

Enseñar la explotación de la tierra, no la del hombre

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO**



**DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA  
INSTITUTO DE HORTICULTURA**

F  
2999  
C2

**ANATOMÍA DE LA HOJA DE SEGREGANTES DE  
AGUACATE 'COLÍN V-33' Y SU RELACIÓN CON EL  
INTERCAMBIO DE GASES**

**VÍCTOR MANUEL GONZÁLEZ CALDERÓN**



DIRECCION GENERAL ACADEMICA  
DEPTO. DE SERVICIOS ESCOLARES  
OFICINA DE EXAMENES PROFESIONALES

**T E S I S**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

CHAPINGO, MÉXICO, DICIEMBRE DEL 2007.



Instituto de Horticultura



**BIBLIOTECA**

**ANATOMIA DE LA HOJA DE SEGREGANTES DE AGUACATE 'COLÍN V-33'  
Y SU RELACIÓN CON EL INTERCAMBIO DE GASES**

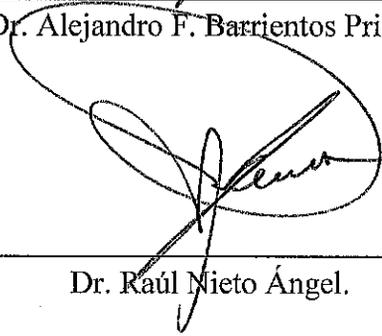
Tesis realizada por **Víctor Manuel González Calderón**, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobado por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA**

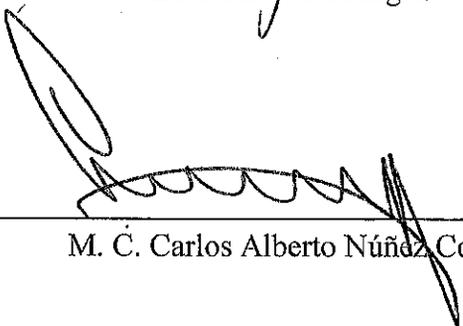
Director: \_\_\_\_\_

  
Dr. Alejandro F. Barrientos Priego.

Asesor: \_\_\_\_\_

  
Dr. Raúl Nieto Ángel.

Asesor: \_\_\_\_\_

  
M. C. Carlos Alberto Núñez Colín.

Chapingo, México. Diciembre de 2007

## **DATOS BIOGRÁFICOS**

El autor de la presente tesis, Víctor Manuel González Calderón, Ingeniero Agrónomo especialista en Fitotecnia, es originario de la ciudad de México, lugar donde nació el 30 de Mayo de 1976. La educación media superior la realizó en el Centro Universitario de Educación Media Superior (CUEMS), incorporada a la Universidad Autónoma del Estado de México, en la ciudad de Texcoco de Mora entre los años de 1992 a 1996, cursó el Propedéutico de Preparatoria Agrícola en el Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo entre los años de 1998 y 1999, los estudios de licenciatura los llevó a cabo en el Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo entre los años de 1999 a 2003. Titulándose el día 19 de Noviembre del 2004 con el trabajo de tesis titulado “Anatomía de hoja de ocho cultivares de aguacatero (*Persea americana* Mill.)”, obteniendo un veredicto en el examen profesional de “aprobado por unanimidad”. Desde su egreso ha asesorado dos tesis de licenciatura.

## AGRADECIMIENTOS

A **Dios**, por permitirme cumplir una de las metas más importantes de mi vida y el sentir que siempre está conmigo.

A **mi Madre**, por estar siempre presente en momentos difíciles y de dicha, así como por su apoyo, paciencia y consejos, sin ti nunca hubiera podido enfrentar los retos que me ofrece la vida.

A la **Universidad Autónoma Chapingo**, por darme la oportunidad y satisfacción de continuar con mi preparación académica.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)**, por el apoyo económico para la obtención de este grado.

Al **Dr. Alejandro F. Barrientos Priego**, por permitirme participar con él en esta investigación, por su amistad, confianza, apoyo y asesoría brindada en el aspecto académico, laboral y personal.

Al **Dr. Raúl Nieto Ángel**, por sus observaciones en este trabajo y su apoyo.

Al **M. C. Carlos Alberto Núñez Colín**, por su ayuda en la realización de este trabajo y por su amistad brindada.

A los profesores del Posgrado en Horticultura, por compartir sus conocimientos y amistad durante mi estancia en la institución.

A mis compañeros de posgrado, tanto de maestría como de doctorado, por la diversión y su ayuda en los momentos difíciles.

## DEDICATORIAS

A mis padres **Aurora** y **Víctor Manuel**, por su apoyo, comprensión, confianza y ejemplo a seguir.

A mis hermanos **Isbén**, **Felipe** y **Gabriela**, por apoyarme siempre e impulsarme hacia la superación.

A mis hermanos **Víctor**, **Carlos** y **Jazmín**, por aceptarme como parte de su vida y que sigamos teniendo la relación que tenemos.

A mis sobrinos **Ivonne**, **Nidia**, **Oscar**, **César** e **Isbén** gracias por el cariño que sentimos entre nosotros y porque aprendan a ser una familia unida.

A mi novia **Rossy Nohemi**, por llegar en el momento justo en el que te necesitaba, por ese cariño que nos tenemos, te amo mi niña.

A mis tíos **Berenice** y **Francisco**, y a mis primos **Gustavo**, **Alejandro**, **Ana** y **Ceci**, por ofrecerme su amistad y saber que puedo contar con ustedes.

A mis tíos **Ofelia**, **Magüi**, **Beni** y a todos mis primos, gracias por contarme como uno más de la familia y tenerme cariño sin esperar nada a cambio.

A mi tía **Ofelia** y a mis primos **Martín**, **Daniel** y **Miguel**, gracias por ese gran cariño que me tienen y no dejarme solo en momentos difíciles, además de acercarme más a Dios.

A mi madrina **Chela (†)**, se que estarás disfrutando de mi triunfo desde donde te encuentres, porque también es tuyo.

A la familia **Morales** de la Ciudad de Navojoa, gracias por el recibimiento que me han dado y su amistad desinteresada.

A mis amigos de siempre **Saúl** y **Willie Montiel**, **David Gómez**, **César Gutiérrez**, **Halim Cruz**, **Mariana Santamaría** e **Israel Pescador (†)**.

Al equipo de Basket **Depredadores** por su amistad.

## CONTENIDO

ÍNDICE DE CUADROS	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN GENERAL	xi
ABSTRACT	xii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO	3
III. REVISIÓN DE LITERATURA	4
IV. MATERIALES Y MÉTODOS	9
1. Material vegetal	9
2. Toma de muestras de hojas	9
3. Cortes anatómicos	9
4. Digitalización de imágenes	10

5. Caracteres evaluados	10
6. Análisis de imágenes	11
7. Análisis estadístico	11
V. RESULTADOS	13
Datos de Lámina Foliar y Vena Central	13
Datos de Lámina Foliar, Vena Central y de Variables Morfofisiológicas de Estudios Anteriores	18
VI. DISCUSIÓN	33
VI. CONCLUSIONES	38
VII. LITERATURA CITADA	39

## ÍNDICE DE CUADROS

- Cuadro 1. Valores propios del análisis discriminante canónico de las variables 15  
anatómicas de hojas y su vena central de 48 segregantes de aguacate  
'Colín V-33'.
- Cuadro 2. Estructura canónica total de características anatómicas de hoja y su 16  
vena central de 48 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.
- Cuadro 3. Número de observaciones y porcentaje de clasificación dentro de 18  
grupos formados por las características anatómicas seleccionadas de  
hoja y su vena central de segregantes de aguacate 'Colín V-33', de  
acuerdo a la prueba de sustituciones.
- Cuadro 4. Índices de correlación múltiple de Pearson y su significancia de las 22  
variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas  
de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.
- Cuadro 5. Índices de correlación múltiple de Pearson y su significancia de las 23  
variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas  
de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.
- Cuadro 6. Índices de correlación múltiple de Pearson y su Significancia de las 24  
variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas  
de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.

Cuadro 7. Correlación significativa entre variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.	25
Cuadro 8. Correlación altamente significativa entre variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.	26
Cuadro 9. Correlación altamente significativa entre variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.	27
Cuadro 10. Valores propios del análisis discriminante canónico de las variables anatómicas de hojas, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.	28
Cuadro 11. Estructura canónica total de características anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.	29
Cuadro 12. Número de observaciones y porcentaje de clasificación dentro de grupos formados por las características anatómicas seleccionadas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de aguacate 'Colín V-33'.	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1. Dendograma formado con base a las características anatómicas 13  
seleccionadas de hoja y su vena central de segregantes de aguacate  
'Colín V-33'.
- Figura 2. Pseudo estadístico  $T$  cuadrada para determinar el número de grupos a 14  
formar base a las características anatómicas seleccionadas de hoja y su  
vena central de segregantes de aguacate 'Colín V-33'.
- Figura 3. Distribución en tres dimensiones de los segregantes de aguacate 'Colín 17  
V-33' en el plano factorial del análisis discriminante canónico, de acuerdo  
a las características anatómicas seleccionadas de hoja y su vena central.
- Figura 4. Dendograma conformado en base a las características anatómicas 19  
seleccionadas de hoja y su vena central, así como variables  
morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate  
'Colín V-33'.
- Figura 5. Pseudo estadístico  $T$  cuadrada para determinar el número de grupos a 20  
formar base a las características anatómicas seleccionadas de hoja y su  
vena central, así como variables morfofisiológicas de estudios anteriores  
de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.
- Figura 6. Distribución en tres dimensiones de los 44 segregantes de aguacate 31  
'Colín V-33' en el plano factorial del análisis discriminante canónico,  
de acuerdo a las características anatómicas seleccionadas de hoja, vena  
central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores.

# ANATOMÍA DE LA HOJA DE SEGREGANTES DE AGUACATE 'COLÍN V-33' Y SU RELACIÓN CON EL INTERCAMBIO DE GASES

## RESUMEN

De acuerdo a la literatura, las características anatómicas de la hoja están directamente relacionadas con el intercambio de gases, por lo que estudió este aspecto y se caracterizó la anatomía de la hoja en 48 segregantes del aguacate 'Colín V-33'. Para lo cual se realizaron cortes anatómicos transversales de lámina foliar, incluyendo vena central, donde se evaluaron características de estratos y de células en particular de parénquima en empalizadas I y elementos de vaso del xilema. Se utilizaron métodos de análisis estadístico multivariantes y de correlación. Se encontró en la estructura canónica, que las variables más importantes de la primera función canónica (FC1) fueron el parénquima en empalizada II, ancho de célula de mesófilo en empalizada I y el área de la célula de mesófilo en empalizada I; para la FC2 fueron el grosor de la epidermis del haz, el área de la nervadura central, el diámetro de la nervadura central, el área del xilema y área del parénquima de la nervadura central; y para el caso de la FC3 fueron el mesófilo en empalizada I, el largo de célula de mesófilo en empalizada I y la relación largo/ancho de célula de mesófilo en empalizada I. Existió la formación de cuatro grupos de acuerdo al análisis de agrupación. En el análisis de correlación donde se incluyeron las variables de intercambio de gases de la hoja, en general no se encontró relación entre estas variables fisiológicas y las características anatómicas de la hoja estudiadas, sin embargo, para se encontró una relación entre la concentración de CO<sub>2</sub> subestomático y el grosor de la epidermis del envés de la hoja.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** mesófilo en empalizada, vena central, variables morfofisiológicas, asimilación de CO<sub>2</sub>, transpiración.

# LEAF ANATOMY OF 'COLIN V-33' AVOCADO SEEDLINGS AND ITS RELATIONSHIP WITH GAS EXCHANGE

## ABSTRACT

According to the literature, anatomical characteristics of the leaf are directly related to gas exchange. This relationship was studied through the characterization of leaf anatomy in 48 avocado seedlings of 'Colin V-33'. Leaf blade transversal sections including the central vein, were obtained. Characteristics of each strata were evaluated and particularly palisade cells of the mesophyll I and vessel elements of the xylem. Multivariate statistical methods and correlation analysis were used. It was found that in the canonical structure the most important variables of the first canonical function (CF1) were thickness of the palisade mesophyll II layer, width of palisade mesophyll I cell and the area of palisade mesophyll I cell. For CF2, the thickness of the upper epidermis, area of the central vein, diameter of the central vein, area of the xylem and parenchyma of the central vein were the most important. In the case of the CF3, the outstanding variables were thickness of palisade mesophyll I, length of palisade mesophyll I cell and length/width ratio of palisade mesophyll I cell. Four groups were formed according to the cluster analysis. In the correlation analysis, where the gas exchange leaf variables were included, in general no relationships were found between the physiological variables and the leaf anatomical characteristics studied. Nevertheless, there was a negative correlation between substomatic CO<sub>2</sub> and lower epidermis thickness.

**ADDITIONAL KEYWORDS:** palisade mesophyll, central vein, morpho-physiological variables, CO<sub>2</sub> assimilation, transpiration.

## I. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.), es uno de los cultivos frutícolas más importantes de México; actualmente ocupa el séptimo lugar en cuanto a importancia económica en el sector agrícola (Ochoa y Ortega, 2002). El fruto de aguacate en la dieta alimenticia para el humano, es una excelente fuente de lípidos, proteínas y minerales, tales como el potasio, siendo superiores en relación a otras frutas, (plátano, manzana, pera, entre otros); también se tienen evidencias que abate el nivel de colesterol en humanos (Bergh, 1992a, b), por eso este fruto está considerado como muy recomendado para el consumo.

La producción comercial del aguacate en México, a pesar de desarrollarse en su hábitat natural, no se ha aprovechado en su máximo potencial como cultivo, principalmente por el manejo de las plantaciones, entre los factores más importantes que influyen en la producción están el tipo de cultivar y el portainjerto adecuado a las condiciones del suelo y el ambiente, así como su interacción (Ben-Ya'acov *et al.*, 1993; Ben-Ya'acov y Michelson, 1995). Por lo anterior actualmente se están desarrollando a nivel mundial programas de investigación para la obtención de cultivares y portainjertos, para enfrentar este problema.

En el caso de los programas de mejoramiento para la obtención de nuevos cultivares, existen como el de la Universidad de California en Riverside, EE.UU.

(Barrientos *et al.*, 2000), el cual en los últimos 30 años ha liberado varios cultivares y puesto a prueba varias selecciones de aguacatero con grandes expectativas (Kremer-Khöne, 1998; Arpaia, 2002).

En el caso cultivar de aguacate del recién liberado 'Lamb Hass', se ha observado que en sus hojas presenta características únicas, tales como una mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (Arpaia, 1999; comunicación personal) y resistencia al ácaro perseo (Hoddle, 1998). Estas características pueden servir de base para la selección de otros cultivares, ya pueden estar relacionadas 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 relacionada con su capacidad fotosintética (Wilson y Cooper, 1970), y es de esperarse que la resistencia de ácaros y de algunos insectos esté también relacionada 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). Por lo anterior es importante conocer las características anatómicas de la hoja en nuevos cultivares de aguacate.

En la presente investigación se planteó como objetivo el de analizar algunos caracteres morfológicos y anatómicos de la hoja de segregantes de aguacate 'Colín V-33' de diferente porte, con la finalidad de conocer y determinar si están relacionados con las características de intercambio de gases de las hojas.

## **II. OBJETIVO**

Analizar algunos aspectos de la morfología y anatomía de la hoja de segregantes de aguacate 'Colín V-33' de diferente porte, con la finalidad de conocer y determinar si están relacionados con las características de intercambio de gases de las hojas.

### III. REVISIÓN DE LITERATURA

México es el primer país productor, consumidor y exportador de aguacate a nivel mundial, registrando una superficie cultivada de 109,672 ha, con un rendimiento de 1,079,724 toneladas (SAGARPA, 2005).

El aguacate es un árbol frutal que como género se caracteriza por presentar gran vigor, por lo que el tamaño alcanzado por la mayoría de los cultivares comerciales llega a ocasionar una expansión excesiva en las plantaciones. Actualmente se tienen algunos cultivares de bajo vigor que no han logrado ser utilizados con éxito comercialmente ('Wurtz', 'Colín V-33', 'Gwen', etc.), los cuales podrían ser utilizados como portainjertos (Ben-Ya'acov *et al.*, 1995), y con esto reducir el porte de los injertos cultivados.

Se han realizado trabajos de investigación sobre aspectos relacionados con el porte del árbol y diversas características del hábito de crecimiento (Barrientos *et al.*, 1983; Barrientos *et al.*, 1996), siendo lo más relevante la relación de la altura del árbol con la densidad estomática de las hojas (Barrientos *et al.*, 1987) y la proporción del área transversal de la corteza del tronco en aguacate (López *et al.*, 1987).

Los espacios de aire de la hoja y los arreglos internos de las células se asocian a la eficacia de las plantas en la asimilación del CO<sub>2</sub> o el intercambio de gases (Black *et al.*, 1975).

La presencia de tricomas, el grosor de las paredes celulares epidérmicas, el grosor de la pared celular externa más cutícula parecen ser rasgos importantes de analizar en las relaciones de adaptación a factores físicos del ambiente (como la regulación de temperatura y disminución de la transpiración), o ante agentes bióticos, tales como patógenos (Jáuregui *et al.*, 1998).

Es de esperarse que la resistencia al ataque de algunos insectos y ácaros en el follaje esté relacionada con el grosor de la cutícula y epidermis de las mismas hojas, así como la presencia de tricomas y de ceras (Mickelbart *et al.*, 2000).

En otras especies se ha encontrado que las dimensiones del parénquima en empalizada de la hoja, está relacionada con su capacidad fotosintética (Wilson y Cooper, 1970).

En el caso de manzano, la penetrabilidad de los productos químicos aplicados tiene que ver con el grosor de la epidermis de la hoja (Beakbane, 1967).

Barden (1971), mencionó que el tamaño de la hoja no tiene efecto sobre la fotosíntesis neta en el manzano.

Robbins *et al.* (1974), indica que existen caracteres estructurales de la hoja que influyen en la cantidad de bióxido de carbono que llega a los cloroplastos. Estos factores incluyen tamaño, posición y comportamiento de los estomas y la cantidad de espacio intercelular. También la intensidad y la calidad de la luz que alcanzan a los cloroplastos, son influenciadas por el grosor de la cutícula y la epidermis, por la presencia de pelos



epidérmicos, la disposición de las células del mesófilo y la posición de los cloroplastos en las células.

Según Black *et al.* (1975), se ha demostrado con genotipos de *Lolium*, que el tamaño de la célula de mesófilo es inversamente proporcional a la asimilación del CO<sub>2</sub>, lo que quiere decir, que la fotosíntesis aumenta mientras el tamaño de la célula disminuye.

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

Diferentes cantidades de cera en la hoja de aguacate y manzano pueden explicar parcialmente diferencias observadas en el intercambio gaseoso en distintos cultivares, debido a la variación en la limitación del movimiento de gases dentro y fuera de la hoja (Mickelbart *et al.*, 2000; Black *et al.*, 1975).

En manzano se puede observar que el diámetro de las células en el plano de la superficie de la hoja es de tres a cuatro veces más grande que el de las células en empalizada, pero el eje vertical de las células en empalizada es de dos a tres veces más largo que el grosor de las células epidérmicas (Ryugo, 1994).

Según Ryugo (1994), las células de parénquima esponjoso se separan, dejando grandes espacios intercelulares y cámaras subestomáticas.

Terashima (1992), mencionó que la presión del CO<sub>2</sub> en el espacio intercelular está afectada por muchos factores, tales como el espesor de la hoja, porosidad en el espacio intercelular, y la actividad fotosintética del mesófilo.

Algunos estudios (López *et al.*, 1987; Reyes-Santamaría *et al.*, 2002) han provocado la inquietud de relacionar características anatómicas con el tamaño del árbol, con la finalidad de proponer indicadores de enanismo en aguacate.

En México se han realizado estudios con 'Colín V-33', utilizándolo como interinjerto (Barrientos *et al.*, 1987). Barrientos *et al.* (1996), demostraron que segregantes de 'Colín V-33', usados como portainjerto, lograron reducciones en altura y diámetro de copa.

En el caso del aguacate recién liberado 'Lamb Hass' se ha encontrado que presenta algunas características únicas en sus hojas como son: mayor tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> (Arpaia, 1999; comunicación personal) y resistencia al ácaro perseá (Hoddle, 1998). Lo anterior podría estar relacionado con aspectos anatómicos de la hoja.

Al evaluar el porcentaje que ocupa el espacio intercelular en hojas de aguacate, se encontró que dos capas de parénquima en empalizada conformaron aproximadamente dos tercios del grosor total de la hoja y se determinó también que hay poco espacio intercelular en el parénquima esponjoso (Sharon *et al.*, 2001). Según 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.

Barrientos *et al.* (1999), indicaron que en aguacate, la fotosíntesis neta depende de la hora del día en que se estime. También mencionaron que la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> varía dependiendo de la etapa fenológica en que se encuentre, así como también la conductancia estomática.

El comportamiento en la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> y la conductancia estomática, es posible que se deba a que la asimilación de CO<sub>2</sub> y en general la fotosíntesis está, en parte, determinada por la conductancia estomática (Scholefield *et al.*, 1985).

## **IV. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **1. Material vegetal**

Se evaluaron 48 árboles segregantes de aguacate 'Colón V-33'; todos ellos de 6 años de edad y establecidos en el Campo Experimental "La Cruz", parcela "El Filtro", perteneciente a la Fundación Salvador Sánchez Colón-CICTAMEX, S. C., ubicado en Coatepec Harinas, Estado de México.

### **2. Toma de muestras de hojas**

Se seleccionaron hojas completamente desarrolladas, sin daños y del crecimiento del mismo año, se tomaron de brotes expuestos al sol y de la parte media del árbol. De los árboles seleccionados se tomaron tres muestras de hoja, las cuales se fijaron en una solución FAA (50 % etanol 96° + 5 % ácido acético glacial + 10 % formaldehído 40 % de pureza + 35 % agua).

### **3. Cortes anatómicos**

Las muestras fijadas en FAA se procesaron en un cambiador automático de tejidos (Tissuematon Fisher), con cellosolve y xileno, para posteriormente transferirse a parafina (a 55 °C) permaneciendo 72 horas dentro de la estufa. Se elaboró el taquete y pirámide de parafina de acuerdo a la metodología propuesta por Sass (1968). En un

micrótomo rotatorio (American Optical modelo 820), con el cual se realizaron cortes transversales en hoja abarcando la vena central con un grosor de 10  $\mu\text{m}$ , mismos que se montaron con adhesivo Haup y formol al 10 % y su tinción fue con safranina y verde fijo (Sass, 1968).

#### **4. Digitalización de imágenes**

A partir de las preparaciones anatómicas realizadas se obtuvieron imágenes digitales a una ampliación de 4, 10 y 40x de objetivo, y 10x de ocular, de acuerdo al requerimiento de cada carácter a evaluar, tanto de la lámina foliar en corte trasversal, como de la vena central de la hoja. Las imágenes se obtuvieron con un microscopio marca Leica modelo Galen III, con adaptación para una cámara Moticam modelo 480, se utilizó el programa Motic Image 2000 ver. 1.3 para capturar las imágenes.

#### **5. Características evaluadas**

En cortes de lámina foliar se evaluó: grosor de la lámina; grosor de cutícula; grosor de la epidermis superior e inferior; grosor de parénquima en empalizada I y II; grosor de parénquima esponjoso; área de espacio intercelular en parénquima esponjoso; diámetro, longitud, y área de células de parénquima en empalizada I; de ahí se generó la relación longitud/diámetro de parénquima en empalizada I.

En el caso de cortes de vena central se evaluó: el área de la vena, diámetro de la vena, área de xilema, área de floema, área de colénquima, área de médula, número de vasos de xilema, perímetro de vaso, área de vaso, diámetro Feret de vaso, índice de

redondez del vaso e índice de compactación del vaso.

Además se tomaron en cuenta características e índices como: tasa de transpiración, conductancia estomática, temperatura de la hoja, asimilación de CO<sub>2</sub>, concentración de CO<sub>2</sub> subestomático, área de la hoja, alargamiento de la hoja, índice de compactación de la hoja, longitud del estoma, índice estomático, las relaciones asimilación de CO<sub>2</sub>/tasa de transpiración, índice estomático/concentración de CO<sub>2</sub> subestomático, y altura de árbol/índice estomático. Todas estas variables fueron tomadas de estudios anteriores en los mismos segregantes y analizadas en conjunto con las obtenidas en este estudio para poder determinar si existe relación de éstas con la eficiencia en intercambio gaseoso.

Se realizaron cuatro observaciones por repetición para lámina foliar y una observación por repetición de vena central, para posteriormente utilizar el promedio de éstas en el análisis estadístico.

## **6. Análisis de imágenes**

De las mediciones de las imágenes digitalizadas se realizó mediante el analizador de imágenes Image Tool ver. 3.00 (Wilcox *et al.*, 2002).

## **7. Análisis estadístico**

Se hizo una matriz básica de datos, la cual se analizó mediante el programa SAS V8. El análisis se realizó se llevó a cabo para los datos obtenidos en el estudio de lamina foliar y vena central, posteriormente se realizó otro análisis incluyendo las

variables morfofisiológicas de estudios anteriores.

Se generaron gráficos representando en plano tridimensional la distribución por similitud de los genotipos, conforme a los dos y tres componentes principales que se formaron.

Para el estudio de la similitud entre los datos de las variables, se generó un dendograma mediante el método de varianzas mínimas de Ward, donde se clasificaron los genotipos por su similitud (Ward, 1963).

Se realizó un análisis discriminante canónico (ADC) para comparar los diferentes segregantes y observar las variables que expliquen de mejor manera la variabilidad entre grupos.

Primeramente se realizó la correlación múltiple de Pearson para ver la relación entre variables.

## V. RESULTADOS

### Datos de Lámina Foliar y Vena Central

El dendograma generado (Figura 1), concordó con los grupos formados del análisis discriminante canónico. El número de grupos se determinó de acuerdo al pseudo estadístico T cuadrada, lo cual confirma nuevamente el agrupamiento generado (Figura 2).

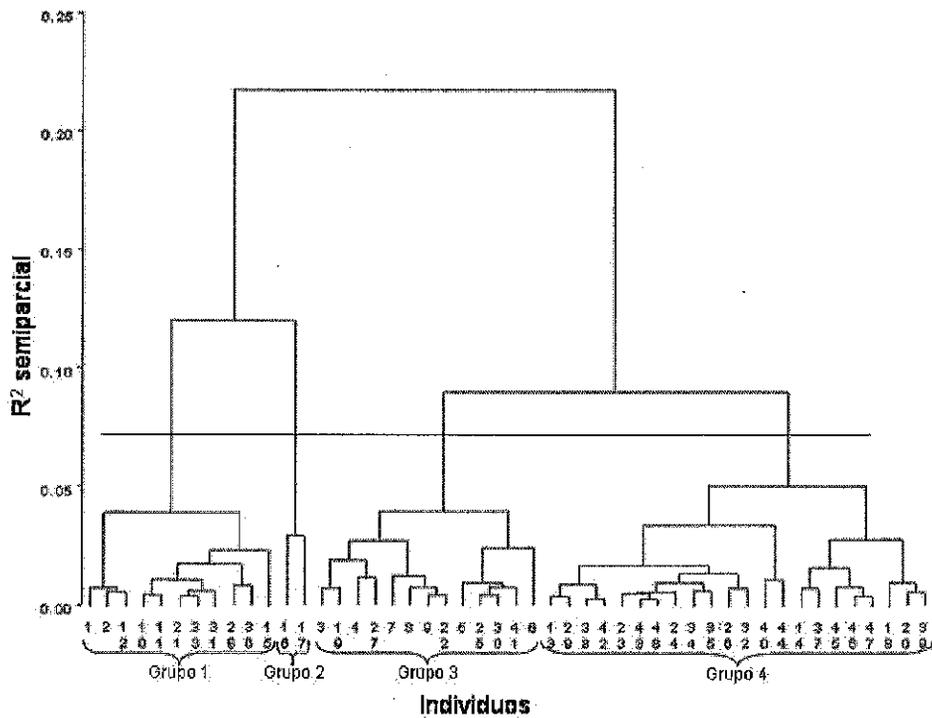
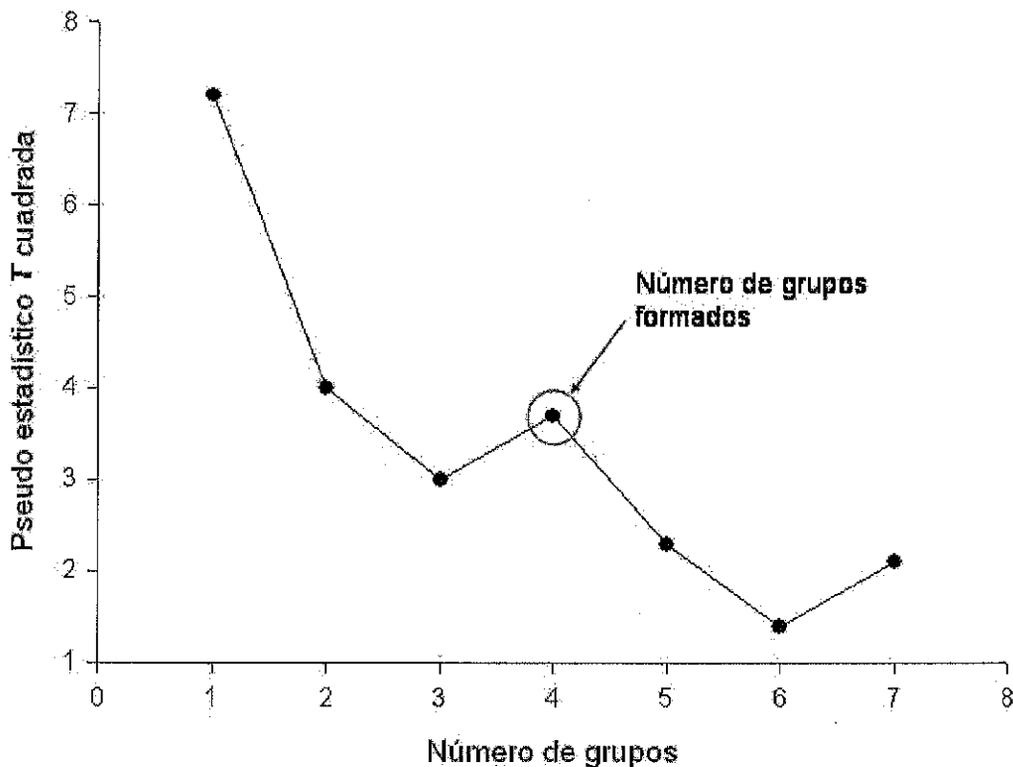


Figura 1. Dendograma formado con base a las características anatómicas seleccionadas de hoja y su vena central de segregantes de aguacate 'Colín V-33'.



**Figura 2. Pseudo estadístico  $T$  cuadrada para determinar el número de grupos a formar base a las características anatómicas seleccionadas de hoja y su vena central de segregantes de aguacate 'Colín V-33'.**

En el dendograma obtenido (Figura 1), se pudo observar que se forman inicialmente dos grandes grupos, los cuales comparten características relacionadas con el grosor del parénquima en empalizada I, el área de la vena central y el área del xilema. Posteriormente se formaron cuatro grupos, los cuales comparten características como son el grosor del parénquima en empalizada II, el grosor de la epidermis del envés, el largo y el ancho del parénquima en empalizada I, el área del parénquima en empalizada I y el área del colénquima.

## **Análisis discriminante canónico (ADC)**

Las funciones canónicas más significativas y que mayor varianza aportaron fueron: la primera que aportó el 68.31 % de la varianza acumulada, la segunda el 18.36 %, acumulando el 86.67 % de la varianza y la tercera el 13.33 % que suma el 100 % de la varianza acumulada, siendo las primeras dos funciones canónicas las que más aportaron a este análisis (Cuadro 1).

**Cuadro 1. Valores propios del análisis discriminante canónico de las variables anatómicas de hojas y su vena central de 48 segregantes de aguacate 'Colón V-33'.**

<b>Función Canónica</b>	<b>Eigenvalor</b>	<b>Varianza Explicada</b>	<b>Varianza Acumulada</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
1	18.5473	0.6831	0.6831	6.37	<0.0001
2	4.9848	0.1836	0.8667	4.07	<0.0001
3	3.6195	0.1333	1.0000	3.78	0.0012

Se observó en la estructura canónica, que las variables más importantes de la primera función canónica (FC1) fueron el grosor de capa de parénquima en empalizada II, ancho de célula de parénquima en empalizada I y el área de la célula de parénquima en empalizada I; en el caso de las variables más importantes de la segunda función canónica (FC2) fueron el grosor de la epidermis del haz, el área de la vena central, el diámetro de la vena central, el área del xilema y área del colénquima de la vena central; y para el caso de la tercera función canónica (FC3), las variables que la definieron fueron el parénquima en empalizada I, el largo de célula de parénquima en empalizada I y la relación largo/ancho de célula de parénquima en empalizada I (Cuadro 2).



**Cuadro 2. Estructura canónica total de características anatómicas de hoja y su vena central de 48 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.**

<b>Caracteres generales</b>	<b>FC1</b>	<b>FC2</b>	<b>FC3</b>
Grosor de hoja	0.341999	-0.319970	0.113502
Grosor de epidermis haz	0.069009	<b>0.446469</b>	-0.299925
Grosor de empalizada I	0.360833	-0.373776	<b>0.660506</b>
Grosor de empalizada II	<b>0.670216</b>	-0.336799	0.211539
Grosor de parénquima esponjoso	0.282650	-0.000136	0.046775
Grosor de epidermis envés	0.573553	0.278974	0.034514
Grosor de cutícula	0.164278	0.114882	-0.295837
<b>Célula de parénquima en empalizada I</b>			
Largo de célula (L)	0.365868	-0.376275	<b>0.643357</b>
Ancho de célula (A)	<b>0.814471</b>	-0.246102	0.082915
Relación L/A	-0.140249	-0.254696	<b>0.620415</b>
Área	<b>0.728465</b>	-0.324082	0.466561
<b>Parénquima esponjoso</b>			
Espacio intercelular	0.440827	0.243101	-0.220386
<b>Vena central</b>			
Área	0.634675	0.412382	0.464835
Diámetro	0.602851	<b>0.427886</b>	0.522917
Área de xilema	0.521285	<b>0.434340</b>	0.532136
Área de floema	0.522691	0.248670	0.577105
Área de colénquima	0.610319	<b>0.436388</b>	0.480064
Área de médula	0.462076	0.365208	0.423787
<b>Xilema de la vena central</b>			
Número de vasos	0.234899	0.222300	0.569679
Perímetro de vaso	0.261304	0.394075	0.390339
Área de vaso	0.290395	0.368019	0.446556
Diámetro Feret de vaso	0.237959	0.382596	0.424627
Índice de redondez de vaso	-0.041192	-0.285147	-0.295726
Índice de compactación	-0.241953	-0.301658	-0.330831

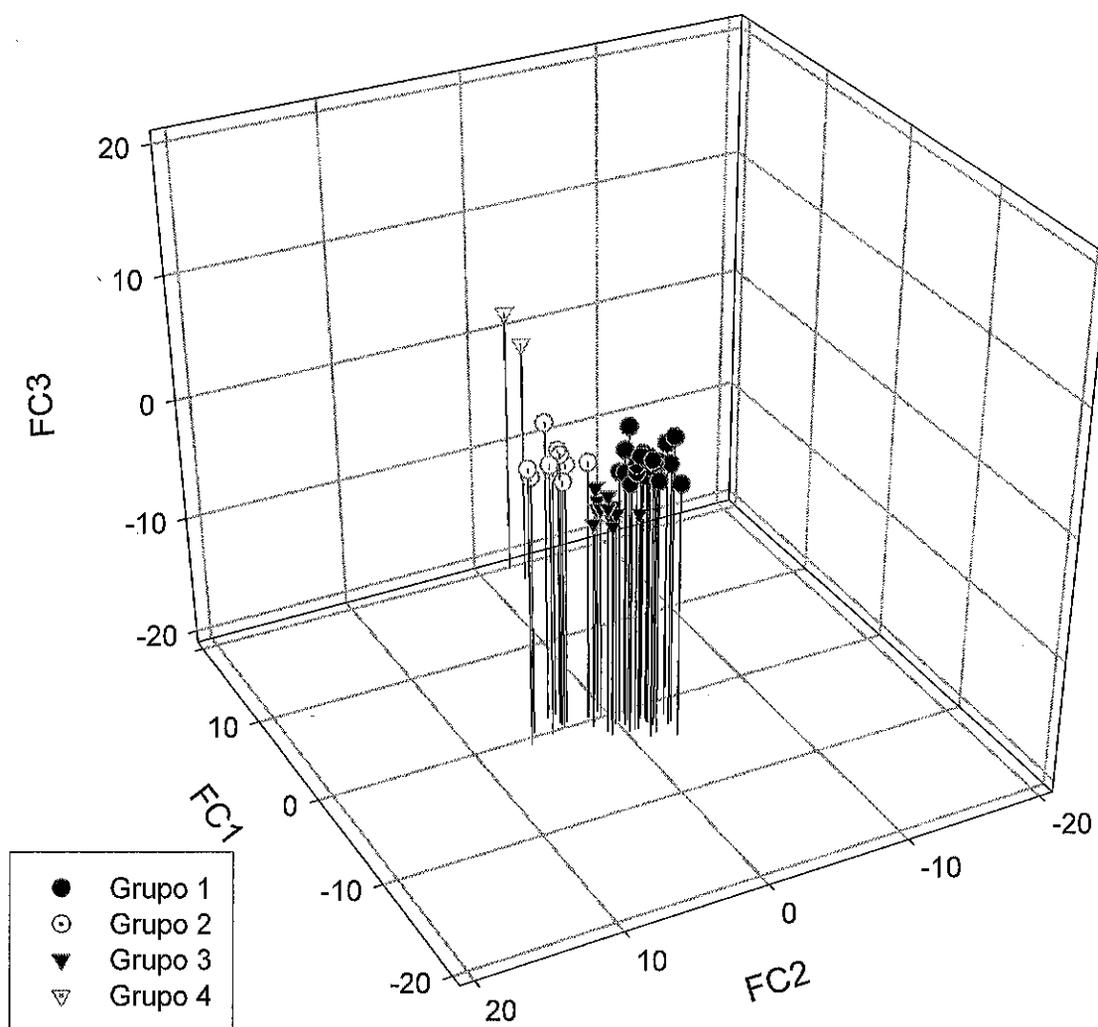
FC: Función canónica

La primera función canónica estuvo definida por el grosor de la capa de parénquima en empalizada II, ancho de célula y área de célula en empalizada I.

La segunda función canónica fue definida por el grosor de la epidermis del haz, el área de la vena central, diámetro de vena central, área del xilema y área del colénquima.

La tercera función canónica estuvo definida por el grosor de la capa de empalizada I, largo de célula y relación largo/ancho de célula de parénquima en empalizada I.

La representación gráfica de los grupos en un plano factorial dio como resultado la distribución de estos mismos en el espacio en las tres funciones canónicas (FC1, FC2 y FC3) (Figura 3).



**Figura 3. Distribución en tres dimensiones de los segregantes de aguacate 'Colín V-33' en el plano factorial del análisis discriminante canónico, de acuerdo a las características anatómicas seleccionadas de hoja y su vena central.**

Todos los individuos estuvieron perfectamente conformados dentro de cada grupo, por lo que no hay elementos fuera de grupo, de acuerdo a la prueba de varianza mínima de Ward (Figura 3 y Cuadro 3).

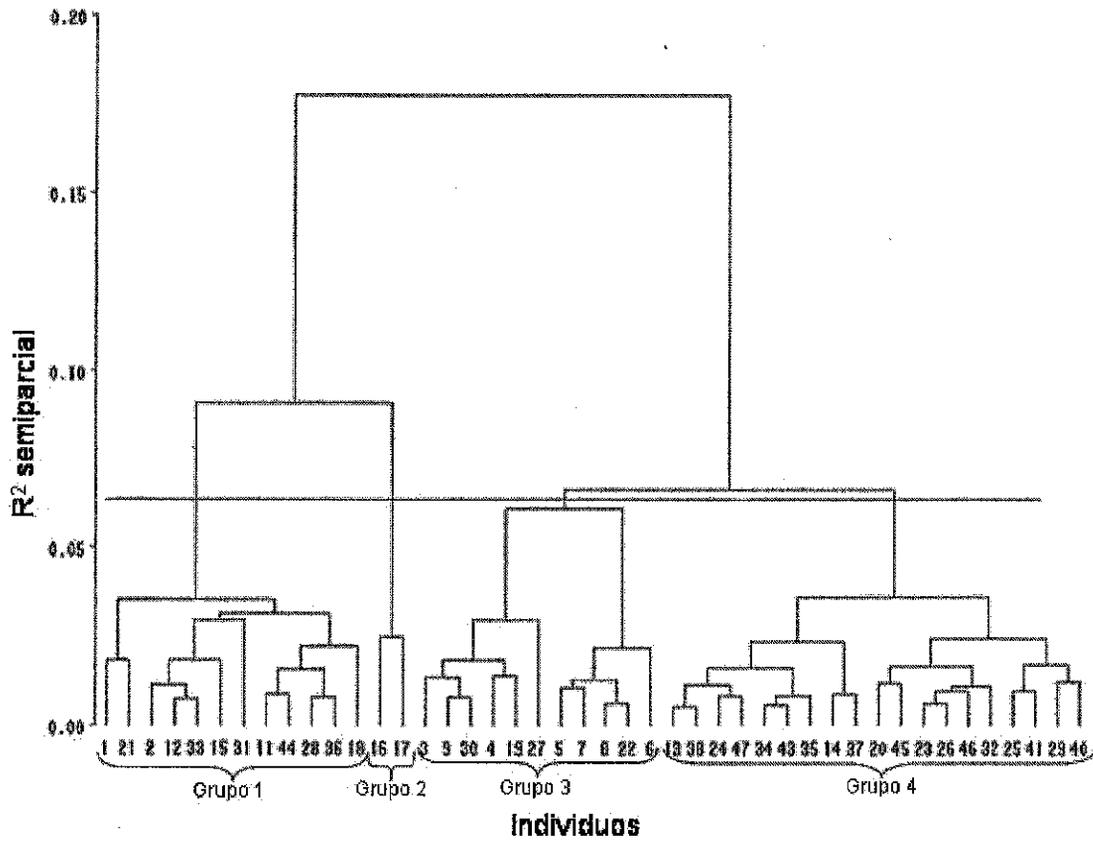
**Cuadro 3. Número de observaciones y porcentaje de clasificación dentro de grupos formados por las características anatómicas seleccionadas de hoja y su vena central de segregantes de aguacate 'Colín V-33', de acuerdo a la prueba de sustituciones.**

Grupo	1	2	3	4	Total
1	22 <sup>z</sup>	0	0	0	22
	100.00 <sup>y</sup>	0.00	0.00	0.00	100.00
2	0	11	0	0	11
	0.00	100.00	0.00	0.00	100.00
3	0	0	13	0	13
	0.00	0.00	100.00	0.00	100.00
4	0	0	0	2	2
	0.00	0.00	0.00	100.00	100.00
<b>Total</b>	<b>22</b>	<b>11</b>	<b>13</b>	<b>2</b>	<b>48</b>
	<b>45.83</b>	<b>22.92</b>	<b>27.08</b>	<b>4.17</b>	<b>100.00</b>

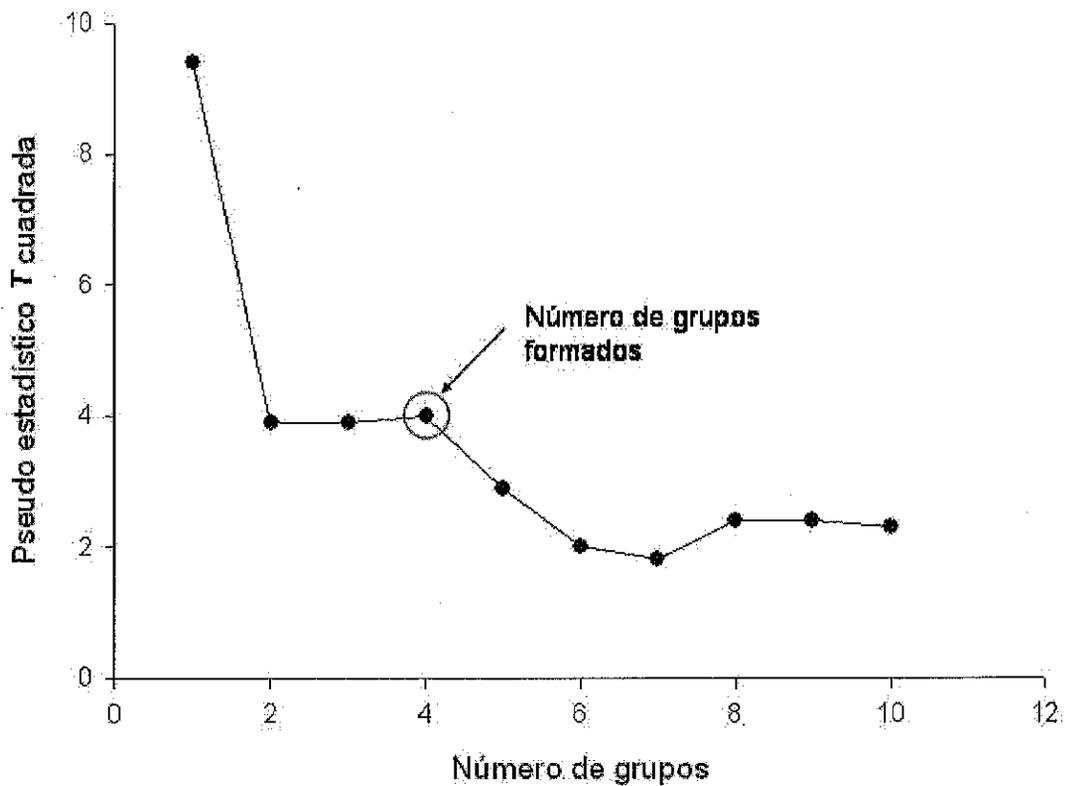
<sup>z</sup> Número de elementos que caen dentro de ese grupo.  
<sup>y</sup> Porcentaje de elementos que están dentro del grupo.

#### **Datos de Lámina Foliar, Vena Central y Variables Morfofisiológicas de Estudios Anteriores**

El dendograma generado (Figura 4), concordó con los grupos formados del análisis discriminante canónico. El número de grupos se determinó de acuerdo al criterio cúbico de agrupamiento (CCC) (Figura 5), lo cual confirma el agrupamiento generado.



**Figura 4. Dendrograma conformado en base a las características anatómicas seleccionadas de hoja y su vena central, así como variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.**



**Figura 5. Pseudo estadístico  $T$  cuadrada para determinar el número de grupos a formar base a las características anatómicas seleccionadas de hoja y su vena central, así como variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.**

En su mayoría, los individuos caen dentro de un mismo grupo en los dos dendogramas generados, con excepción del 25, 41 y 44, esto puede ser debido a que como cambian los componentes principales dándole mayor peso a otras variables, estas variables influyen para que estos genotipos se acomoden en grupos distintos, y son casos muy particulares. Las características por las cuales se reacomodaron los genotipos

fueron: La concentración de CO<sub>2</sub> subestomático, la longitud del estoma y el índice asimilación de CO<sub>2</sub>/tasa de transpiración.

Se realizó un análisis de correlación múltiple de Pearson para determinar la relación existente entre las variables obtenidas en el presente estudio con las de estudios anteriores (Cuadro 4, 5 y 6), se llevó a cabo con sólo 44 segregantes, ya que son los individuos de los que se tenían los datos completos.

Se encontraron algunas correlaciones de interés (Cuadro 7, 8 y 9), como: concentración de CO<sub>2</sub> subestomático y la epidermis del envés; área de la hoja y las dimensiones de la vena central de la hoja; de CO<sub>2</sub>/tasa de transpiración y la epidermis del envés.

**Cuadro 4. Índices de correlación múltiple de Pearson y su significancia de las variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colón V-33'.**

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
1	0.93012 <0.0001**																	
2	0.4663 0.1480 0.83886 <0.0001**	-0.22175																
3	0.29785 0.0496* -0.16488	0.90641 0.1683 0.00675	-0.21144															
4	0.2848 0.24857 0.1037	0.3870 0.15451 0.3166	0.0520 0.12372 0.4237	-0.06683 0.00077 0.08331 0.3908														
5	-0.24221 0.1132 -0.06767	-0.17146 0.2658 -0.15216	-0.05044 0.8445 0.31289	-0.09715 0.5304 0.11455	-0.12259 0.4279 -0.02292													
6	0.6625 0.08392 -0.14132	0.3241 0.22385 0.1191	0.0386* -0.46713 0.0014**	0.4590 0.22328 0.1361	0.8826 0.01902 0.9025													
7	0.5792 0.3602 -0.12858	0.06170 0.6907 -0.00363	0.55977 <0.0001** -0.37906	0.36620 0.0145* 0.19884	0.9025 0.0451* 0.07765													
8	0.4055 0.07746 0.6172	0.9813 0.03946 0.7992	0.112* -0.01283 0.9341	0.1957 -0.07856 0.6122	0.6735 0.26312 0.1976													
9	0.22503 0.1419 -0.27125	0.16399 0.2875 -0.18767	0.03471 0.8230 -0.13805	0.10644 0.4917 0.17717	0.10722 0.4885 -0.06071													
10	0.0749 0.06034 0.6972	0.2225 -0.08864 0.5672	0.3715 0.24126 0.1146	0.2499 0.00994 0.9490	0.6955 -0.15533 0.3140													
11	0.13154 0.3947 -0.07495	0.11279 0.4650 -0.05449	-0.05422 0.12083 -0.11294	0.02106 0.8921 0.00706	-0.34721 0.88006 -0.17253													
12	0.6287 0.07495 -0.07495	0.7253 -0.05449 -0.05449	0.4654 -0.11294 -0.11294	0.9637 0.00706 0.00706	0.6498 0.07039 -0.11202													
13	0.68558 0.77585 <0.0001**	0.68558 0.77585 <0.0001**	0.68558 0.77585 <0.0001**	0.68558 0.77585 <0.0001**	0.68558 0.77585 <0.0001**													
14	0.02302 0.8821 0.05759	0.02302 0.8821 0.05759	0.02302 0.8821 0.05759	0.02302 0.8821 0.05759	0.02302 0.8821 0.05759													
15	0.10320 0.36207 0.54633	0.10320 0.36207 0.54633	0.10320 0.36207 0.54633	0.10320 0.36207 0.54633	0.10320 0.36207 0.54633													
16	0.53138 0.5628 0.0002**	0.53138 0.5628 0.0002**	0.53138 0.5628 0.0002**	0.53138 0.5628 0.0002**	0.53138 0.5628 0.0002**													
17	0.33359 0.26815 0.0269*	0.33359 0.26815 0.0269*	0.33359 0.26815 0.0269*	0.33359 0.26815 0.0269*	0.33359 0.26815 0.0269*													
18	0.36455 0.0150*	0.36455 0.0150*	0.36455 0.0150*	0.36455 0.0150*	0.36455 0.0150*													

(1) Tasa de transpiración; (2) Conductancia estomática; (3) Temperatura de la hoja; (4) Asimilación de CO<sub>2</sub>; (5) Concentración de CO<sub>2</sub> subestomático; (6) Área de la hoja; (7) Índice de alargamiento de la hoja; (8) Índice de compactación de la hoja; (9) Longitud del estoma; (10) Índice estomático (11); Asimilación de CO<sub>2</sub>/tasa de transpiración; (12) Índice estomático/concentración de CO<sub>2</sub> subestomático; (13) Altura/índice estomático; (14) Grosor de hoja; (15) Grosor de epidermis del haz; (16) Grosor de parénquima en empalizada I; (17) Grosor de parénquima en empalizada II; (18) Grosor de tejido esponjoso.

\* Significativo con  $P \leq 0.05$   
\*\* Altamente significativo con  $P \leq 0.01$

Cuadro 5. Índices de correlación múltiple de Pearson y su significancia de las variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfológicas de estudios anteriores de aguacate 'Colín V-33'.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
19	-0.27914	-0.15987	-0.27763	-0.00535	-0.30424	0.19819	-0.28623	0.22762	-0.03236	-0.04653	0.43371	0.14959	-0.27990	0.09470	0.47164	0.27744	0.34134	0.39996
20	0.0665	0.2999	0.0681	0.9725	0.0447*	0.1972	0.0596	0.1375	0.8338	0.7652	0.0031**	0.3331	0.0637	0.5469	0.0012**	0.0683	0.0234	0.0071**
21	-0.17097	-0.08464	-0.24798	-0.02753	-0.14547	-0.12649	-0.22950	0.25043	-0.03840	-0.03840	0.25810	0.05336	-0.00498	-0.07476	0.25330	-0.13740	0.10183	0.35059
22	0.11562	0.3849	0.1046	0.8602	0.3461	0.4132	0.0889	0.1011	0.5778	0.8045	0.0907	0.7211	0.9744	0.6296	0.0905	0.3738	0.5107	0.0196*
23	0.4548	0.06052	0.32500	0.06465	-0.19197	-0.04153	0.03977	-0.12580	0.24585	-0.25812	-0.04842	-0.10445	-0.11966	0.40910	-0.11571	0.93681	0.61303	0.23139
24	-0.03315	0.06287	0.0314*	0.07219	-0.02849	-0.07863	-0.10542	-0.03874	0.06224	0.19056	0.16183	0.16999	0.4391	0.0058**	0.4545	<0.001**	<0.001**	0.1307
25	0.8309	0.6851	0.0448*	0.6414	0.8543	0.6119	0.4958	0.8028	0.6882	0.2153	0.2940	0.2786	0.3237	0.0537	0.05106	0.49394	0.60564	0.21566
26	0.14577	-0.10251	0.55056	0.02858	-0.19148	-0.07131	0.11835	-0.11080	0.23774	-0.57614	-0.15293	-0.19968	-0.02635	0.05317	0.8414	0.0028**	<0.001**	0.1597
27	0.3451	0.5079	0.0001**	0.8524	0.2131	0.9112	0.4441	0.4740	0.1202	0.0119*	0.3217	0.1938	0.8653	0.1350	-0.15557	0.70719	0.27242	0.12601
28	0.06436	0.00274	0.03882	0.08118	-0.11286	-0.02617	-0.08028	-0.07565	0.16357	-0.13515	0.04359	-0.05312	-0.16511	0.45508	-0.05568	<0.001**	0.0736	0.4150
29	0.6781	0.9859	0.8025	0.6004	0.4658	0.8661	0.6045	0.6255	0.2387	0.3818	0.7787	0.7320	0.2841	0.0019**	0.7196	<0.001**	0.1304	0.23156
30	-0.01841	-0.00018	-0.03074	0.11080	-0.23229	0.23777	-0.21165	0.19047	0.02716	-0.14938	0.25758	0.02455	0.01404	0.01548	0.11912	0.05678	0.19003	0.36954
31	0.9036	0.9991	0.8430	0.4740	0.1292	0.1201	0.1678	0.2155	0.8611	0.3332	0.0914	0.8743	0.9279	0.9206	0.4412	0.8127	0.2166	0.36954
32	0.08896	0.11452	-0.14297	0.24123	-0.25788	0.39206	-0.17544	-0.00119	-0.07941	-0.04355	0.30605	0.11420	-0.13522	0.16851	0.04659	0.40161	0.41880	0.21468
33	0.5658	0.4599	0.3545	0.1147	0.0910	0.0088**	0.2347	0.9959	0.6084	0.7789	0.0434*	0.4604	0.3815	0.2742	0.7718	0.0069**	0.0047**	0.1617
34	0.09655	0.11123	-0.12001	0.24828	-0.30800	0.37494	-0.15221	-0.09126	-0.03903	0.00775	0.33430	0.19080	-0.11873	0.13071	0.09427	0.43192	0.44096	0.22764
35	0.5531	0.4722	0.4378	0.1041	0.0420*	0.1232*	0.3240	0.9381	0.8314	0.9602	0.0266*	0.2148	0.4427	0.3977	0.7853	0.0034**	0.0027**	0.1373
36	0.05087	0.04790	-0.06852	0.18862	-0.30896	0.46134	-0.13409	-0.00767	-0.07483	-0.17828	0.31900	0.26538	-0.14196	0.26558	0.02075	0.42486	0.30283	0.09695
37	0.7430	0.7575	0.6585	0.2201	0.0413*	0.0016**	0.3855	0.9606	0.6293	0.2469	0.0386*	0.7374	0.3580	0.0838	0.8936	0.0040**	0.0457*	0.5313
38	0.12631	0.14931	-0.13261	0.24830	-0.17372	0.35010	0.00916	-0.01412	-0.19385	0.24287	-0.05612	0.09827	-0.11732	0.21320	-0.05745	0.43752	0.38470	0.12441
39	0.4139	0.3334	0.3908	0.1038	0.2594	0.0198*	0.2421	0.9350	0.9275	0.2074	0.1122	0.7175	0.4482	0.1647	0.7111	0.0050**	0.0099**	0.4210
40	0.05139	0.07607	-0.19378	0.21507	-0.23874	0.40998	-0.18834	0.02816	-0.07441	-0.03371	0.32201	0.12243	-0.10074	0.15328	0.04303	0.38969	0.41247	0.20207
41	0.7404	0.6236	0.3655	0.1609	0.0899	0.0038**	0.2205	0.8360	0.6312	0.8280	0.0330*	0.4283	0.5153	0.3205	0.7815	0.0089**	0.0054**	0.1884
42	0.08798	0.13469	-0.15096	0.22932	-0.24321	0.38839	-0.23790	0.05696	-0.03406	0.00611	0.28790	0.14376	-0.19102	0.10209	0.04961	0.27706	0.24114	0.05880
43	0.5701	0.3834	0.3280	0.1343	0.1117	0.0091**	0.1199	0.7134	0.8263	0.9686	0.0581	0.3519	0.2142	0.5096	0.7491	0.0687	0.1148	0.7046
44	-0.06622	-0.11578	0.11821	0.05261	-0.47180	0.39440	-0.12332	0.03711	-0.03044	-0.22620	0.30783	0.12199	-0.10352	0.18682	-0.07808	0.36812	0.11301	0.03324
45	0.6693	0.4621	0.4447	0.7345	0.0012**	0.0081**	0.4252	0.8445	0.1398	0.0421*	0.4302	0.4302	0.5037	0.2246	0.6144	0.0140*	0.4652	0.8304
46	0.15472	0.10100	0.08978	0.11703	0.03377	0.45605	-0.19718	0.10514	-0.03135	-0.30059	-0.02449	-0.24988	0.00810	0.10813	0.09279	0.28914	0.10415	0.08606
47	0.3160	0.3142	0.3622	0.4493	0.8277	0.0019**	0.1995	0.4970	0.8400	0.0474*	0.8746	0.1019	0.9584	0.4848	0.5491	0.0570	0.3011	0.5786
48	0.14762	0.11909	0.03643	0.12668	0.05666	0.44128	-0.24092	0.15721	-0.07818	-0.24339	0.00002	-0.21957	0.01131	0.05604	0.07940	0.19646	0.07471	0.09360
49	0.3389	0.4413	0.8144	0.4126	0.7149	0.0027**	0.1152	0.3081	0.1111	0.1111	0.9999	0.1521	0.9419	0.7179	0.6084	0.2012	0.6298	0.5456
50	0.00730	-0.04836	0.17756	-0.06801	0.00660	-0.28793	0.12428	-0.10749	0.14641	-0.16637	-0.11885	0.07228	0.01060	0.03024	0.00324	0.04139	-0.12646	-0.07932
51	0.9625	0.7552	0.2459	0.6609	0.9969	0.0581	0.4215	0.4874	0.3430	0.3233	0.2804	0.4422	0.9456	0.6364	0.9833	0.7897	0.4134	0.6088
52	-0.25037	-0.26976	0.07732	-0.29809	-0.50226	-0.42149	0.21454	-0.15495	0.08912	0.10306	-0.10084	0.11713	0.10485	-0.05882	-0.04821	-0.15145	-0.10578	-0.03657
53	0.1012	0.0766	0.6179	0.0493*	0.7460	0.0044**	0.1618	0.3152	0.5851	0.5056	0.5149	0.4489	0.4982	0.7045	0.7560	0.5264	0.4944	0.8137

(1) Tasa de transpiración; (2) Conductancia estomática; (3) Temperatura de la hoja; (4) Asimilación de CO<sub>2</sub>; (5) Concentración de CO<sub>2</sub> subestomático; (6) Área de la hoja; (7) Índice de alargamiento de la hoja; (8) Índice de compactación de la hoja; (9) Longitud del estoma; (10) Índice estomático; (11) Asimilación de CO<sub>2</sub>/tasa de transpiración; (12) Índice estomático/concentración de CO<sub>2</sub> subestomático; (13) Altura/índice estomático; (14) Grosor de epidermis del haz; (15) Grosor de epidermis del envés; (16) Grosor de parénquima en empalizada I; (17) Grosor de parénquima en empalizada II; (18) Grosor de tejido esponjoso; (19) Grosor de tejido estomático; (20) Grosor de cutícula; (21) Largo de célula del parénquima en empalizada I; (22) Ancho de célula del parénquima en empalizada I; (23) Relación largo/ancho del parénquima en empalizada I; (24) Área de célula del parénquima en empalizada I; (25) Espacio intercelular del tejido esponjoso; (26) Área de la vena central; (27) Diámetro de la vena central; (28) Área del xilema de la vena central; (29) Área del floema de la vena central; (30) Área del colénquima de la vena central; (31) Área de médula de la vena central; (32) Número de vasos del xilema; (33) Área de vaso de xilema de la vena central; (34) Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central; (35) Índice de redondez del vaso de xilema de la vena central; (36) Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central.

\* Significativo con P<0.05  
\*\* Altamente significativo con P<0.01

**Cuadro 6. Índices de correlación múltiple de Pearson y su Significancia de las variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.**

	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
19																		
20	0.29867																	
21	0.0489*	0.29672																
22	0.0505	0.4839	0.39101															
23	0.0062**	0.8563	0.0087**	-0.22567														
24	-0.03471	-0.10879	0.80368	0.1408	0.41629													
25	0.8230	0.4821	<0.001**	0.75478	0.0049**	0.17921												
26	0.50824	-0.05063	0.86273	0.75478	<0.001**	0.2444	0.26224											
27	0.0004**	0.7441	<0.001**	<0.001**	0.09905	0.1180	0.9394	0.97741										
28	0.36530	0.51698	0.08127	0.09905	0.01180	0.17921	0.26224	0.90369	0.87515									
29	0.0148*	0.0003**	0.6000	0.5224	0.9394	0.2444	0.9394	0.90806	0.88519	0.87066								
30	0.36827	0.00279	0.43998	0.38313	0.19765	0.57106	0.26224	0.90806	0.88519	0.87066	0.87066							
31	0.0139*	0.9837	0.0028**	0.0103*	0.1984	<0.001**	0.0855	0.97741	0.97741	0.97741	0.97741	0.84694						
32	0.34996	0.01116	0.46644	0.38160	0.22974	0.57097	0.27700	0.90369	0.90369	0.90369	0.90369	0.83183	0.84694					
33	0.0199*	0.9427	0.0014**	0.0106*	0.1336	<0.001**	0.0687	0.90369	0.90369	0.90369	0.90369	0.83183	0.84694	0.84694				
34	0.31400	-0.09602	0.42794	0.30336	0.22987	0.51827	0.26476	0.90369	0.90369	0.90369	0.90369	0.83183	0.84694	0.84694	0.84694			
35	0.0579*	0.5532	0.0038**	0.0453*	0.1333	0.0003**	0.0824	0.90369	0.90369	0.90369	0.90369	0.83183	0.84694	0.84694	0.84694	0.84694		
36	0.24066	-0.05700	0.46048	0.31501	0.26059	0.55143	0.19142	0.90806	0.90806	0.90806	0.90806	0.83183	0.84694	0.84694	0.84694	0.84694	0.84694	
19	0.1136	0.7132	0.0017**	0.0373*	0.0875	0.0001**	0.2132	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**
20	0.40942	0.03238	0.44790	0.37507	0.21452	0.56679	0.29578	0.96816	0.96816	0.96816	0.96816	0.84694	0.84694	0.84694	0.84694	0.84694	0.84694	0.84694
21	0.0058**	0.8347	0.0023**	0.0121*	0.1624	<0.001**	0.0529	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
22	0.1212	-0.15415	0.29220	0.31086	0.08548	0.43222	0.03334	0.90917	0.90917	0.90917	0.90917	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
23	0.1212	0.3178	0.0543	0.0400*	0.5812	0.0034**	0.8299	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
24	0.07653	-0.22289	0.38321	0.18312	0.27401	0.34912	0.06279	0.69409	0.69409	0.69409	0.69409	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
25	0.6215	0.1459	0.0102*	0.2567	0.0719	0.0202*	0.6879	<0.001**	<0.001**	<0.001**	<0.001**	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
26	0.27666	-0.03866	0.29960	0.11157	0.21940	0.34580	0.20439	0.52238	0.52238	0.52238	0.52238	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
27	0.0691	0.8032	0.0482*	0.4717	0.1525	0.0215*	0.1828	0.0003**	0.0003**	0.0003**	0.0003**	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
28	0.26120	-0.02004	0.21300	0.05119	0.16959	0.26358	0.19858	0.47144	0.47144	0.47144	0.47144	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
29	0.0868	0.8972	0.1651	0.7414	0.2711	0.0839	0.1963	0.0012**	0.0012**	0.0012**	0.0012**	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
30	-0.25680	-0.00446	-0.02625	0.04259	-0.05941	-0.10459	-0.10459	-0.28774	-0.28774	-0.28774	-0.28774	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
31	0.1217	0.9771	0.8657	0.7837	0.6953	0.7017	0.4992	0.0582	0.0690	0.0690	0.0690	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
32	-0.36341	-0.05630	-0.20251	-0.11194	-0.13148	-0.29521	-0.29573	-0.43126	-0.41092	-0.38231	-0.45287	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183
33	0.0153*	0.8151	0.1874	0.4694	0.3949	0.0517	0.0513	0.0035**	0.0035**	0.0104*	0.0020**	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183	0.83183

(19) Grosor de epidermis del envés; (20) Grosor de cutícula; (21) Largo de célula del parénquima en empalizada I; (22) Ancho de célula del parénquima en empalizada I; (23) Relación largo/ancho del parénquima en empalizada I; (24) Área de célula del parénquima en empalizada I; (25) Espacio intercelular del tejido esponjoso; (26) Área de la vena central; (27) Diámetro de la vena central; (28) Área del xilema de la vena central; (29) Área del floema de la vena central; (30) Área del colénquima de la vena central; (31) Área de médula de la vena central; (32) Número de vasos del xilema; (33) Área de vaso de xilema de la vena central; (34) Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central; (35) Índice de redondez del vaso de xilema de la vena central; (36) Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central.

\* Significativo con  $P < 0.05$

\*\* Altamente significativo con  $P < 0.01$

**Cuadro 7. Correlaciones significativas entre variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.**

Variable	Variable y tipo de significancia que existe entre ellas
Tasa de transpiración	Concentración de CO <sub>2</sub> subestomático +
Temperatura de la hoja	Longitud del estoma + Índice estomático/concentración de CO <sub>2</sub> subestomático - Largo de célula del parénquima en empalizada I + Ancho de célula del parénquima en empalizada I -
Asimilación de CO <sub>2</sub>	Asimilación de CO <sub>2</sub> /tasa de transpiración + Índice de compactación del vaso del xilema de la vena central -
Concentración de CO <sub>2</sub> subestomático	Grosor de epidermis del envés - Diámetro de la vena central - Área del xilema de la vena central -
Área de la hoja	Índice de alargamiento de la hoja - Índice de compactación de la hoja + Asimilación de CO <sub>2</sub> /tasa de transpiración + Grosor del parénquima en empalizada II - Diámetro de la vena central + Área del floema de la vena central +
Longitud del estoma	Grosor del parénquima en empalizada I +
Índice estomático	Relación largo/ancho del parénquima en empalizada I - Área de vaso de xilema de la vena central -
Asimilación de CO <sub>2</sub> /tasa de transpiración	Área de la vena central + Diámetro de la vena central + Área del xilema de la vena central + Área del colénquima de la vena central + Número de vasos del xilema +
Grosor de la hoja	Grosor del parénquima en empalizada I +
Grosor de epidermis del haz	Grosor de tejido esponjoso +
Grosor del parénquima en empalizada I	Número de vasos del xilema +
Grosor del parénquima en empalizada II	Grosor de tejido esponjoso + Área del xilema de la vena central +
Grosor de tejido esponjoso	Grosor de cutícula + Espacio intercelular de tejido esponjoso +
Grosor de epidermis del envés	Grosor de cutícula + Espacio intercelular de tejido esponjoso + Área de la vena central + Diámetro de la vena central + Área del xilema de la vena central + Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central -
Largo de célula del parénquima en empalizada I	Número de vasos del xilema + Área de vaso de xilema de la vena central +
Ancho de célula del parénquima en empalizada I	Área de la vena central + Diámetro de la vena central + Área del xilema de la vena central + Área del floema de la vena central + Área del colénquima de la vena central + Área de médula de la vena central +
Área de célula del parénquima en empalizada I	Número de vasos del xilema + Área de vaso de xilema de la vena central +
Área del xilema de la vena central	Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central -
Área del colénquima de la vena central	Índice de redondez del vaso de xilema de la vena central -
Área de médula de la vena central	Área de vaso de xilema de la vena central + Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central +

**Cuadro 8. Correlaciones altamente significativas entre variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.**

Variable	Variable y tipo de significancia que existe entre ellas
Tasa de transpiración	Conductancia estomática + Asimilación de CO <sub>2</sub> +
Conductancia estomática	Asimilación de CO <sub>2</sub> +
Temperatura de la hoja	Índice estomático - Asimilación de CO <sub>2</sub> /tasa de transpiración - Relación largo/ancho del parénquima en empalizada I +
Concentración de CO <sub>2</sub> subestomático	Asimilación de CO <sub>2</sub> /tasa de transpiración - Índice estomático/concentración de CO <sub>2</sub> subestomático - Número de vasos del xilema -
Área de la hoja	Área de la vena central + Área del xilema de la vena central + Área del colénquima de la vena central + Área de médula de la vena central + Número de vasos del xilema + Área de vaso de xilema de la vena central + Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central + Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central - Índice de compactación de la hoja -
Índice de alargamiento de la hoja	Índice estomático/concentración de CO <sub>2</sub> subestomático +
Índice estomático	Índice estomático/concentración de CO <sub>2</sub> subestomático +
Asimilación de CO <sub>2</sub> /tasa de transpiración	Grosor de epidermis del envés +
Grosor de hoja	Grosor de parénquima en empalizada II + Largo de célula de parénquima en empalizada I + Área de célula de parénquima en empalizada I +
Grosor de epidermis del haz	Grosor de epidermis del envés +
Grosor de parénquima en empalizada I	Grosor de parénquima en empalizada II + Largo de célula de parénquima en empalizada I + Relación largo/ancho del parénquima en empalizada I + Área de célula de parénquima en empalizada I + Área de la vena central + Diámetro de la vena central + Área del xilema de la vena central + Área del floema de la vena central + Área del colénquima de la vena central +
Grosor de parénquima en empalizada II	Largo de célula de parénquima en empalizada I + Ancho de célula de parénquima en empalizada I + Área de célula de parénquima en empalizada I + Área de la vena central + Diámetro de la vena central + Área del floema de la vena central + Área del colénquima de la vena central +
Grosor de tejido esponjoso	Grosor de epidermis del envés +
Grosor de epidermis del envés	Ancho de célula de parénquima en empalizada I + Área de célula de parénquima en empalizada I + Área del colénquima de la vena central +
Grosor de cutícula	Espacio intercelular del tejido esponjoso +
Largo de célula de parénquima en empalizada I	Ancho de célula de parénquima en empalizada I + Relación largo/ancho del parénquima en empalizada I + Área de célula de parénquima en empalizada I + Área de la vena central + Diámetro de la vena central + Área del xilema de la vena central + Área del floema de la vena central + Área del colénquima de la vena central +

**Cuadro 9. Correlaciones altamente significativas entre variables anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.**

Variable	Variable y tipo de significancia que existe entre ellas
Ancho de célula de parénquima en empalizada I	Área de célula de parénquima en empalizada I +
Relación largo/ancho del parénquima en empalizada I	Área de célula de parénquima en empalizada I +
Área de célula de parénquima en empalizada I	Área de la vena central + Diámetro de la vena central + Área del xilema de la vena central + Área del floema de la vena central + Área del colénquima de la vena central + Área de médula de la vena central +
Área de la vena central	Diámetro de la vena central + Área del xilema de la vena central + Área del floema de la vena central + Área del colénquima de la vena central + Área de médula de la vena central + Número de vasos del xilema de la vena central + Área de vaso de xilema de la vena central + Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central + Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central -
Diámetro de la vena central	Área del xilema de la vena central + Área del floema de la vena central + Área del colénquima de la vena central + Área de médula de la vena central + Número de vasos del xilema de la vena central + Área de vaso de xilema de la vena central + Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central + Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central -
Área del xilema de la vena central	Área del floema de la vena central + Área del colénquima de la vena central + Área de médula de la vena central + Número de vasos del xilema de la vena central + Área de vaso de xilema de la vena central + Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central +
Área del floema de la vena central	Área del colénquima de la vena central + Área de médula de la vena central + Número de vasos del xilema de la vena central + Área de vaso de xilema de la vena central + Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central + Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central -
Área del colénquima de la vena central	Área de médula de la vena central + Número de vasos del xilema de la vena central + Área de vaso de xilema de la vena central + Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central + Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central -
Área de médula de la vena central	Número de vasos del xilema de la vena central +
Área de vaso de xilema de la vena central	Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central + Índice de redondez del vaso del xilema de la vena central - Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central -
Diámetro Feret del vaso de xilema de la vena central	Índice de redondez del vaso del xilema de la vena central - Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central -
Índice de redondez del vaso del xilema de la vena central	Índice de compactación del vaso de xilema de la vena central +

**Cuadro 10. Valores propios del análisis discriminante canónico de las variables anatómicas de hojas, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.**

<b>Función Canónica</b>	<b>Eigenvalor</b>	<b>Varianza Explicada</b>	<b>Varianza Acumulada</b>	<b>Valor de F</b>	<b>Pr&gt;F</b>
1	57.8422	0.6343	0.6343	3.44	0.0036
2	25.0314	0.2745	0.9088	2.50	0.0410
3	8.3212	0.0912	1.0000	1.71	0.2357

En el Cuadro 10 se puede observar que las funciones canónicas más significativas y que mayor varianza aportaron fueron: la primera que aportó el 63.41 % de la varianza acumulada, la segunda el 27.45 %, acumulando el 90.88 % de la varianza y la tercera el 9.12 % que suma el 100 % de la varianza acumulada, siendo las primeras dos funciones canónicas las que más aportaron a este análisis.

Se observó en la estructura canónica, que las variables más importantes de la primera función canónica (FC1) fueron el área de vena central, diámetro de la vena central y el área de colénquima; en el caso de las variables más importantes de la segunda función canónica (FC2) fueron el área de la hoja y la longitud del estoma; y para el caso de la tercera función canónica (FC3) fueron el parénquima en empalizada II y el área de célula en empalizada I (Cuadro 11).

**Cuadro 11. Estructura canónica total de características anatómicas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de trabajos anteriores de 44 segregantes de aguacate 'Colín V-33'.**

Caracteres generales	FC1	FC2	FC3
Tasa de transpiración	0.043736	-0.028473	-0.135129
Conductancia estomática	0.148967	0.039293	0.044304
Temperatura de la hoja	-0.356902	-0.165790	-0.424396
Asimilación de CO <sub>2</sub>	0.200146	0.123297	-0.070442
Concentración de CO <sub>2</sub> subestomático	-0.131495	-0.265728	0.186371
Área de hoja	0.145001	<b>0.595473</b>	-0.142720
Índice de alargamiento de la hoja	-0.153959	-0.063083	0.042051
Índice de compactación de la hoja	-0.164563	0.037108	0.067123
Longitud del estoma	0.147380	<b>0.555092</b>	-0.137452
Índice estomático	-0.104825	-0.355857	-0.269844
Asimilación de CO <sub>2</sub> /tasa de transpiración	0.166302	0.093249	0.216613
Índice estomático/concentración de CO <sub>2</sub> subestomático	0.303765	0.329077	0.042300
Altura/índice estomático	0.210307	0.253418	0.060203
Grosor de hoja	-0.088708	0.072657	0.147194
Grosor de epidermis haz	0.285545	-0.311304	-0.204671
Grosor de parénquima en empalizada I	0.014071	0.166132	0.139646
Grosor de parénquima en empalizada II	0.368480	-0.253162	<b>-0.693677</b>
Grosor de parénquima esponjoso	0.670044	-0.341927	-0.200289
Grosor de epidermis envés	0.279013	-0.046063	-0.083656
Grosor de cutícula	0.525817	-0.071465	-0.079743
<b>Célula de parénquima en empalizada I</b>			
Largo de célula (L)	0.134604	-0.059852	0.341992
Ancho de célula (A)	0.366384	-0.245444	-0.721315
Relación L/A	<b>0.737252</b>	-0.393035	-0.106054
Área	-0.100414	-0.010494	<b>-0.692545</b>
<b>Parénquima esponjoso</b>			
Espacio intercelular	0.428493	0.032879	0.279315
<b>Vena central</b>			
Área	<b>0.762176</b>	0.406704	-0.298695
Diámetro	<b>0.740463</b>	0.443328	-0.343095
Área de xilema	0.647655	0.416868	-0.331723
Área de floema	0.647191	0.336855	-0.347583
Área de colénquima	<b>0.731575</b>	0.396102	-0.299551
Área de médula	0.605983	0.429009	-0.268254
<b>Xilema</b>			
Número de vasos	0.374266	0.395673	-0.429663
Área de vaso	0.341141	0.277847	-0.348767
Diámetro Feret de vaso	0.295154	0.311227	-0.299668
Índice de redondez de vaso	-0.148770	-0.367103	0.077811
Índice de compactación	-0.303058	-0.258799	0.188056

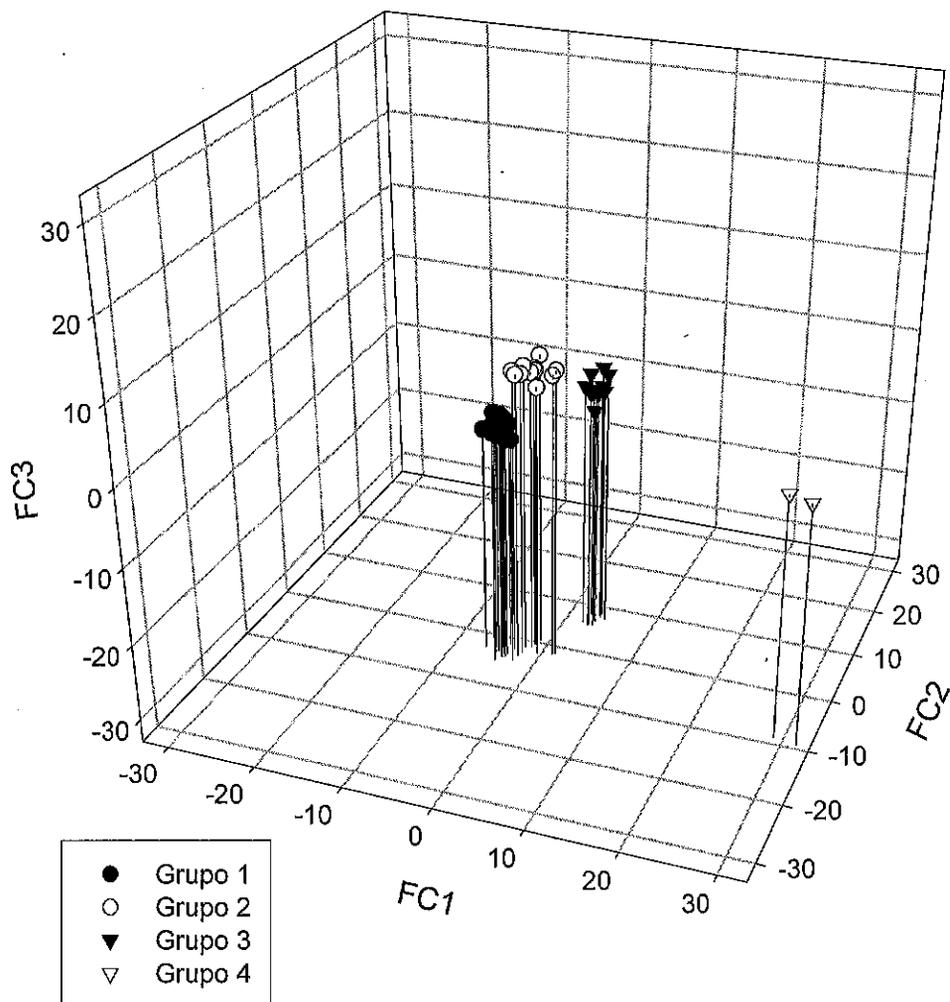
FC: Función canónica

La primera función canónica estuvo definida por la relación  $L/A$  de la célula de parénquima en empalizada I, el área de la vena central, diámetro de la vena central y el área del colénquima de la vena central, lo que nos puede indicar la importancia de la vena central en el tamaño de la hoja.

La segunda función canónica está definida por el área de la hoja y la longitud del estoma, lo que se puede interpretar como el área ocupada por los estomas.

La tercera función canónica está definida por el parénquima en empalizada II y el área de la célula de parénquima en empalizada I.

La representación gráfica de los grupos en un plano factorial dio como resultado la distribución de estos mismos en el espacio en las tres primeras funciones canónicas (FC1, FC2 y FC3) (Figura 6), donde se observó que los individuos se aglomeran aun más dentro de cada grupo al incluir más variables en el análisis.



**Figura 6. Distribución en tres dimensiones de los 44 segregantes de aguacate ‘Colin V-33’ en el plano factorial del análisis discriminante canónico, de acuerdo a las características anatómicas seleccionadas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores.**

Todos los individuos fueron perfectamente agrupados dentro de cada grupo, por lo que no hay elementos fuera de grupo de acuerdo a la prueba de sustitución (Cuadro 12).

**Cuadro 12. Número de observaciones y porcentaje de clasificación dentro de grupos formados por las características anatómicas seleccionadas de hoja, vena central y variables morfofisiológicas de estudios anteriores de aguacate ‘Colín V-33’, de acuerdo a la prueba de sustituciones.**

<b>Grupo</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Total</b>
<b>1</b>	<b>19<sup>z</sup></b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>19</b>
	<b>100.00<sup>y</sup></b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
<b>2</b>	<b>0</b>	<b>11</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>11</b>
	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
<b>3</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>12</b>	<b>0</b>	<b>12</b>
	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>
<b>4</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>2</b>	<b>2</b>
	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>0.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>
<b>Total</b>	<b>19</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>44</b>
	<b>43.18</b>	<b>25.00</b>	<b>27.27</b>	<b>4.55</b>	<b>100.00</b>

<sup>z</sup> Número de elementos que caen dentro de ese grupo.  
<sup>y</sup> Porcentaje de elementos que están dentro del grupo.

## VI. DISCUSIÓN

Con respecto al análisis de la estructura canónica total de características anatómicas de hoja y su vena central (Cuadro 2), se observó que la primera función canónica (FC1) estuvo definida por el grosor de parénquima en empalizada II, ancho de célula y área de célula de parénquima en empalizada I, lo que puede interpretarse como un índice de potencial fotosintético, apoyado en lo mencionado por Barden (1978) y Mickelbart *et al.* (2000), que nos indican que las dimensiones del parénquima en empalizada está relacionado con su capacidad fotosintética, pero contrario a lo indicado por Black *et al.* (1975), quien encontró en genotipos de *Lolium*, que la fotosíntesis aumenta mientras el tamaño de célula disminuye, por lo que suponemos que al tener un tamaño de célula menor transversalmente, la luz del sol penetra mejor y se distribuye más eficientemente hacia los cloroplastos.

Para la FC2, definida por el grosor de la epidermis del haz, área de la vena central, diámetro de la vena central, área del xilema y del colénquima de la vena central, puede estar relacionado con la capacidad de conductividad de agua y penetración de sustancias, que es mencionado por Beakbane (1967), en manzano la penetrabilidad de productos químicos aplicados tiene que ver con el grosor de la epidermis de la hoja; así mismo, según Mickelbart *et al.* (2000), la resistencia al ataque de algunos insectos y ácaros en el follaje está relacionada con el grosor de la cutícula y epidermis de las hojas; Jáuregui *et al.* (1998), mencionó que el grosor de la pared externa más la cutícula parecen ser rasgos

importantes de analizar en las relaciones de adaptación a factores del ambiente o agentes bióticos.

En la FC3, definida por el grosor de parénquima en empalizada I, largo de célula y relación largo/ancho de célula de parénquima en empalizada I, lo que también puede estar relacionado con el índice de potencial fotosintético, indicado por (1978) y Mickelbart *et al.* (2000), tal como ya se mencionó con anterioridad.

Se encontró una gran variación entre los materiales estudiados, esto puede ser debido a que estos individuos se obtuvieron mediante polinización abierta, y debido a la naturaleza de la biología floral que presenta el aguacate causa una gran variación genética, por prevalecer la polinización cruzada (Bergh, 1975).

Chartzoulakis (2002), indicó que la anatomía foliar del aguacate es influenciada por condiciones ambientales, como la sequía, donde se pueden encontrar grandes cambios, sobre todo en el espacio intercelular del parénquima esponjoso y en general en el grosor de la hoja.

Según Jankiewicz (2003), las auxinas contribuyen a el correcto desarrollo del cambium, generando un xilema normal, en base a esto podemos suponer que pudieron existir diferentes niveles de auxina entre los individuos estudiados, lo que generó diferencias en cuanto al xilema.

De acuerdo al análisis de correlación no se encontraron relaciones entre variables anatómicas con las morfofisiológicas como se esperaba, ya que de acuerdo con autores como Barden (1978), quien encontró 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.

Tampoco se encontró relaciones como las indicadas por Black (1975), quien mencionó que los espacios de aire de la hoja y los arreglos internos de las células se asocian a la eficiencia que tienen las plantas de asimilar el CO<sub>2</sub> y otros gases.

Con relación a la concentración de CO<sub>2</sub> subestomático, el cual aumenta cuando el grosor de la epidermis del envés disminuye, como se ha encontrado en otras especies, esto puede ser debido que al existir una menor resistencia epidérmica pudo haberse aumentado la absorción de CO<sub>2</sub> no estomático (Salisbury y Ross, 1994).

Generalmente hay muchos casos en que el CO<sub>2</sub> subestomático no está relacionado con asimilación del CO<sub>2</sub>, lo cual es lo que se encontró en el presente trabajo, debido a que son indicadores que aunque están relacionados por el proceso interno que tiene la célula con características diferentes.

Por otra parte, se encontró una relación entre la concentración de CO<sub>2</sub> subestomático, que está correlacionado de manera negativa con el número de vasos del xilema de la vena central, y a su vez con diámetros menores del xilema de la vena central; referente a esto, se ha encontrado en aguacate que las dimensiones del xilema están relacionadas con la conductancia del agua, siendo más eficiente con menor número de vasos y xilema más pequeño (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002), donde la tasa de transpiración estuvo relacionada con la conductancia estomática, lo que indica que la

planta está conduciendo eficientemente el agua y a su vez está transpirando en forma adecuada.

En relación a la temperatura de la hoja está correlacionada con la relación largo/ancho del parénquima en empalizada I, lo cual coincide con lo mencionado por Robbins (1974), que indicó que la disposición de las células de mesófilo influyen, por esta disposición se cuenta con un mayor número de células de parénquima en empalizada y como consecuencia habrá una mayor temperatura de la hoja, cabe indicar que la fotosíntesis no se cuantificó como tal.

Las posibles causas de no haber encontrado relación, en forma general, de la anatomía de la hoja y el intercambio de gases puede deberse a varios factores, entre ellos se encuentra la anatomía de muchas especies como *Lolium*, tabaco, manzana (Barden, 1978), en general se han hecho con pocos individuos en contraste con el presente estudio, el cual abarcó 48 genotipos con alta variabilidad morfológica y anatómica, además de que son especies muy contrastantes, por lo que no se pueden generalizar dichas relaciones.

También en nuestro estudio, una de las limitantes fue que en la medición de las variables de intercambio de gases fueron puntuales, a pesar de que se cuidó de que las plantas estuviesen en condiciones óptimas, sobre todo en cuanto a riego, riego previo y cielo despejado.

Por otra parte, se aclara que las mediciones y los cortes se realizaron en diferentes hojas, sin embargo se sabe que las hojas son órganos estables en cuanto a anatomía, número de estomas y variables anatómicas, como comprobó Saavedra (1993).

## VII. CONCLUSIONES

En general no se encontró una relación directa entre la anatomía de la hoja con las características de intercambio de gases de la misma, como en otros estudios se ha determinado. Sólo se encontró una relación entre la concentración de CO<sub>2</sub> subestomático y el grosor de la epidermis del envés de la hoja.

Los individuos estudiados se conformaron en cuatro grupos de acuerdo a sus características anatómicas de la hoja y aspectos de intercambio de gases. Donde las características que permiten dicha agrupación fueron: área de la vena central, diámetro de la vena central, el área del colénquima de la vena central, el área de la hoja, la longitud del estoma, el grosor de parénquima en empalizada II y el área de la célula de parénquima en empalizada I.

## VIII. LITERATURA CITADA

- Arpaia, M. L. 2002. Enhancement of avocado productivity; plant improvement – selection and evaluation of improved varieties and rootstocks. California Avocado Research Symposium 2002. Witney, G. (ed.), California Avocado Commission. October 26, 2002. University of California Riverside. Riverside, USA. pp. 43-53.
- Barden, J. A. 1971. Factors affecting the determination of net photosynthesis of apple leaves. *HortScience* 6: 448-51.
- Barden, J. A. 1978. Apple leaves, their morphology and photosynthetic potential. *HortScience* 13(6): 644-645.
- Barrientos Pérez, F.; Barrientos Priego, A. F. 1996. Correlaciones entre algunas características de plántulas de aguacate 'Colín V-33' y sus efectos enanizantes como portainjertos. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 2(5): 95-98.
- Barrientos Pérez, F.; Sánchez Colín, S. 1983. Height variability obtained from a new dwarf avocado tree population. *Acta Horticulturae* 140: 163-168.
- 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 Priego, A. F.; López Jiménez A.; Sánchez Colín, S. 1987. Effect of Colín V-33 as interestock on avocado (*Persea americana* Mill.) growth cv. Fuerte. South African Avocado Growers Association Yearbook 10: 62-63.

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(Esp): 103-116.

Beakbane, A. B. 1967. A relationship between leaf structure and growth potential in apple. Ann. Appl. Biol. 60: 67-76.

Ben-Ya'acov, A.; Michelson, E.; Sela, I. 1993. Rootstock effect on avocado vigor and productivity. Acta Horticulturae 349: 191-195.

Ben-Ya'acov, A.; Michelson, E. 1995. Avocado rootstocks. Horticultural Reviews 17: 381-429.

Bergh, B. O. 1975. Avocado. In: Advances in Fruit Breeding. Janick, J. and Moore, J. N. (eds). Purdue University Press, West Lafayette, Indiana. pp. 541-567.

- Bergh, B. D. 1992a. The avocado and human nutrition. I. Some human health aspects of the avocado. Proc. of Second World Avocado Congress. Orange, California, USA. pp. 25-35.
- Bergh, B. D. 1992b. The avocado and human nutrition. II. Avocados and your heart. Proc. of Second World Avocado Congress. Orange, California, USA. pp. 37-47
- Black, C. C.; Goldstein, L. D.; Ray, T. B.; Kestler, D. P.; 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*. University Park Press. Baltimore, USA.
- Chartzoulakis, K.; Patakas, P.; Kofidis, G.; Bosabalidis, A.; Nastou, A. 2002. Water stress affects leaf anatomy, gas exchange, water relations and growth of two avocado cultivars. *Scientia Horticulturae* 95: 39-50.
- Hoddle, M. S. 1998. Biology and management of the persea mite. *California Avocado Society Yearbook* 82: 75-85.
- Jankiewicz, L. S. 2003. Reguladores del crecimiento, desarrollo y resistencia en plantas. *Propiedades y acción*. Universidad Autónoma Chapingo. Ediciones Mundi – Prensa. México. p 487.

- Jáuregui, D.; García, M.; Avilán, L. 1998. Anatomía foliar de dos cultivares y un híbrido de la colección de aguacates (*Persea* sp) del Centro Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort. 42: 284-291.
- Kremer-Khöne, S. 1998. Maintenance and evaluation of avocado cultivars and selections. South African Avocado Growers' Association Yearbook 21: 35-37.
- López Jiménez, A.; Barrientos Priego, A. F. 1987. Selection of dwarfing rootstocks of avocado (*Persea americana* Mill.). I. Studies of bark:xylem relationship in trunks of 'Colón V-33' seedlings. California Avocado Society Yearbook 71: 225-234.
- Mickelbart, M. V.; Miller, R.; Parry, S.; Arpaia, M. L.; Heath, R. 2000. Avocado leaf surface morphology. California Avocado Society Yearbook 84: 139-150.
- Ochoa Bautista, R.; Ortega Rivas, C. 2002. El aguacate mexicano frente a la apertura del mercado norteamericano. Claridades Agropecuarias 110: 3-20.
- Reyes-Santamaría, I.; Terrazas, T.; Barrientos-Priego, A. F.; Trejo, C. 2002. Xylem conductivity and vulnerability in cultivars and races of avocado. Scientia Horticulturae 92: 97-105.
- Robbins, W. W.; Weier, T. E.; Stocking, C. R. 1974. Botánica. Traducido por Blackaller Valdés, A. Editorial Limusa. D. F., México. 608 p.

- Ryugo, K. 1993. Fruticultura Ciencia y Arte. Traducido por J. Rodríguez Alcazar. AGT Editor S. A. D. F., México. 460 p.
- Saavedra, C. 1993. Determinación de índices para selección hacia porte bajo en aguacate. Memoria 1993 de la Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, S. C. Coatepec Harinas, Estado de México, México. pp 129-137.
- SAGARPA. 2005. [www.sagarpa.gob.mx](http://www.sagarpa.gob.mx).
- Salisbury, F.B., Ross, R. 1994. Fisiología Vegetal. Interamericana, Madrid
- Sass, J. E. 1968. Botanical Microtechnique. 3rd Edition. The Iowa State University Press. Iowa, USA. 227 p.
- Scholefield, P. B.; Sedgley, M.; Alexander, D. 1985. Carbohydrate cycling in relation to shoot growth, floral initiation and development and yield in the avocado. Sci. Hort. 25: 99-110.
- Sharon, Y.; Bravdo, B.; Bar, N. 2001. Aspects of the water economy of avocado trees (*Persea americana*, cv. Hass). South African Avocado Growers' Association Yearbook 24: 55-59.
- Terashima, I. 1992. Anatomy of non-uniform leaf photosynthesis. Photosynthesis Research 31: 195-212.

Ward J. H. 1963. Hierarchical grouping to optimize an objective function. American Statistical Association Journal March 1963: 236-244.

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.

Wilson, D.; Cooper, J. P. 1970. Effect of selection for mesophyll cell size on growth and assimilation in *Lolium perenne* L. New Phytol. 69: 233-245.