74 cd
‘Colín V-33’	465.26 cd	1005.41 c	648.43 d
‘Encinos’	544.61 bc	742.87 f	1669.92 b
‘Fuerte’	346.19 e	1163.14 b	1894.97 b
‘Fundación II’	326.73 e	1314.08 a	1557.72 b
‘Hass’	567.55 b	752.10 f	1816.30 b
‘HxP 5’	466.69 cd	861.26 de	1911.05 b
‘HxP 126’	408.90 de	1104.64 b	828.60 cd
‘Palma’	515.58 bc	873.09 d	580.29 d
‘Pionero’	716.04 a	736.96 f	1301.70 bc
‘Pinkerton’	534.34 bc	926.37 cd	935.53 cd
‘Méndez No. 1’	475.28 cd	985.56 c	2887.07 a
DMSH	83.13	89.30	616.07
C.V. (%)	13.82	8.09	16.84

<sup>z</sup>Valores con la misma letra dentro de la misma columna no son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ . DMSH= diferencia mínima significativa honesta. CV= coeficiente de variación.

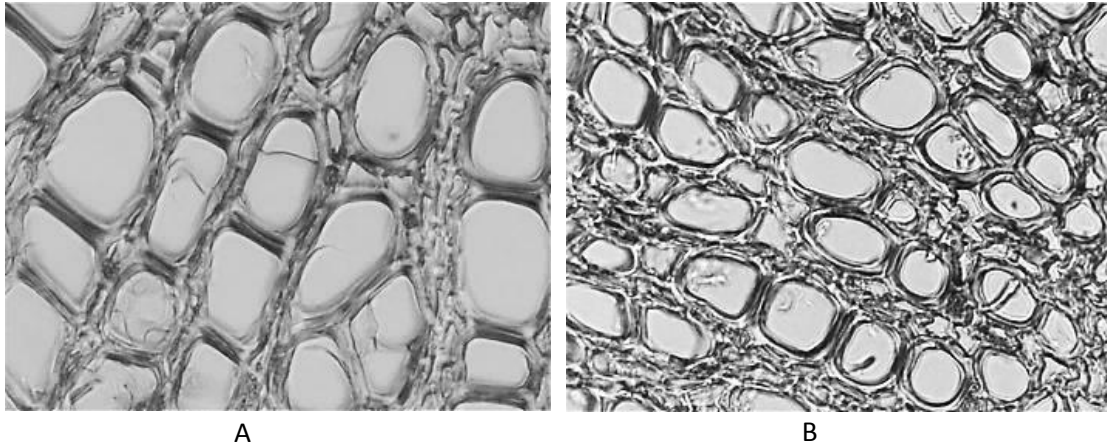


Figura 1.3. Vasos de xilema en vena central de hoja de los cultivares de aguacate. A) ‘Aguilar’ y B) ‘Fundación II’ (40x de objetivo y 10x de ocular). Escala 136:1.

‘Méndez No. 1’ presentó la mayor área foliar y la menor área se obtuvo en ‘Palma’, ‘Colín V-33’, ‘Aguilar’, ‘Pinkerton’ y ‘HxP 126’. Se determinó correlación positiva de área foliar con las variables de intercambio gaseoso (Cuadro 1.3), lo cual es importante considerar ya que el intercambio gaseoso depende del área foliar (Pandey *et al.*, 2007). ‘Méndez No. 1’ fue de los genotipos con mayor intercambio gaseoso y con características anatómicas sobresalientes, siendo muy diferente a ‘Hass’ del cual se originó por mutación (Crane *et al.*, 2013), por lo que es importante determinar su comportamiento fisiológico en diferentes regiones productoras de aguacate, ya que es una alternativa comercial por su calidad de fruto pero con la ventaja de obtener la cosecha antes que ‘Hass’ en México y en otros países. Para el caso de las otras variables no se encontró relación entre las características anatómicas de hoja y la frecuencia estomática, tal como se ha encontrado para otras especies, donde el tamaño pequeño de células superficiales estuvo relacionado con alta tasa fotosintética (Wilson y Cooper, 1970; Nobel *et al.*, 1975).

En este estudio cada genotipo presentó características particulares en hoja; sin embargo, es necesario considerar otros tejidos como el tallo para comprender mejor el intercambio gaseoso, ya que se han encontrado diferencias en la anatomía de vaso de xilema de tallo entre las razas y cultivares en árboles de aguacate (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002).

## CONCLUSIONES

‘HxP 5’, ‘Fuerte’, ‘Méndez No. 1’, ‘Pinkerton’ y ‘Aguilar’ presentaron la mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y conductancia estomática. El área foliar fue la única variable que presentó relación con intercambio de gases de manera positiva en los genotipos de aguacate evaluados.

## LITERATURA CITADA

- Ayala-Arreola, J., A. F. Barrientos-Priego, M. T. Colinas-León, J. Sahagún-Castellanos, J. C. Reyes-Alemán. 2010. Relaciones injerto-interinjerto y características anatómicas y fisiológicas de la hoja de cuatro genotipos de aguacate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(2):147-154.
- Barden, J. A. 1978. Apple leaves their morphology and photosynthetic potential. *HortScience* 13: 644-645.
- Barrientos-Priego, A. F., W. Borys-Michal, C. Trejo, L. López-López. 2003. Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. *Revista Fitotecnia Mexicana* 26:291-299.



- Black, C. C., L. D. Goldstein, T. B. Ray, D. P. Kestler and B. C. Mayne. 1975. The relationship of plant metabolism to internal leaf and cell morphology and the efficiency of CO<sub>2</sub> assimilation: *In*: Burris, R. H. and C. C. Black (eds.). CO<sub>2</sub> Metabolism and plant productivity. University Park Press. Baltimore, USA. pp.113-139.
- Chartzoulakis, K., P. Patakas, G. Kofidis, A. Bosabalidis and A. Nastou. 2002. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Scientia Horticultura* 95:39-50.
- Costa, M. A. P. C., W. A. B. Almeida, F.A.A. Mourao Filho, B. M. J. Mendes, A. P. M. Rodríguez. 2004. Stomatal analysis of citrus somatic hybrids obtained by protoplast fusion. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 39(3):297-300.
- Crane J. H., G. Douhan, B. A. Faber, M. L. Arpaia, G. S. Bender, C. F. Balerdi and A. F. Barrientos-Priego. 2013. Cultivars and rootstocks: *In*: The Avocado Botany, and Uses. B. A. Schaffer, A. W. Whiley and B. N. Wolstenholme (eds.). CAB International Publishing. Oxfordshire, UK. pp: 200-233.
- González-Calderón, V. M., A. F. Barrientos-Priego, C. A. Núñez-Colín, S. P. Ramírez-Ramírez, R. Hofshi y M. L. Arpaia. 2011. Anatomía de la lámina de hoja en ocho cultivares de aguacate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(5):733-744.
- Hoddle, M. S. 1998. Biology and management of the *Persea* mite. California Avocado Society Yearbook 82:75-85.
- Sánchez-Díaz, M., Aguirreolea, J. 2008. Transpiración y movimientos estomáticos, pp. 41-56. *In*: Fundamentos de Fisiología Vegetal. Azcónbieto, J.; Talón, M. (eds.). McGraw-Hill-Interamericana. Barcelona, España. pp:41-56.
- Mickelbart, M. V., R. Miller, S. Parry, M. L. Arpaia and R. Heath. 2000. Avocado leaf surface morphology. California Avocado Society Yearbook 84:139-150.

- Pandey, R., M. Chacko Priya, M. L. Choudhary, K. V. Prasad and P. Madan. 2007. Higher than optimum temperature under CO<sub>2</sub> enrichment influences stomata anatomical characters in rose (*Rosa hybrida*). *Scientia Horticulturae* 113:74-81.
- Nobel P. S., L. J. Zaragoza and W. K. Smith. 1975. Relation between mesophyll surface area, photosynthetic rate, and illumination level during development for leaves of *Plectranthus parviflorus* Hencker. *Plant Physiology* 55: 1067-1070.
- Núñez-Colín, C. A., A. F. Barrientos-Priego, J. E. Rodríguez-Pérez, R. Nieto-Ángel. 2006. Variabilidad anatómica de los sistemas de conducción y estomático de genotipos de *Prunus spp.* de diferentes orígenes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41(2):233-241.
- Reyes-Santamaria, I., T. Terrazas, A. F. Barrientos-Priego, C. Trejo. 2002. Xylem conductivity and vulnerability in cultivars and races of avocado. *Scientia Horticulturae* 92(2):97-105.
- Sass, J. E. 1968. Botanical microtechnique. The Iowa State University Press. Iowa, USA. 227 p.
- Wang, Y., X. Chen, Ch. Xiang. 2007. Stomatal density and bio-water saving. *Journal of Integrative Plant Biology* 49:1435–1444.
- Wilcox, C. D., S. B. Dove, W. M. Doss and D. B. Greer. 2002. UTHSCSA Image Tool. IT version 3.0. Department of Dental Diagnostic Science. University of Texas Health Science Center. San Antonio, USA. 57 p.
- Wilson, D. and J. P. Cooper. 1970. Effect of selection for mesophyll cell size on growth and assimilation in *Lolium perenne* L. *New Phytologist* 69: 233-245.

## **CAPITULO II**

### **INTERCAMBIO DE GASES Y SU RELACIÓN CON ANATOMIA DE TALLO EN DIFERENTES GENOTIPOS DE AGUACATE**

## RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue estudiar las características anatómicas de tallo y determinar su relación con el intercambio de gases en hoja de algunos genotipos de aguacate. El experimento se realizó en condiciones de invernadero en Chapingo, México. Se evaluaron los genotipos: ‘Aguilar’, ‘Colín V-33’, ‘Encinos’, ‘Fundación II’, ‘Fuerte’, ‘Hass’, ‘Méndez No. 1’, ‘Pionero’, ‘Pinkerton’, ‘HxP 5’, ‘HxP 126’ y ‘Palma’, provenientes de la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S. C. Se realizaron cortes transversales de tallo donde se tomaron imágenes digitales, mismas que se analizaron con el programa ImageTool determinándose el área transversal y la frecuencia de vasos de xilema, así como la proporción de xilema, corteza y médula. Se evaluaron con analizador de gases infrarrojo (IRGA) las variables tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, tasa de transpiración y conductancia estomática. Las características anatómicas de tallo que se asociaron fuertemente a un mayor intercambio gaseoso fueron mayor área transversal de vasos de xilema y alta proporción de médula; asimismo, el mayor intercambio gaseoso, se relacionó débilmente a una alta proporción de xilema, baja proporción de corteza y menor frecuencia de vasos de xilema. Los genotipos con bajo intercambio gaseoso presentaron lo opuesto en estas características.

**Palabras clave:** *Persea americana* Mill., elementos de vaso de xilema, anatomía de tallo, asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración.

# **GAS EXCHANGE AND THEIR RELATIONSHIP WITH STEM ANATOMY IN SOME GENOTYPES OF AVOCADO**

## **SUMMARY**

The aim of this research was to study the anatomical stem characteristics and to determine their relationships with the leaf gas exchange in some genotypes of avocado. The experiment was conducted in greenhouse in greenhouse at Chapingo, Mexico. The genotypes evaluated were: 'Aguilar', 'Colín V-33', 'Encinos', 'Fundación II', 'Fuerte', 'Hass', 'Méndez No. 1', 'Pionero', 'Pinkerton', 'HxP 5', 'HxP 126' y 'Palma', from the Salvador Sanchez Colin-CICTAMEX, S.C. Foundation in Coatepec Harinas, State of Mexico. Cross section cuts of the stem were made and digital images were taken, and were analyzed with the ImageTool program, determining: Cross section area, and frequency of xylem vessels, the proportion of xylem, cortex and pith. CO<sub>2</sub> assimilation rate, transpiration rate and stomatal conductance were evaluated by an infrared gas analyzer. Stem anatomical features were strongly associated with higher gas exchange were greater area of xylem vessels and high pith proportion; also higher gas exchange was low associated with high percentage of xylem, low proportion of cortex and lower frequency of xylem vessels. The genotypes with low gas exchange showed the opposite in these features.

**Keywords:** *Persea americana* Mill., xylem vessels, stem anatomy, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration.

## INTRODUCCIÓN

Las características anatómicas del sistema de conducción de agua en las plantas pueden tener un profundo impacto sobre la conductividad hidráulica del árbol. 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).

Las características anatómicas de tamaño de vasos y los porcentajes de xilema y floema, en tallos principales de los 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).

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). Es necesario la descripción de los vasos del xilema para relacionarlo con eficiencia en el transporte de agua en aguacate (Fassio *et al.*, 2009) y conductividad hidráulica (Ayala-Arreola, 2010), con el fin de la posible selección de genotipos más eficientes.

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 CO<sub>2</sub> para ser fijado en la fotosíntesis (Hsiao, 1990).

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 aguacate son variables, así como entre cultivares (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002) y dichas características sean modificadas por el portainjerto o el interinjerto (Ayala-Arreola *et al.*, 2010).

Se necesita más investigación para identificar las características fenotípicas y fisiológicas que pueden ser responsables de las diferencias genotípicas relacionados con las diferentes ecotipos (Fassio *et al.* 2009).

El objetivo de esta investigación fue estudiar las características anatómicas de tallo y determinar su relación con el intercambio de gases en algunos genotipos de aguacate.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

El experimento se realizó en un invernadero y laboratorio ubicado en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, México.

### **Material vegetal**

El material vegetal (varetas) se obtuvo de árboles en producción establecidos en la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S. C., en Coatepec Harinas, Estado de México. Se estudiaron los genotipos: ‘Aguilar’, ‘Colín V-33’, ‘Encinos’, ‘Fuerte’, ‘Fundación II’, ‘Hass’, ‘Pionero’, ‘Pinkerton’, ‘Méndez No. 1’, ‘HxP 5’ y ‘HxP 126’, los cuales tenían 18 meses.

Se utilizó como portainjerto un genotipo criollo de raza mexicana de Teziutlán, Puebla, propagado por semilla. Se evaluaron tres repeticiones de cada genotipo.

## **Intercambio de gases**

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 con un analizador de gases infrarrojo (CID BIO-SCIENCE modelo CI-340) las variables tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, conductancia estomática y tasa de transpiración. Se realizaron cinco mediciones, entre las 10:00 a 12:00 horas, antes del corte de la hoja.

## **Cortes anatómicos en tallo**

Se colectaron los tallos en pleno crecimiento 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 transfirieron a parafina (55 °C), donde 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 micrótopo (Thermo Scientific Modelo HM 325) se realizaron cortes transversales con un grosor de 10 µm, los cuales se montaron en un portaobjeto. Su tinción se realizó con safranina (1g en 100 mL de alcohol etílico 50°) y verde rápido (1 g en 100 mL de alcohol etílico absoluto).

## **Obtención y análisis de imágenes**

Se obtuvieron 15 imágenes digitales por tallo de acuerdo a Meza-Castillo *et al.* (2010). Se utilizó una cámara MotiC 580, con un adaptador de 12 mm adaptada a microscopio Olympus modelo B3 Professional Series® a 10 y 40x de objetivo y 10x de ocular. Se analizaron las imágenes con el programa ImageTool 3.0. Se determinó la frecuencia de vasos de xilema (vasos·mm<sup>-2</sup>), área transversal de vaso de xilema (µm<sup>2</sup>), proporción de xilema, proporción de corteza y proporción de médula.



### **Diseño experimental y Análisis estadístico**

El diseño experimental fue completamente al azar. La unidad experimental consistió en una planta, con tres repeticiones de cada tratamiento, en total fueron 12 tratamientos (genotipos). Se tuvo un total de 36 unidades experimentales. Se realizó pruebas de comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) para cada variable y correlaciones de Pearson con el programa estadístico SAS versión 9.0. Se realizó regresión lineal con el programa SigmaPlot 11.0.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

‘Encinos’ y ‘Colín V-33’ fueron los genotipos que presentaron el menor intercambio gaseoso (Cuadro 2.1). Barrientos-Villaseñor *et al.* (1999) encontraron que ‘Colín V-33’/Raza Mexicana mostró una mayor asimilación de CO<sub>2</sub>, conductancia estomática y tasa de transpiración y fue diferente a ‘Hass’/Raza Mexicana y ‘Hass’/‘Colín V-33’/Raza Mexicana.

Ayala-Arreola *et al.* (2010) no encontraron diferencias para conductancia estomática y tasa de transpiración entre ‘Colín V-33’, ‘Hass’, ‘Fuerte’ y ‘Duke 7’ con portainjertos de raza Guatemalteca; sin embargo, ‘Colín V-33’ presentó menor asimilación de CO<sub>2</sub> que ‘Fuerte’.

Cuadro 2.1. Intercambio de gases en diferentes genotipos de aguacate.

<b>Genotipo</b>	<b>Tasa de asimilación neta de CO<sub>2</sub> (μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Conductancia estomática (μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)</b>	<b>Tasa de transpiración (μmol·m<sup>-2</sup>·s<sup>-1</sup>)</b>
‘Aguilar’	7.49 ab <sup>z</sup>	70.14 ab	2.71 ab
‘Colín V-33’	4.55 cd	39.81 bcd	1.78 cde
‘Encinos’	3.50 d	24.23 d	1.07 e
‘Fuerte’	8.35 ab	79.11 a	2.56 abc
‘Fundación II’	6.32 bcd	47.95 bcd	2.03 bcd
‘Hass’	6.73 abc	69.77 ab	2.31 abcd
‘HxP 5’	9.00 a	74.44 a	3.00 a
‘HxP 126’	5.70 bcd	50.09 abcd	2.14 bcd
‘Palma’	5.77 bcd	53.01 abcd	2.02 bcd
‘Pionero’	4.25 cd	38.84 cd	1.60 de
‘Pinkerton’	7.68 ab	71.77 a	2.85 ab
‘Méndez No. 1’	8.11 ab	68.62 abc	2.54 abc
DMSH	2.73	30.54	0.82
C.V. (%)	22.54	18.12	14.56

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de la misma columna no son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey a una de  $P \leq 0.05$ . DMSH: diferencia mínima significativa honesta. CV: coeficiente de variación.

‘Encinos’ presentó bajo porcentaje de xilema y la menor proporción de médula, así como la menor área transversal de vasos de xilema (Figura 2.1) y alta frecuencia de vasos de xilema. ‘Colín V-33’, que es un genotipo de porte bajo, presentó en tallo la mayor proporción de corteza (característica ligada al porte bajo; López y Barrientos, 1987), así como la menor proporción de xilema y, junto con ‘Encinos’, baja área transversal de vaso y la mayor frecuencia de vasos (Cuadro 2.2). 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.

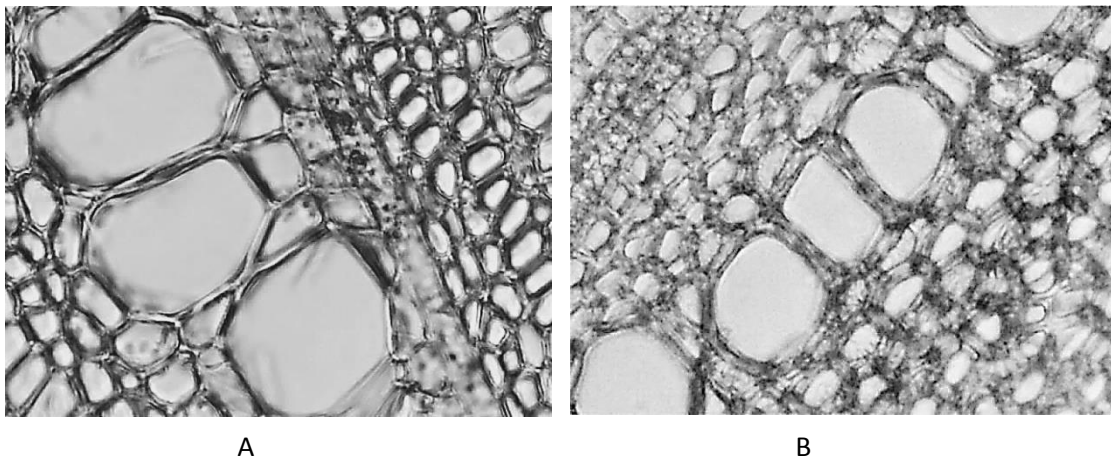


Figura 2.1. Área transversal de vasos de xilema en tallo de los cultivares de aguacate.

A) ‘Méndez 1’ y B) ‘Encinos’ (40x de objetivo y 10x de ocular). Escala 136:1.

Cuadro 2.2. Comparación de medias de variables en tallo de diferentes genotipos de aguacate.

<b>Genotipo</b>	<b>Proporción de corteza (%)</b>	<b>Proporción de xilema (%)</b>	<b>Proporción de médula (%)</b>	<b>Área transversal de vaso de xilema (<math>\mu\text{m}^2</math>)</b>	<b>Frecuencia de vasos de xilema (vasos<math>\cdot\text{mm}^{-2}</math>)</b>
‘Aguilar’	61.30 ab <sup>z</sup>	30.30 f	8.24 bcd	1603.51 bc	97.35 cd
‘Colín V-33’	66.42 a	25.92 f	7.71 cd	989.28 d	133.92 a
‘Encinos’	56.08 bc	38.60 e	5.32 e	984.24 d	130.39 a
‘Fuerte’	37.20 f	46.71 bcd	14.05 a	1426.06 c	85.86 ef
‘Fundación II’	39.16 f	55.23 a	5.58 e	1829.00 ab	69.91 gh
‘Hass’	46.67 de	44.96 bcd	8.04 bcd	1499.84 c	78.84 fg
‘HxP 5’	41.38 ef	49.38 bc	10.01 b	1936.64 a	79.72 fg
‘HxP 126’	42.14 ef	50.61 ab	6.60 de	1372.63 c	90.28 de
‘Palma’	46.61 de	46.20 bcd	6.96 de	2084.10 a	77.69 fg
‘Pionero’	49.50 cd	41.61 de	8.62 bcd	1344.07 c	104.17 bc
‘Pinkerton’	46.11 de	44.78 cd	9.11bc	1519.43 c	111.63 b
‘Méndez No. 1’	40.36 ef	50.32 abc	9.59 bc	2091.50 a	66.63 h
DMSH	6.88	5.74	2.10	291.57	10.16
C.V. (%)	9.18	8.49	16.60	25.63	14.86

<sup>z</sup>Medias con la misma letra dentro de la misma columna no son diferentes de acuerdo a la prueba de Tukey a una de  $P \leq 0.05$ . DMSH: diferencia mínima significativa honesta. CV: coeficiente de variación.

En ‘HxP 5’ y ‘Méndez No. 1’ se determinaron altos valores en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y conductancia estomática, y fueron de los genotipos que presentaron mayor área transversal de vaso de xilema, además en ‘Méndez No. 1’ se observó la menor frecuencia en vasos de xilema (Figura 2.2). En ‘Fuerte’ se obtuvo baja proporción de corteza, alta en médula y alto intercambio gaseoso.

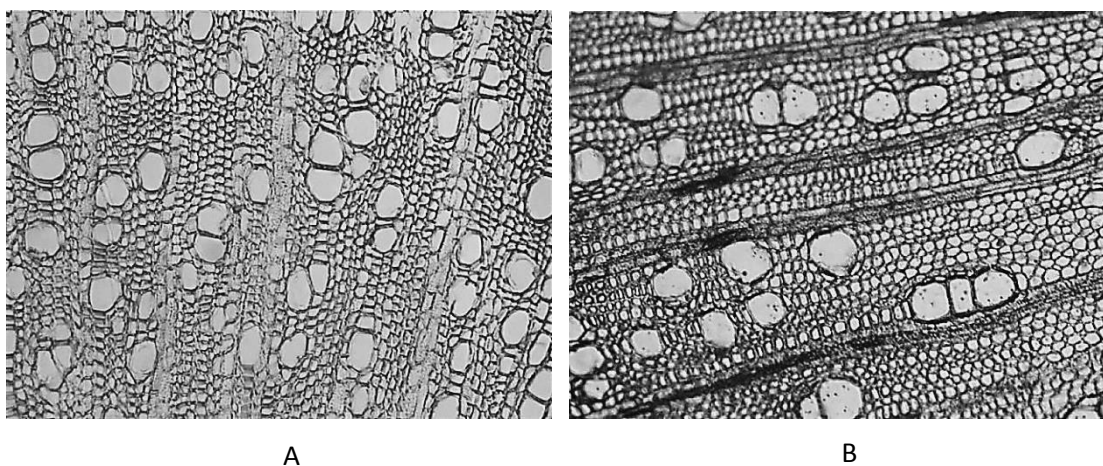


Figura 2.2. Frecuencia de vasos de xilema en tallo de los cultivares de aguacate. A) ‘Colín V-33’ y B) ‘Méndez 1’ (10x de objetivo y 10x de ocular). Escala 34:1.

En este estudio se encontraron grandes diferencias en cuanto a la frecuencia y área de vasos de xilema entre genotipos, lo cual coincide con lo indicado por Reyes-Santamaría *et al.* (2002), que al analizar el sistema de conducción de agua en tres cultivares y razas de aguacate, encontraron diferencias grandes en el número y diámetro de vasos del xilema.

En cuanto a frecuencia y área de vasos de xilema en tallo los resultados de esta investigación son muy diferentes a los valores publicados por Ayala-Arreola *et al.* (2010); sin embargo, ambos estudios coinciden que ‘Hass’ y ‘Fuerte’ presentaron valores similares en estas variables, lo cual quizá sea debido a que ambas características responsables de la conducción de agua son

genéticamente fijas (Bass, 1982) o a su origen, ya que ‘Fuerte’ es un híbrido entre las razas Mexicana y Guatemalteca y ‘Hass’ tiene de 10 a 15 % de genes de la raza Mexicana y el resto de la raza Guatemalteca (Bergh y Ellstrand, 1986) y posiblemente influya también el que ambos cultivares son los más domesticados por el hombre (Ayala-Arreola, 2010). Sin embargo, se ha encontrado que se puede modificar las características anatómicas del xilema por efecto del uso de interinjertos y posiblemente por los portainjertos (Ayala-Arreola *et al.*, 2010)

Los genotipos con mayor intercambio gaseoso mostraron mayor área de vaso y proporción de médula de tallo. La asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y conductancia estomática se correlacionaron de manera positiva y muy alta con el área transversal de vaso de xilema y proporción de médula del tallo (Cuadro 2.3 y Figura 2.3).

Cuadro 2.3. Coeficientes de correlación de Pearson entre variables de intercambio de gases y anatómicas de tallo de aguacate (n=180).

	Asimilación de CO <sub>2</sub>	Tasa de transpiración	Conductancia estomática
Tasa de transpiración	0.95**		
Conductancia estomática	0.93**	0.92**	0.91**
Área transversal de vaso de xilema	0.84**	0.81**	0.79**
Frecuencia de vasos de xilema	-0.34**	-0.22**	-0.37**
Proporción de corteza	-0.50**	-0.44**	-0.34**
Proporción de xilema	0.42**	0.31**	0.27**
Proporción de médula	0.65**	0.67**	0.36**

\*\*altamente significativo ( $P \leq 0.001$ ).

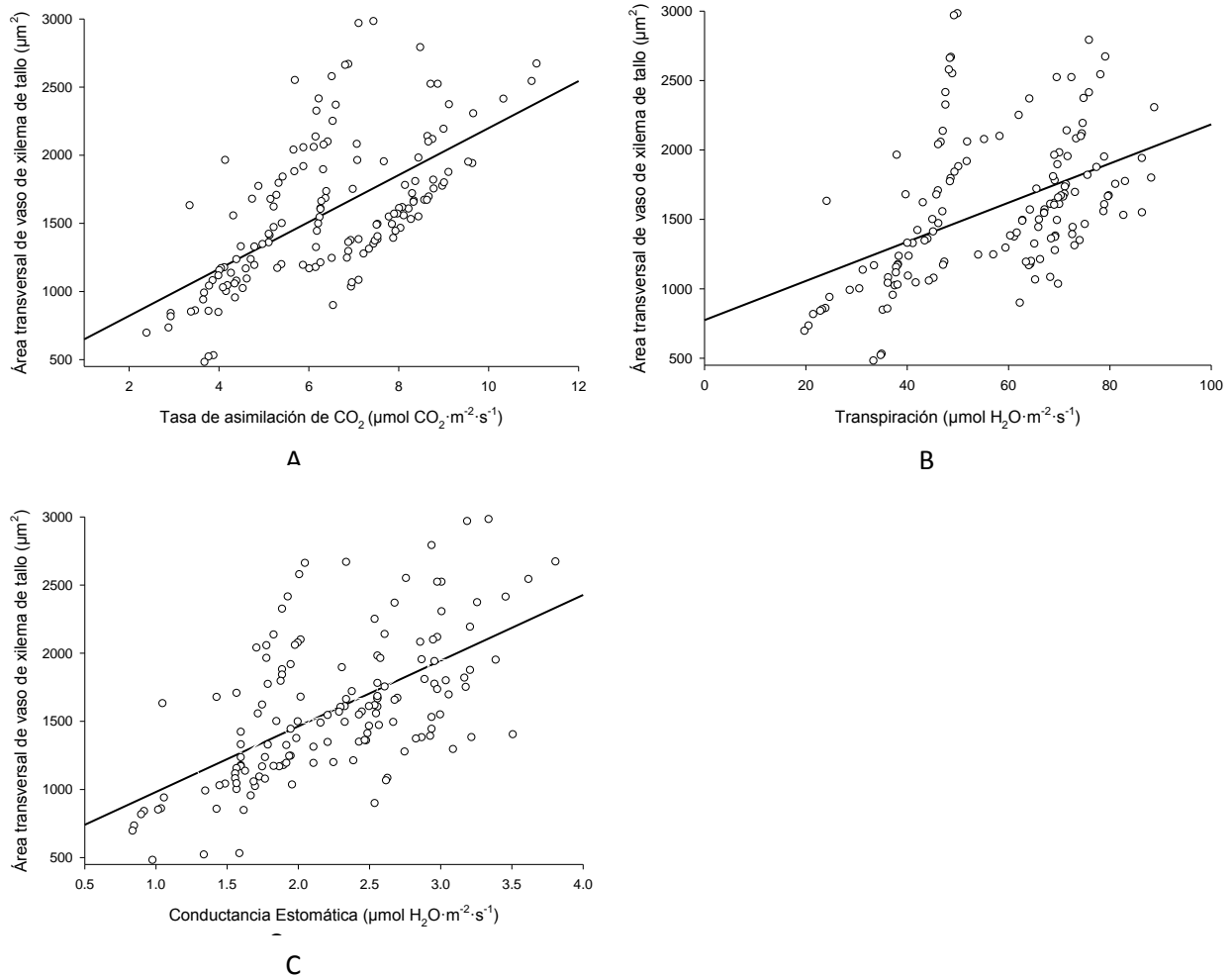


Figura 2.3. Regresión lineal de área transversal de vasos de xilema de tallo de aguacate con: A) tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ , B) transpiración y C) conductancia estomática.

En un estudio de aguacate, el portainjerto ‘Duke 7’ presentó mayor consumo de agua que ‘Toro Canyon’ en árboles no injertados, lo que posiblemente se deba a la mayor área y sección transversal de los vasos en raíces de ‘Duke 7’ lo que puede resultar en un transporte de agua más rápido y de mayor volumen a través del sistema de la raíz (Fassio *et al.*, 2009).

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

Núñez-Colin *et al.* (2006) al analizar duraznos, determinaron que grupos provenientes de zonas con fuertes déficits hídricos tuvieron características de vasos de xilema grandes, pero en bajas densidades, así como bajas proporciones de xilema y floema, y altas de médula; estas características favorecen un bajo flujo de agua en el sistema de conducción, y son mecanismos indicados como adaptaciones a resistencia a sequía (Vasconcellos y Castle, 1994; Reyes-Santamaría *et al.*, 2002).

La proporción de corteza se correlacionó de manera negativa y altamente significativa con las variables de intercambio de gases; sin embargo, dicha correlación es baja de acuerdo a lo que indica Calzada (1970) (Cuadro 2.3). Rieger y Litvin (1999) estudiaron diferentes especies y mostraron el fuerte papel de la corteza en la conductividad hidráulica de la raíz, ya que puede ejercer una resistencia apreciable al flujo de agua en las raíces y las especies con una corteza más amplia tienen una menor conductividad hidráulica de raíz, lo cual podría en parte explicar el bajo intercambio gaseoso que se observó en ‘Colín V-33’, aunque se esperaba que tuviera mayor intercambio gaseoso por tener mayor densidad estomática (Barrientos y Sánchez, 1982) y tal como lo encontraron Barrientos-Villaseñor *et al.* (1999) en condiciones de campo donde ‘Colín V-33’ obtuvo  $6.94 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , mientras ‘Hass’ presentó  $4.28 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ , lo cual fue contrario a lo encontrado en el presente estudio.



Las diferencias anatómicas y fisiológicas encontradas entre genotipos pueden estar relacionadas con la adaptación de estos ecotipos a los diferentes lugares geográficos en su hábitat natural (Fassio *et al.*, 2009).

## CONCLUSIONES

Las características anatómicas de tallo que se asociaron fuertemente a un mayor intercambio gaseoso fueron mayor área transversal de vasos de xilema y alta proporción de médula; asimismo, el mayor intercambio gaseoso, se relacionó débilmente a una alta proporción de xilema, baja proporción de corteza y menor frecuencia de vasos de xilema. Los genotipos con bajo intercambio gaseoso presentaron lo opuesto en estas características.

## LITERATURA CITADA

- Ayala Arreola, J. 2010. Relaciones injerto-interinjerto en algunos aspectos fisiológicos y anatómicos de cuatro genotipos de aguacate. Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura, Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 106 p.
- Ayala-Arreola, J.; Barrientos-Priego, A. F.; Colinas-León, M. T.; Sahagún-Castellanos, J.; Reyes-Alemán, J. C. 2010. Relaciones injerto-interinjerto y características anatómicas y fisiológicas de la hoja de cuatro genotipos de aguacate. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 16(2): 147-154.
- Barrientos Pérez, F.; Sánchez Colín, S. 1982. Height variability obtained from a new dwarf avocado population. *California Avocado Society Yearbook* 66: 155-160.

- Barrientos-Villaseñor, A.; Barrientos-Priego, A. F.; Rodríguez-Pérez, J. E.; Peña Lomelí, A.; Muñoz-Pérez, R. 1999. Influencia del interinjerto 'Colín V-33' sobre algunos aspectos fisiológicos en aguacatero (*Persea americana* Mill.). Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 103-116.
- 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.
- 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. *Journal of Pomology and Horticulture Science* 17: 141-149.
- Bergh G., P.; Ellstrand, N. 1986. Taxonomy of avocado. *California Avocado Society Yearbook* 70: 135-145.
- Calzada Benza, J. 1970. *Métodos Estadísticos para la Investigación*. Editorial Jurídica. Lima, Perú. 643 p.
- Canny, M. 2001. Contributions to the debate on water transport. *American Journal of Botany* 88: 43-46.
- Fassio, C.; Heath, R.; Arpaia, M., L.; Castro, M. 2009. Sap flow in 'Hass' avocado trees on two clonal rootstocks in relation to xylem anatomy. *Scientia Horticulturae* 120: 8-13.

- 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.
- Karam, G. 2005. Biomechanical model of the xylem vessels in vascular plant. *Annals of Botany* 95: 1179-1186.
- López Jiménez, A.; Barrientos Priego, A. 1987. Selection of dwarfing rootstocks of avocado (*Persea americana* Mill.). I. Studies of bark:xylem relationship in trunks of cv. Colín V-33 seedlings. *California Avocado Society Yearbook* 71: 225-234.
- Meza-Castillo, E.; Barrientos-Priego, A. F.; Rodríguez-Pérez, J. E.; Reyes-Santamaría, M. I. 2010.. Determinación de tamaño de muestra de características del xilema de brote de aguacate mediante remuestreo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 45(12): 1531-1535.
- Núñez-Colín, C. A.; Barrientos-Priego, A. F.; Rodríguez-Pérez, J. E.; Nieto-Ángel, R. 2006. Variabilidad anatómica de los sistemas de conducción y estomático de genotipos de *Prunus* spp. de diferentes orígenes. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41(2): 233-241.
- Olmstead, M.; Lang, S.; Ewers, F.; Owens, S. 2006. Xylem vessel anatomy of sweet cherries grafted onto dwarfing and non dwarfing rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 131: 577-585.
- Peszlen, I. 1994. Influence of age on selected anatomical properties of *Populus* clones. *IAWA Journal* 15: 311-321.
- 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.

- Rieger, M.; Litvin P. 1999. Root system hydraulic conductivity in species with contrasting root anatomy. *Journal of Experimental Botany* 50: 201–209.
- Steudle, E. 2000. Water uptake by roots: effects of water deficit. *Journal of Experimental Botany* 51(350): 1531-1542.
- Vasconcellos, L.A.B.C.; Castle, W.S. 1994. Trunk xylem anatomy of mature healthy and blighted grapefruit trees on several rootstocks. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 119: 185-194.

## CONCLUSIONES GENERALES

‘HxP 5’, ‘Fuerte’, ‘Méndez’, ‘Pinkerton’ y ‘Aguilar’ presentaron la mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración y conductancia estomática.

El área foliar fue la única variable que presentó relación con intercambio de gases de manera positiva en los genotipos de aguacate evaluados.

Las características anatómicas de tallo que se asociaron a un mayor intercambio gaseoso fueron mayor área transversal de vasos de xilema y alta proporción de médula; asimismo, el mayor intercambio gaseoso, se relacionó débilmente a una alta proporción de xilema, baja proporción de corteza y menor frecuencia de vasos de xilema. Los genotipos con bajo intercambio gaseoso presentaron lo opuesto en estas características.