



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA

INSTITUTO DE HORTICULTURA

**ESTUDIO DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS Y
ANATÓMICAS RELACIONADAS CON PLANTAS
DE PORTE BAJO EN AGUACATE**

TESIS

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

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

PRESENTA:

MARCELO GARRIDO TORRES

Chapingo, Estado de México, 6 de Junio de 2016



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



Instituto de Horticultura

**ESTUDIO DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS Y
ANATÓMICAS RELACIONADAS CON PLANTAS DE PORTE BAJO EN
AGUACATE**

Tesis realizada por Marcelo Garrido Torres, bajo la dirección del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Director



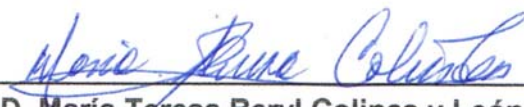
Dr. Alejandro F. Barrientos Priego

Asesor



Dra. Sweetia Paulina Ramirez Ramirez

Asesor



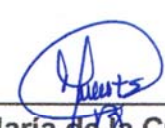
Ph.D. Maria Teresa Beryl Colinas y Leon

Asesor



Dr. Eduardo Campos Rojas

Lector externo



Dra. Maria de la Cruz Espindola Barquera

AGRADECIMIENTOS

A la **Universidad Autónoma Chapingo** y al **Instituto de Horticultura**, por brindarme la oportunidad de continuar con mi formación y así lograr el grado de Doctor en Ciencias en Horticultura.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por la beca otorgada del programa de formación y desarrollo de científicos y tecnólogos, para lograr este grado académico.

A mi Comité Asesor integrado por el **Dr. Alejandro F. Barrientos Priego**, **Dra. Sweetia P. Ramírez Ramírez**, **Dra. María Teresa Beryl Colinas y León** y el **Dr. Eduardo Campos Rojas** quienes me apoyaron durante la investigación, compartieron sus conocimientos, me orientaron a tomar las mejores decisiones y sobre todo por brindarme su amistad y confianza.

A mis padres **Braulio Garrido Sevilla** y **María Felix Torres Bartolo**, y hermanos **Braulio, Soledad, Alejandro**, que siempre me apoyan.

A **Cecilia Osorio Ramírez** por el tiempo que hemos compartido y el apoyo durante el doctorado.

A los compañeros y amigos: **Diana López, Isabel Nativitas, Lorena Posadas, Sandra Potrero, Juan Aguilar, Lucas Hernández** por el tiempo que compartimos.

Al **Dr. Juan Ayala Arreola** por su apoyo y orientación en la investigación.

A todos aquellos que de forma directa o indirectamente han contribuido para la realización de este estudio.

DEDICATORIA

A mis padres **Braulio Garrido Sevilla** y **Ma. Félix Torres Bartolo** por y enseñarme que todo es posible con trabajo y esfuerzo, y mediante su apoyo y grandes sacrificios han logrado mi formación como persona y a quienes les dedico todos mis triunfos, los amo.

A mis hermanos **Braulio**, **Soledad** y **Alejandro** por ser tan importantes y compartir grandes momentos en la vida, por brindarme su comprensión, apoyo y siempre alentándome a seguir adelante. Por el espíritu de lucha que compartimos para lograr los objetivos que cada uno se ha planteado, gracias, los quiero mucho.

A mis sobrinas **Geramel** y **Abigail** dos pequeñitas que han venido a alegrar la familia, apenas inician su vida y espero poder ayudarles en la construcción de su vida, que sea de mucho éxito, las quiero mucho.

A mis amigos **Cecilia**, **Diana**, **Adriana**, **Isabel**, **Lorena**, **Karla**, **Sandra**, **Juan**, **Lucas**, gracias por los momentos que compartimos durante todo este tiempo, mi más sincero aprecio.

A todos aquellos que de una u otra forma han contribuido en mi vida tanto personal como profesional.

DATOS BIOGRÁFICOS

El autor es originario de la comunidad de Monte Grande, Xicotepec de Juárez, Puebla, nació el 24 de septiembre de 1984. La educación media superior la realizó en el Departamento de Preparatoria Agrícola de la Universidad Autónoma Chapingo (1999-2002). En el Departamento de Fitotecnia de la misma universidad realizó sus estudios de licenciatura, obteniendo el título de Ingeniero Agrónomo Especialista en Fitotecnia el 9 de Noviembre del 2006, con la tesis titulada “Evaluación de variedades e híbridos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) tipo bola, cherry y para producción en racimo bajo condiciones de invernadero, en la sierra norte de Puebla, 2005”. Ha participado en diferentes cursos y simposios relacionados con la agronomía.

En lo referente a su vida profesional tiene experiencia laboral en el sector público trabajando en la Secretaria de Desarrollo Rural del Gobierno del Estado de Puebla y en la iniciativa privada trabajando en “Viveros Leona Mora”. En 2009 inicia los estudios de Maestría en Horticultura en el Instituto de Horticultura del Departamento de Fitotecnia de la Universidad Autónoma Chapingo, obteniendo el grado el 11 de Julio del 2011, con la tesis titulada “Floración de azalea (*Rhododendron simsii* Plach.) en respuesta a bajas temperaturas, tidiazurón y aplicación foliar de nitrato de potasio”. Durante el 2011 realizó prestación de servicios profesionales al Colegio de Postgraduados en el proyecto denominado: Integración de información cartográfica digital mediante un sistema de información geográfica (SIG) para 16 distritos de temporal tecnificado (DTT). En enero de 2012 inició los estudios de Doctorado en Ciencias en Horticultura.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN GENERAL	1
INTRODUCCIÓN GENERAL	1
DETERMINACIÓN DE POSIBLES CARACTERÍSTICAS DE HOJA ASOCIADAS AL ENANISMO EN PLANTAS DE AGUACATE	4
CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE TALLO RELACIONADAS CON EL PORTE DE PLANTA EN AGUACATE	39
COMPORTAMIENTO DE CRECIMIENTO DE 'HASS' SOBRE 15 PORTAINJERTOS DE AGUACATE CON POSIBLE CAPACIDAD DE REDUCIR EL PORTE.....	56
ANEXOS.....	83

LISTA DE CUADROS

DETERMINACIÓN DE POSIBLES CARACTERÍSTICAS DE HOJA ASOCIADAS AL ENANISMO EN PLANTAS DE AGUACATE

Cuadro 1. Genotipos de aguacate con tendencia a presentar plantas con enanismo.	7
Cuadro 2. Valores medios de las variables físicas de nueve familias de aguacate de dos años de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.	10
Cuadro 3. Valores medios de las variables físicas de seis familias de aguacate de un año y nueve meses de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.	12
Cuadro 4. Valores medios de las variables de intercambio de gases de nueve familias de aguacate de dos años de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.	14
Cuadro 5. Valores medios de las variables de intercambio de gases de seis familias de aguacate de un año y nueve meses de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.	15
Cuadro 6. Valores medios de las variables anatómicas de hoja de seis familias de aguacate de dos años de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.	17
Cuadro 7. Valores medios de las variables anatómicas de hoja de seis familias de aguacate de un año y nueve meses de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.	19

Cuadro 8. Coeficientes de correlación que incluye a 15 familias con tendencia a presentar plantas con enanismo (403 individuos).	21
Cuadro 9. Autovalores del análisis discriminante canónico de variables morfológicas, de intercambio de gases y anatómicas de hoja de 15 genotipos de aguacate con tendencia a presentar enanismo.	25
Cuadro 10. Matriz de estructura factorial del análisis discriminante canónico para variables físicas, fisiológicas y anatómicas de hoja de 15 genotipos de aguacate con tendencia a presentar enanismo.	25
Cuadro 11. Coeficientes de función discriminante canónicos estandarizados de variables morfológicas, de intercambio de gases y anatómicas de hoja de 15 genotipos de aguacate con tendencia a presentar enanismo.	26
Cuadro 12. Probabilidades y distancias de Mahalanobis para los tres grupos de acuerdo al porte de la planta de individuos derivados de semilla de 15 genotipos de aguacate.	28
Cuadro 13. Prueba de resubstitución a priori de individuos en cada nivel de porte del análisis de componentes principales para variables físicas, fisiológicas y anatómicas de hoja de 15 genotipos de aguacate con tendencia a presentar enanismo.....	29
Cuadro 14. Grupos formados de acuerdo al análisis de conglomerado con 284 individuos provenientes de 15 genotipos de aguacate.	34

CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE TALLO RELACIONADAS CON EL PORTE DE PLANTA EN AGUACATE

Cuadro 1. Densidad de elementos de vaso del xilema de tallos de plantas de diferente porte provenientes de 15 genotipos de aguacate.	44
Cuadro 2. Área de elementos de vaso en tallo de 15 genotipos de aguacate con distinto porte de planta.	46

Cuadro 3. Diámetro de Feret de elementos de vaso del xilema en tallo de 15 genotipos de aguacate con distinto porte de planta.	47
Cuadro 4. Índice de redondez de elementos de vaso del xilema en 15 genotipos de aguacate con distinto porte de planta.....	48
Cuadro 5. Diámetro de tallo de 15 genotipos de aguacate con diferente porte de planta.	49
Cuadro 6. Proporción de área transversal de corteza con relación a xilema de 15 genotipos de aguacate con distinto porte de planta.	51

COMPORTAMIENTO DE CRECIMIENTO DE ‘HASS’ SOBRE 15 PORTAINJERTOS DE AGUACATE CON POSIBLE CAPACIDAD DE REDUCIR EL PORTE

Cuadro 1. Características de ‘Hass’ injertados sobre nueve genotipos de aguacate, donde se realizó una preclasificación de los portainjertos utilizados por su porte.	61
Cuadro 2. Características de ‘Hass’ injertados sobre seis genotipos de aguacate, donde se realizó una preclasificación de los portainjertos utilizados por su porte.	62
Cuadro 3. Formación de componentes principales con base a características del portainjerto y del injerto de aguacate.	65
Cuadro 4. Correlaciones entre las variables del injerto y el porta injerto.....	66
Cuadro 5. Autovalores del análisis discriminante canónico del comportamiento de crecimiento de ‘Hass’ sobre 15 genotipos de aguacate con tendencia a inducir enanismo.	67
Cuadro 6. Matriz de estructura factorial del análisis discriminante canónico del comportamiento de crecimiento de ‘Hass’ sobre 15 genotipos de aguacate con tendencia a inducir enanismo.....	68

Cuadro 7. Coeficientes de función discriminante canónicos estandarizados del comportamiento de crecimiento de 'Hass' sobre 15 genotipos de aguacate con tendencia a inducir enanismo.....	69
Cuadro 8. Probabilidades y distancias de Mahalanobis para los tres grupos de acuerdo a longitud del injerto en 15 genotipos de aguacate.....	71
Cuadro 9. Prueba de resubstitución a priori de individuos en cada nivel de longitud del análisis discriminante canónico para el comportamiento de crecimiento de injerto 'Hass' sobre 15 genotipos derivados de semilla de aguacate con tendencia a inducir enanismo.	71
Cuadro 10. Grupos formados de acuerdo al análisis de conglomerado con 272 individuos provenientes de 15 genotipos de aguacate	75

LISTA DE FIGURAS

DETERMINACIÓN DE POSIBLES CARACTERÍSTICAS DE HOJA ASOCIADAS AL ENANISMO EN PLANTAS DE AGUACATE

- Figura 1. Dispersión de individuos provenientes de semilla de 15 genotipos de aguacate con tendencia a presentar enanismo en las dos primeras funciones canónicas.....28
- Figura 2. Pseudo-estadístico t^2 de Hotelling y el número recomendado de grupos, una prueba para la división del dendrograma formado por variables físicas, fisiológicas y anatómicas de hoja de 15 genotipos de aguacate.30
- Figura 3. Dendrograma de similitud de acuerdo a la distancia Euclidiana y agrupación por el método de Ward en tres grupos formados por el porte de la planta. La línea azul representa el corte del dendrograma según el pseudo-estadístico t^2 de Hotelling.....31
- Figura 4. Variables clasificatorias de genotipos de aguacate en los cinco grupos generados conforme a análisis discriminante canónico y agrupamiento por la distancia Euclidiana y Ward. Medias $\pm$ error estándar.33

COMPORTAMIENTO DE CRECIMIENTO DE 'HASS' SOBRE 15 PORTAINJERTOS DE AGUACATE CON POSIBLE CAPACIDAD DE REDUCIR EL PORTE

- Figura 1. Plantas del cv. Hass en portainjertos de semilla 'Colin V-33' de la misma edad. A la izquierda planta enanizada con hábito de crecimiento lateral y entrenudos cortos, y en la derecha planta con crecimiento normal. .64

Figura 2. Dispersión de injerto 'Hass' sobre 15 genotipos derivados de semilla de aguacate con tendencia a inducir enanismo, en las dos primeras funciones canónicas.....	70
Figura 3. Pseudo-estadístico t2 de Hotelling y el número recomendado de grupos, una prueba para la división del dendrograma.....	72
Figura 4. Dendrograma de similitud de acuerdo a la distancia Euclidiana y agrupación por el método de Ward en cuatro grupos formados por la longitud del injerto de 'Hass' sobre 15 portainjertos derivados de semilla. La línea roja representa el corte del dendograma según el pseudo-estadístico t2 de Hotelling.	73
Figura 5. Variables clasificatorias del injerto 'Hass' sobre 15 porta injertos derivados de semilla de aguacate en los cuatro grupos generados conforme a análisis discriminante canónico y agrupamiento por la distancia Euclidiana y Ward. Medias $\pm$ error estándar.	74

**ESTUDIO DE ALGUNAS CARACTERÍSTICAS FISIOLÓGICAS Y ANATÓMICAS RELACIONADAS CON
PLANTAS DE PORTE BAJO EN AGUACATE
STUDY OF SOME PHYSIOLOGICAL AND ANATOMICAL CHARACTERISTICS ASSOCIATED WITH
LOW PLANTS IN AVOCADO**

Marcelo Garrido Torres¹, Alejandro Barrientos Priego²

RESUMEN GENERAL

La presente investigación se realizó con el fin de evaluar si algunas características morfológicas, fisiológicas así como anatómicas de hoja y tallo se relacionan con el enanismo en plantas de aguacate; así como su efecto sobre el crecimiento de cv Hass como injerto. Se utilizaron plantas generadas de semilla para formar familias. En cada familia se clasificaron las plantas en grupos de porte alto, intermedio y bajo. El trabajo se realizó en dos etapas: 1) selección de plantas y medición de características morfológicas de la planta, fisiológicas y anatómicas de hoja; 2) se podaron las plantas y los nuevos brotes se injertaron con 'Hass', al momento de la poda se tomaron muestras de tallo para medición de variables anatómicas. El análisis de correlación con las familias y variables morfológicas de planta y fisiológicas y anatómicas de hojas no mostraron ninguna relación significativa ($P= 0.05$); sin embargo, el análisis por familia mostró particularidades. En el análisis discriminante canónico las variables que más discriminan fueron para la primera función longitud de entrenudo y número de entrenudos, y para la función dos la tasa de asimilación de CO_2 y conductancia estomática. Los genotipos presentaron una gran variación entre y dentro de familias lo que dificultó la generalización de características como posibles índices de selección de plántulas de aguacate con tendencia a presentar enanismo. Las características anatómicas de tallo mostraron estar altamente relacionadas con el comportamiento del porte de plantas de aguacate. En plantas injertadas las variables más discriminantes de la primera función fueron longitud de entrenudo del injerto y para la función dos el número de entrenudos del injerto. La longitud de entrenudo y número de entrenudos en conjunto determinan la longitud del injerto, características que podrían considerarse en la selección temprana de injertos con reducción del vigor para el enanismo de crecimiento compacto.

Palabras clave: *Persea americana*, hábito de crecimiento, porte bajo, enanismo.

ABSTRACT

This research was conducted in order to assess whether some plant morphological, physiological and anatomical leaf and stem characteristics related to dwarfism in avocado plants, and its effect on the growth of cv. Hass as scion. Plants derived from seed were used to form families. In each family, plants were classified into groups by their growth habit as high, intermediate and low. It was conducted in two stages: 1) selection of plants and measurement of morphological plant, physiological and anatomical leaf characteristics; 2) plants were pruned and the new shoots were grafted with 'Hass', when pruning plants stem samples were taken for measurement of anatomical characteristics. The correlation analysis with families and plant morphological and anatomical and physiological variables leaf showed no significant relationship ($P = 0.05$), however the analysis in each family showed some particularities. In the canonical discriminant analysis more discriminating variables were for the first function length internode and number of internodes, and for second function the CO_2 assimilation rate and stomatal conductance. The genotypes showed a large variation between and within families which hindered the generalization of features as possible selection indices for avocado seedling with a tendency to dwarfism. The anatomical stem characteristics are observed to be highly related to the growth habit of avocado plants. In scions the most discriminant variable in the first function was length internode of scion and in the second function was the number of internodes of scion. The length and number of internodes together determine the length of the scion, characteristics that could be considered in the early selection of scion with reduced vigour in dwarfism of type compact growth.

Keywords: *Persea americana*, growth habit, low size, dwarfing.

¹ Tesista

² Director de Tesis

INTRODUCCIÓN GENERAL

El vigor del crecimiento de árboles es un rasgo de fundamental importancia en los huertos frutícolas. La expresión del crecimiento vigoroso depende de varios factores, tales como genotipo de la planta, el ambiente y las prácticas agronómicas (Sorce *et al.*, 2007).

Los árboles frutales enanos normalmente no alcanzan el tamaño característico de la especie o especies relacionadas. El término árbol enano es aplicado a árboles que crecen menos que los normales debido a medios artificiales tales como selección de genotipos enanos, formación específica y procedimientos de poda o mediante injerto sobre porta injertos enanos (Ingles *et al.*, 2002). En aguacate se han descrito dos tipos de enanismo, uno en el que la planta enana presenta crecimiento compacto y entrenudos cortos (Bergh y Whitsell, 1962), tipo braquítico como en el caso de durazno y otro descrito con un comportamiento de pérdida de dominancia apical y crecimiento lateral de ramas que da un comportamiento de crecimiento corto y difuso en plantas de aguacate, es decir que las ramas tienden a crecer con una tendencia horizontal (Barrientos-Pérez y Sánchez-Colín, 1982).

Varios portainjertos de manzano enanos y cultivares enanos se desarrollaron, los cuales han sido fundamentales para el manejo intensivo de huertos y sistemas de producción en altas densidades en manzano (Wang *et al.*, 2011). Se han desarrollado genotipos enanos en especies como manzano, anacardos y durazno; sin embargo, hay una carencia significativa de germoplasma adecuado para producir variedades y portainjertos enanos comerciales para frutales como aguacate (Barrientos-Priego *et al.*, 1992), cerezo (Charlot *et al.* 2005; Moghadam y Khalighi, 2007), ciruela japonesa (Janes y Pae, 2003) y pera (Wang *et al.*, 2011).

Los efectos enanizantes pueden ser obtenidos ya sea por uso directo de cultivares enanos para alguna especie frutícola o mediante injerto de cultivares en portainjertos enanos, un método comúnmente utilizado para obtener arboles enanos (Zhu *et al.*, 2008).

El uso de árboles compuestos (injerto/portainjerto) para adaptar la producción de frutales a regiones específicas, climas y tolerancia a plagas ha impulsado el uso de injertos. En muchos árboles frutales de clima templado (manzano, pera, ciruela y cerezo dulce) el uso de portainjertos ha proporcionado el principal método para el control del vigor del árbol (Atkinson y Else, 2003). Un portainjerto enanizante tiende a reducir la extensión estacional del brote del injerto. Tales árboles se caracterizan por una alta producción a una edad temprana. Esto se ejemplifica en la caso de manzanos injertados sobre el portainjerto EM-9, que alcanzan sólo alrededor de un tercio del tamaño normal y producen fruto en una edad temprana (Lahav *et al.*, 1995).

El uso de portainjertos en el cultivo intensivo de aguacate es de gran importancia y portainjertos para este cultivo han sido reportados en influir en el tamaño del árbol y su productividad (Bergh y Whitsell, 1962). Patrones potencialmente enanizantes como 'Wilg', 'Ryan', 'Colin V-33' se han evaluado frente a 'Duke 7', por su capacidad para limitar el crecimiento de 'Hass'. El portainjerto Wilg, es un árbol con bajo vigor y hábito de crecimiento caído el cual ha exhibido mayor capacidad de enanismo hasta el momento; sin embargo, presenta dificultades en su propagación (Roe *et al.*, 1995). 'Colin V-33' una selección mexicana que tiene poco vigor y hábito de crecimiento en expansión, ha sido utilizado con éxito como un interinjerto enanizante en árboles de 'Fuerte' en México, por lo que ha sido considerado con gran potencial como posible patrón enanizante.

En primer lugar la selección de características de herencia simple que son esenciales para los nuevos portainjertos, tales como enanismo y resistencia, puede dar como resultado eficiencias considerables (Rusholme-Pilcher *et al.*, 2008). La asociación entre un genotipo con capacidad enanizante y una característica genética, fisiológica, o anatómica podría ser de gran valor para la

selección de portainjertos enanos en una etapa temprana de desarrollo (Bruncker y DeJong, 2014).

DETERMINACIÓN DE POSIBLES CARACTERÍSTICAS DE HOJA ASOCIADAS AL ENANISMO EN PLANTAS DE AGUACATE

DETERMINATION OF POSSIBLE LEAF CHARACTERISTICS ASSOCIATED WITH DWARFISM IN AVOCADO PLANT

RESUMEN

El presente estudio se planteó evaluar si algunas características morfológicas, de intercambio de gases y anatómicas de hoja, se relacionan con el enanismo en plantas de aguacate que permitan la agrupación por su hábito de crecimiento en plantas jóvenes. Se utilizaron plantas de dos años de nueve genotipos y de un año y nueve meses de seis genotipos generadas de semilla para formar familias. En cada familia se clasificaron las plantas en grupos de porte alto, intermedio y bajo. Se evaluaron: variables morfológicas de planta, de intercambio de gases y anatómicas de la hoja. En la mayoría de familias existieron diferencias en altura de planta dentro de cada genotipo a excepción de 'Barri' y 'Reed'. En 'Aguilar' y 'Don Cris' se encontró que las plantas de porte bajo presentaron menor longitud de entrenudo (8.04 y 6.08 mm, respectivamente). 'Colín V-33' mostró diferencias en número de entrenudos en la cual las plantas de porte bajo presentaron menor número de entrenudos (49.75). El análisis de correlación que incluyó a todos los genotipos no mostró relaciones significativas ($P=0.05$); sin embargo el análisis por separado de cada genotipo mostró particularidades, así, en 'Don Cris' se encontró una correlación significativa en altura de planta-longitud de entrenudo ($r=0.85$), mientras que para 'Aguilar' altura de planta-número de entrenudos ($r=0.57$). Las variables más discriminantes fueron para la primer función longitud de entrenudo y número de entrenudos, y para la función dos la tasa de asimilación de CO_2 y conductancia estomática. Los genotipos presentaron una gran variación entre y dentro de familias lo que dificultó la generalización de características como posibles índices de selección de plántulas de aguacate con tendencia a presentar enanismo.

Palabras clave: *Persea americana*, porte bajo, entrenudos cortos, intercambio de gases, densidad estomática.

ABSTRACT

This study was set to evaluate whether some plant morphological, physiological and anatomical leaf characteristics are related to dwarfism in avocado plants. Nine two-year-old genotypes and six genotypes one year and nine months old plants derived from seed were used to form families. In each family, plants were classified into groups by their growth habit as high, intermediate and low. Evaluated where: Plant growth variables, gas exchange, and leaf anatomic characteristics. In most families there were significant differences in plant height within each except for 'Barri' and 'Reed'. In 'Aguilar' and 'Don Cris' we found that low plants had lower length internode (8.04 and 6.08 mm, respectively). In 'Colín V33' low plants had fewer internodes (49.75). The correlation analysis with families and plant morphological and anatomical and physiological variables leaf showed no significant relationship ($P=0.05$), however the analysis in each family showed some particularities. In 'Don Cris' a significant correlation was found in plant height-length internode ($r=0.85$), while in 'Aguilar' plant height-number of internodes ($r=0.57$). In the canonical discriminant analysis more discriminating variables were for the first function length internode and number of internodes, and for the second function CO_2 assimilation rate and stomatal conductance. The genotypes showed a large variation between and within families which hindered the generalization of features as possible selection indices for avocado seedling with a tendency to dwarfism.

Key words: *Persea americana*, growth habit, low size, short internodes, gas exchange, stomatal density.

INTRODUCCIÓN

Muchos cultivos de árboles frutales se producen en portainjertos específicos seleccionados por su utilidad particular, en la lucha contra las diversas plagas y enfermedades u otros problemas que prevalecen en los suelos. Los atributos necesarios de un portainjerto han sido más sofisticados en los últimos años, pero la limitación del crecimiento excesivo, mejora de la eficiencia de cultivo (rendimiento por tamaño de árbol) y reducción del tiempo necesario para que un árbol entre a cosecha (precocidad) siguen siendo los objetivos principales (Atkinson y Else, 2001). Buenos ejemplos donde esto es ahora una práctica común son la manzana y la pera (Coffey y Guillemet, 1987).

El control del tamaño de planta ha sido un objetivo importante desde hace años en muchas especies. La selección de genotipos enanos ha resultado en mejoras del rendimiento sobre todo en los cultivos de cereales (Khush, 2001), donde plantas enanas con un alto potencial de rendimiento, son un fenotipo atractivo para el mejoramiento de los cultivos (Li *et al.*, 2011).

Una de las prioridades en la investigación de aguacate es encontrar cultivares enanos que sean altamente productivos con buena calidad de la fruta y resistencia a plagas y enfermedades con el fin de establecer plantaciones de alta densidad y reducir costos de producción (Sánchez-Colín *et al.*, 1992).

En particular en el aguacate, de un buen portainjerto se espera que produzca un árbol longevo, de alto rendimiento y buena calidad de frutos en la variedad injertada. Es altamente deseable que sin reducir el rendimiento por área de copa y otras características como resistencia a plagas y enfermedades se obtengan árboles de porte bajo (Barrientos-Pérez y Barrientos-Priego, 1996).

Barrientos-Pérez y Sánchez-Colín (1982) indicaron que hay variabilidad genética para altura en segregantes de 'Colin V-33', con estimaciones de alta heredabilidad ($h^2 = 0.74$), así como significativa correlación negativa entre altura y número de ramas, a menor altura de planta mayor número de ramas, lo cual permite usar esta característica como índice de selección.

El intercambio de gases juega un papel muy importante en la fisiología de las plantas y la información referente a la morfología, densidad y frecuencia de los estomas puede ser de gran utilidad en la selección de plantas con enanismo (Barrientos *et al.*, 2003).

La identificación de características que permitan seleccionar a individuos con potencial de enanismo en plántulas es de gran importancia. La selección temprana traería como beneficios la incorporación de nuevos genotipos de manera rápida a los programas de mejoramiento y en las pruebas de evaluación pre-huerta. Con base a estos principios en el presente estudio se planteó el objetivo de evaluar si algunas características morfológicas, de intercambio de gases y anatómicas de hoja se relacionan con el enanismo en plantas de aguacate que permitan la agrupación por su hábito de crecimiento en plantas jóvenes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La presente investigación se realizó en un invernadero del Campo Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo.

Material vegetal

Como material vegetal se utilizaron 15 genotipos de aguacate provenientes de semilla (Cuadro 1) formando familias. En cada familia se clasificaron las plantas, de forma visual, de acuerdo a su crecimiento en plantas de porte alto, medio y bajo.

Cuadro 1. Genotipos de aguacate con tendencia a presentar plantas con enanismo.

Edad	Familia	Edad	Familia
2 Años	'Don Cris'	1 Año 9 Meses	'Amatenango V4'
	'Colín V-33'		'Tochimilco 7'
	'Aguilar'		'Árbol 40'
	'Barri'		'Tovar 2'
	'San Martín'		'Almoleya'
	'Pinkerton'		'Tochimilco 1'
	'Reed'		
	148 PLC		
	'Pionero'		

Diseño experimental

El diseño experimental utilizado fue un diseño completamente al azar. Como factor de estudio se usó las diferencias en crecimiento de planta dentro de cada familia, dividida en tres niveles de crecimiento alto, intermedio y bajo. La unidad experimental consistió en una planta y el número de repeticiones varió en función al número de plantas en cada familia, aunque el mínimo de plantas fue de cuatro y un máximo de 10 para cada grupo.

Variables morfológicas

Una vez clasificadas las plantas se realizó la medición de las variables en una sola ocasión: altura de planta mediante un flexómetro (cm), diámetro de tallo (mm) con un calibrador vernier digital General®, número de hojas por planta y número de entrenudos por planta conteo visual, y longitud promedio de entrenudos (mm) con un calibrador vernier digital General®.

Variables de intercambio de gases

En cada planta se seleccionó una hoja joven completamente madura y expandida, dónde se consideró la ubicada entre la quinta y séptima del ápice hacia la base del tallo. Una vez marcada se evaluaron mediante un sistema de fotosíntesis portátil CID Bio-Science (Modelo CI-340) las variables tasa de asimilación de bióxido de carbono, tasa de transpiración y conductancia estomática. Se realizó una medición puntual entre las 9:00 a las 14:30 horas del día y sin nublados, en el mes de septiembre de 2013. Un día antes de hacer las mediciones se realizó un riego.

Variables anatómicas en hoja

Después de haber tomado las variables de intercambio de gases, en la misma hoja previamente marcada, se obtuvo una impresión del envés de la parte media de la hoja con silicón fluido para impresiones (Exactoden). Mediante la aplicación de barniz transparente para uñas sobre la impresión (negativo) se obtuvo la impresión positiva, la cual se colocó sobre un portaobjeto y cubreobjetos. En las impresiones positivas en cada campo de observación se calculó el área con un micrómetro objeto, se determinó la densidad estomática (DE) por mm^2 y densidad de células epidérmicas (DCE) por mm^2 con la ayuda del analizador de imágenes ImageJ. Con dicha información se calculó el índice estomático (IE) (Salisbury, 1928) que es igual a: $IE = [DE/(DE+DCE)] \times 100$. Dichas variables fueron evaluadas en ocho campos (40x de objetivo y 10x de ocular) en un microscopio Motic B3 Profesional Series, con la adaptación de una cámara Moticom 480 con un adaptador de 16 mm.

Análisis estadístico

Se realizó un análisis de varianza y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS 9.0. Un análisis de correlación de Pearson con el programa Sigmaplot. Se realizó un análisis discriminante canónico (ADC) con la distancia de Mahalanobis para determinar las variables más discriminantes, también se realizó la prueba de resustitución para determinar

la pertinencia de la clasificación *a priori*. Se realizó un análisis de agrupamiento utilizando la distancia Euclidiana y el método de aglomeramiento de varianza mínima de Ward para generar un dendrograma jerárquico. El dendrograma resultante fue dividido de acuerdo al pseudo-estadístico t^2 de Hotelling (Johnson, 1998).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Comparación de medias dentro de cada genotipo

Variables morfológicas

Al igual que lo obtenido por Barrientos-Pérez y Barrientos-Priego (1996) en plántulas de un año en 'Colín V-33', se encontró una gran variación en las características en estudio. De acuerdo con la prueba de comparación de medias se observaron diferencias significativas en ciertas variables para determinadas familias. Así para altura en todos las familias hubo diferencias significativas y en general plantas de porte bajo tuvieron menor altura y de porte alto con mayor altura, esto debido a que se realizó la clasificación de las plantas en cada familia con el criterio de altura de planta. Respecto a diámetro se observó que en 'Don Cris' y 'Pionero' las plantas de porte alto e intermedio fueron las que presentaron mayor diámetro; en 'Aguilar', 'Colín V-33' y 'Reed' se observó que plantas de porte intermedio comparten similitud con plantas de porte alto y bajo, de mayor y menor diámetro, respectivamente. De acuerdo a lo anterior podría considerarse que la plantas de porte bajo tienden a presentar diámetros menores. El cv. Don Cris' mostró que referente a número de entrenudos las plantas de porte alto y bajo fueron las de mayor número, mientras que para longitud de entrenudos fue menor en plantas de porte bajo y mayor en las de porte alto. En 'Pionero', para número de entrenudos las plantas de porte alto comparten similitud con plantas de porte intermedio de mayor valor y las de porte bajo de menor valor para dicha variable, y para la longitud de entrenudos se observó que las plantas de porte bajo fueron las de menor longitud y las de porte alto las de mayor longitud (Cuadro 2).

Cuadro 2. Valores medios de las variables físicas de nueve familias de aguacate de dos años de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.

Familia	Clasificación	AL	DI	NH	NE	LE
‘Pinkerton’	Alto	78.6 a ^z	7.94 a	35.68 a	67.0 a	11.43 a
	Medio	71.82 b	7.90 a	40.5 a	61.5 a	11.04 a
	Bajo	59.28 c	8.31 a	30.87 a	61.25 a	8.25 a
	CV	5.65	10.61	28.01	17.03	35.63
‘Don Cris’	Alto	68.18 a	6.54 a	34.5 a	41.20 a	20.23 a
	Medio	43.14 b	6.20 a	29.7 a	33.80 b	17.00 b
	Bajo	26.24 c	4.53 b	30.0 a	43.20 a	6.07 c
	CV	11.88	12.36	21.92	11.85	14.28
‘Aguilar’	Alto	72.98 a	8.3 a	38.33 a	74.56 a	11.41 a
	Medio	58.89 b	7.19 ab	34.44 a	67.56 a	11.95 a
	Bajo	48.5 c	6.57 b	33.56 a	59.44 a	8.03 b
	CV	8.77	14.40	33.96	19.18	22.54
‘Colín V-33’	Alto	63.46 a	8.19 a	32.77 a	71.08 a	9.2 a
	Medio	46.92 b	7.17 ab	26.75 a	64.33 a	7.51 a
	Bajo	33.81 c	7.04 b	24.00 a	49.75 b	7.29 a
	CV	13.55	14.83	38.66	17.20	27.93
‘Barri’	Alto	59.27 a	8.20 a	34.25 a	82.75 a	10.84 a
	Medio	52.07 a	8.75 a	30.0 a	74.25 a	11.26 a
	Bajo	37.92 b	8.15 a	35.0 a	75.00 a	7.52 a
	CV	10.51	12.08	18.49	12.08	21.74
‘Reed’	Alto	77.95 a	8.2 a	35.36 a	68.09 a	11.37 a
	Medio	64.75 b	7.19 ab	30.82 a	66.00 a	11.29 a
	Bajo	52.82 c	6.57 b	28.18 a	56.82 a	13.73 a
	CV	12.23	14.85	27.06	17.63	39.52
‘148 PLS’	Alto	69.17 a	8.12 a	26.25 a	82.50 a	11.16 a
	Medio	58.20 b	7.00 a	33.25 a	74.75 a	9.67 a
	Bajo	49.25 c	7.62 a	26.00 a	73.00 a	9.5 a
	CV	5.30	9.88	36.83	9.37	19.33
‘San Martín’	Alto	67.75 a	8.15 a	85.00 a	106.25 a	8.11 a
	Medio	45.60 b	7.05 a	35.50 a	82.75 ab	6.20 a
	Bajo	26.65 c	5.62 a	51.75 a	62.00 b	4.67 a
	CV	20.57	23.23	80.12	25.21	38.35
‘Pionero’	Alto	68.63 a	7.74 a	32.20 ab	67.4 ab	13.22 a
	Medio	43.68 b	7.91 a	37.9 a	71.7 a	7.74 b
	Bajo	23.47 c	5.89 b	24.4 b	59.6 b	4.20 c
	CV	17.33	14.24	31.34	14.34	31.16

^zValores con la misma letra dentro de cada genotipo en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación (%); AL: altura de planta (cm); DI: Diámetro de planta (cm); NH: Número de hojas por planta; NE: Número de entrenudos por planta; LE: Longitud de entrenudos (cm).

En ‘Aguilar’ se encontró que plantas de porte bajo fueron las de menor longitud de entrenudos, mientras que las de porte intermedio y alto fueron estadísticamente similares con mayor longitud. En ‘Colín V-33’ el número de entrenudos en plantas de porte bajo tuvieron menor número y plantas de porte alto e intermedio con mayor número de entrenudos. Para ‘San Martín’ el número

de entrenudos en plantas de porte intermedio fueron similares con las de porte alto y bajo, de mayor y menor número de entrenudos, respectivamente (Cuadro 2).

En el segundo grupo de familias se observó un comportamiento similar al primer grupo. Para altura en todos los genotipos las plantas de porte bajo tuvieron la menor altura y plantas de porte alto con mayor altura (Cuadro 3).

En 'Amatenango V4' se presentaron diferencias significativas en número de entrenudos donde plantas de porte alto e intermedio presentaron el mayor número. En el caso de 'Tochimilco 7' se presentaron diferencias significativas para número de entrenudos y longitud de entrenudos, en número de entrenudos las plantas de porte alto presentaron mayor número, y las de porte bajo e intermedio tuvieron menor número; en longitud de entrenudos las de porte bajo con menor longitud y de porte intermedio y alto con mayor longitud, mismo comportamiento presentó el 'Árbol 40'. Para 'Almoleya' el número de entrenudos de plantas de porte intermedio fueron similares a las de porte alto y bajo de mayor y menor número de entrenudos, respectivamente. El 'Tochimilco 1' presentó en la variable longitud de entrenudos en plantas de porte alto, mayor longitud y las de porte intermedio y bajo menor longitud (Cuadro 3).

Para diámetro las familias 'Tochimilco 7' y 'Almoleya' presentaron el mismo comportamiento, plantas de porte intermedio y bajo fueron similares con menor diámetro; y en el caso de 'Tovar 2' plantas de porte intermedio fueron similares a plantas de porte alto y bajo, con mayor y menor diámetro, respectivamente (Cuadro 3).

Las variables número de entrenudos y longitud de entrenudos son características de interés que pueden estar influyendo en la determinación de la altura final de una planta; sin embargo, de acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio se observó que hay una gran variación, pero hay ciertas coincidencias en ambos grupos de genotipos, mostrando casos en los que la altura puede estar determinada por las variables antes indicadas. Tal es el caso de 'San Martín',

‘Colín V-33’, ‘Amatenango V4’ y ‘Almoleya’, en donde las plantas de porte bajo tienden a tener el menor número de entrenudos. En el caso de manzano el portainjerto M.9 presenta menor número de nudos por rama, comparado con MM.106 cuando son usados como portainjertos de ‘Royal Gala’ (Seleznayova *et al.*, 2003). Para estos genotipos la longitud de entrenudos no presentó diferencias significativas, por lo cual número de entrenudos estaría determinando la altura en plantas para estos genotipos.

Cuadro 3. Valores medios de las variables físicas de seis familias de aguacate de un año y nueve meses de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.

Familias	Clasificación	AL	DI	NH	NE	LE
‘Amatenango V4’	Alto	65.51 a ^z	6.67 a	40.25 a	72.62 a	8.50 a
	Medio	52.51 b	6.24 a	40.12 a	69.37 a	6.74 a
	Bajo	35.96 c	6.16 a	37.37 a	51.62 b	8.10 a
	CV	10.44	12.91	25.49	18.68	23.88
‘Tochimilco 7’	Alto	96.3 a	6.99 a	38.6 a	68.60 a	12.14 a
	Medio	65.75 b	5.5 b	41.7 a	62.2 ab	10.02 a
	Bajo	41.68 c	4.5 b	34.0 a	54.20 b	6.20 b
	CV	12.79	16.49	29.93	16.94	26.79
‘Árbol 40’	Alto	84.18 a	6.99 a	53.40 a	84.20 a	10.55 a
	Medio	59.57 b	6.74 a	44.50 a	73.60 a	9.23 a
	Bajo	40.79 c	6.15 a	42.60 a	74.10 a	5.65 b
	CV	10.85	16.30	27.84	20.43	32.57
‘Tovar 2’	Alto	66.24 a	7.30 a	49.70 a	75.00 a	10.15 a
	Medio	54.62 b	6.89 ab	41.80 a	71.90 a	8.26 a
	Bajo	41.26 c	5.79 b	43.70 a	65.00 a	7.69 a
	CV	12.91	18.02	38.32	19.16	30.07
‘Almoleya’	Alto	68.41 a	7.07 a	41.86 a	72.71 a	9.72 a
	Medio	41.01 b	4.83 b	33.14 a	59.29 ab	7.06 a
	Bajo	29.31 a	3.96 b	36.43 a	44.86 b	7.38 a
	CV	18.34	19.68	40.77	27.83	30.67
‘Tochimilco 1’	Alto	74.00 a	7.5 a	57.00 a	82.83 a	10.32 a
	Medio	56.02 b	6.95 a	51.33 a	79.83 a	7.66 ab
	Bajo	36.25 c	5.48 a	43.00 a	70.83 a	5.75 b
	CV	14.10	21.41	43.08	17.45	30.02

^zValores con la misma letra dentro de cada genotipo en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación (%), AL: altura de planta (cm), DI: Diámetro de planta (cm), NH: Número de hojas por planta, NE: Número de entrenudos por planta, LEP: Longitud de entrenudos (cm).

La variable longitud de entrenudos para 'Don Cris', 'Pionero', 'Aguilar', 'Tochimilco 7', 'Almoloya' y 'Tochimilco 1' en el porte está determinado por esta característica ya que las plantas de porte bajo tienen significativamente la menor longitud, lo cual concuerda con Weibel *et al.* (2003) en durazno, ellos indicaron que los patrones estacionales de crecimiento de los brotes no variaron sustancialmente entre los árboles en los diferentes portainjertos, pero las diferencias en longitud de brotes estaban relacionados principalmente a la longitud internodal en lugar del número de nudos.

En los casos que se presentaron diferencias significativas tanto para número de entrenudos y longitud de entrenudos, la mayor influencia se debe a la longitud, por ejemplo, en 'Don Cris' las plantas de porte alto y bajo similares en número de entrenudos, las de porte alto presentaron mayor longitud de entrenudo fueron las de mayor altura y por el contrario las de porte bajo con menor longitud de entrenudo fueron las de menor altura. Seleznyova *et al.* (2003) mencionaron que la diferencia en tamaño de las ramas de manzana inducida por la combinación portainjerto/interinjerto se debió principalmente a una reducción en la longitud y el número de nodos formados en las unidades de crecimiento de extensión (brotes).

Variables de intercambio de gases

Analizando las familias con dos años de edad se observó que en la mayoría de ellas, a excepción de 'San Martín', no hubo diferencias significativas en tasa de asimilación de CO₂, tasa de transpiración y conductancia estomática dentro de los genotipos (Cuadro 4).

Con base en los resultados se piensa que el intercambio de gases se expresan de la misma manera sin importar si se trata de plantas de porte alto, intermedio o bajo. Sin embargo, 'San Martín' fue un caso particular al presentar diferencias, donde se observó que las plantas de porte intermedio presentaron mayor tasa de asimilación de CO₂, y la tasa de transpiración fue mayor en plantas de porte bajo comparadas con las de porte alto, pero igual a las de porte medio.

Cuadro 4. Valores medios de las variables de intercambio de gases de nueve familias de aguacate de dos años de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.

Familia	Clasificación	TAS	TT	TCE
'Pinkerton'	Alto	1.55 a ^z	0.48 a	15.21 a
	Medio	2.02 a	0.67 a	19.67 a
	Bajo	2.07 a	0.42 a	13.31 a
	CV	35.61	41.06	40.80
'Don Cris'	Alto	1.49 a	0.53 a	15.11 a
	Medio	1.76 a	0.53 a	19.17 a
	Bajo	1.27 a	0.67 a	23.14 a
	CV	43.40	40.77	46.48
'Aguilar'	Alto	1.74 a	0.61 a	16.88 a
	Medio	1.94 a	0.70 a	16.75 a
	Bajo	1.84 a	0.73 a	19.97 a
	CV	36.36	26.32	32.95
'Colín V-33'	Alto	1.49 a	0.69 a	15.01 a
	Medio	1.85 a	0.74 a	16.72 a
	Bajo	1.82 a	0.78 a	20.45 a
	CV	45.41	43.43	53.83
'Barri'	Alto	1.57 a	0.00 a	0.10 a
	Medio	2.12 a	0.01 a	0.65 a
	Bajo	1.23 a	0.06 a	2.54 a
	CV	57.76	256.65	249.67
'Reed'	Alto	2.72 a	0.73 a	27.37 a
	Medio	1.90 a	0.66 a	21.87 a
	Bajo	1.75 a	0.70 a	20.90 a
	CV	45.47	42.80	46.17
'148 PLS'	Alto	1.88 a	0.83 a	23.42 a
	Medio	2.06 a	0.79 a	21.18 a
	Bajo	1.53 a	0.77 a	20.68 a
	CV	31.45	27.05	31.09
'San Martín'	Alto	1.25 b	0.07 b	5.04 a
	Medio	3.57 a	0.30 ab	20.67 a
	Bajo	2.71 ab	0.35 a	21.08 a
	CV	43.10	49.47	53.11
'Pionero'	Alto	2.87 a	0.60 a	28.72 a
	Medio	3.46 a	0.80 a	35.20 a
	Bajo	2.56 a	0.74 a	29.94 a
	CV	39.16	39.99	49.21

^zValores con la misma letra dentro de cada genotipo en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación (%), TAS: Tasa de asimilación de CO₂, TT: Tasa de transpiración, TCE: Tasa de conductancia estomática

Para las familias de un año y nueve meses se presentó un comportamiento diferente. En 'Tochimilco 7' y 'Almoleya' se encontró que para la tasa de transpiración las plantas de porte bajo fueron de mayor actividad y con menor actividad las de porte intermedio y alto. En el caso de 'Tovar 2' para la tasa de transpiración, las plantas de porte intermedio y bajo tuvieron mayor transpiración,

y en conductancia estomática las plantas de porte bajo presentaron una mayor actividad que las de porte alto, aunque siendo igual a las de porte intermedio (Cuadro 5).

Cuadro 5. Valores medios de las variables de intercambio de gases de seis familias de aguacate de un año y nueve meses de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.

Familia	Clasificación	TAS	TT	TCE
‘Amatenango V4’	Alto	1.95 a ^z	0.56 a	19.95 a
	Medio	2.42 a	0.59 a	23.22 a
	Bajo	2.57 a	0.58 a	27.53 a
	CV	28.08	27.62	34.16
‘Tochimilco 7’	Alto	2.79 a	0.40 b	20.85 a
	Medio	2.97 a	0.41 b	25.06 a
	Bajo	2.42 a	0.74 a	29.99 a
	CV	41.63	50.33	54.92
‘Árbol 40’	Alto	1.81 a	0.35 a	16.15 a
	Medio	2.45 a	0.47 a	20.85 a
	Bajo	2.01 a	0.61 a	31.41 a
	CV	42.47	63.99	79.69
‘Tovar 2’	Alto	2.30 a	0.55 b	19.08 b
	Medio	2.70 a	0.88 a	31.76 ab
	Bajo	2.45 a	0.97 a	33.78 a
	CV	32.83	35.57	41.95
‘Almoloya’	Alto	2.27 a	0.46 b	23.98 a
	Medio	2.98 a	0.52 b	32.19 a
	Bajo	3.40 a	1.25 a	52.66 a
	CV	35.36	62.68	63.64
‘Tochimilco 1’	Alto	2.08 a	0.53 a	16.84 a
	Medio	2.17 a	0.80 a	24.06 a
	Bajo	1.66 a	0.46 a	14.19 a
	CV	35.90	40.29	42.79

^zValores con misma letra dentro de cada genotipo en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación, TAS: Tasa de asimilación de CO₂, TT: Tasa de transpiración, TCE: Tasa de conductancia estomática.

Los resultados obtenidos no presentan evidencia de una relación clara de las variables de intercambio de gases evaluadas con respecto al porte de la planta para la mayoría de los genotipos. En árboles de manzana ‘Empire’ sobre diferentes portainjertos con diferentes gradientes de enanismo, no presentaron diferencias entre los portainjetos en transpiración y conductancia estomática durante el día (Olien y Lakso, 1984). Aunque en algunos genotipos en particular

si se encontraron diferencias, por lo que no se puede generalizar una asociación entre el porte e intercambio de gases.

En tres familias se presentaron diferencias y de forma general en ellas se observa que las plantas de porte bajo tienden a tener valores más altos. En árboles de manzana el portainjerto M9 comparado con M7 (semi-vigoroso) tuvieron alta tasa de asimilación de CO₂ y tasa de transpiración durante la estación de crecimiento (Fallahi *et al.*, 2002). Por otra parte, Schechter *et al.* (1991a) indicaron que los árboles que crecen en portainjertos vigorosos tuvieron mayores tasas de asimilación de CO₂ en hojas de brotes terminales que los de portainjertos enanos. Cabe indicar que los casos anteriores fueron de portainjertos sin injertar y el otro ya injertados, por lo que las relaciones injerto/ portainjerto deben estar afectando la respuesta, en el presente caso fueron plantas sin injertar y solo en tres familias se observó diferencias y no en todas las variables de intercambio de gases.

Variables anatómicas de hoja

Se encontraron diferencias para índice estomático en 'Colín V-33' donde plantas de porte bajo y alto tuvieron mayor índice, en 'Tochimilco 7' plantas de porte bajo tuvieron menor índice, y en 'Amatenango V4' plantas de porte alto presentaron menor índice (Cuadro 6 y 7).

La variación fue de 19.71 para 'Barri' (porte bajo) a 27.74 en 'San Martín' (porte alto), valores cercanos a los indicados por Barrientos-Priego *et al.* (2003) que fueron de 20.1 (raza Antillana) a 25.5 (raza Mexicana), pero que sobrepasan los extremos. Por otra parte indican que este índice se mantiene constante en el perfil de las plantas provenientes de semilla, no así la densidad estomática y de células epidérmicas.

Se esperaba que el índice estomático fuera el carácter que pudiera hacer una identificación clara de los individuos de porte bajo, debido a que este índice presenta una mayor estabilidad en la planta a diferencia de DE y DCE, sin embargo no se descarta la posibilidad de ser usado como carácter de selección

puesto que se observaron diferencias en ‘Colin V-33’ el cual es un genotipo modelo que ha sido usado como fuente de plantas de porte bajo.

Cuadro 6. Valores medios de las variables anatómicas de hoja de seis familias de aguacate de dos años de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.

Familia	Clasificación	DE	DCE	IE
‘Pinkerton’	Alto	529.19 a ^z	1904.2 a	21.55 a
	Medio	471.25 a	1650.8 a	22.11 a
	Bajo	558.37 a	1751.1 a	23.89 a
	CV	26.67	19.81	10.42
‘Don Cris’	Alto	483.29 b	1471.9 b	24.49 a
	Medio	502.04 b	1588.9 b	23.74 a
	Bajo	673.74 a	2305.4 a	22.77 a
	CV	26	21.74	12.15
‘Aguilar’	Alto	461.85 a	1704.41 a	21.33 a
	Medio	465.31 a	1685.64 a	21.60 a
	Bajo	424.87 a	1589.74 a	21.13 a
	CV	14.54	11	10.12
‘Colín V-33’	Alto	507.27 a	1709.8 a	22.91 a
	Medio	413.79 b	1602.8 a	20.56 b
	Bajo	424.8 ab	1468.2 a	22.43 a
	CV	19.21	18.38	7.64
‘Barri’	Alto	574.58 a	1951.8 a	22.88 a
	Medio	436.23 b	1637.7 a	21.13 a
	Bajo	447.59 b	1847.4 a	19.71 a
	CV	11.83	14.96	12.99
‘Reed’	Alto	519.17 a	1732.2 a	23.05 a
	Medio	516.90 a	1871.4 a	21.64 a
	Bajo	473.39 a	1516.0 a	23.90 a
	CV	21.89	20.72	9.89
‘148 PLS’	Alto	503.56 a	1714.4a	22.73a
	Medio	415.46 a	1412.6	22.79a
	Bajo	551.44 a	1678.2a	24.70a
	CV	16.76	17.03	6.10
‘San Martín’	Alto	356.47 b	982.14 c	27.74 a
	Medio	403.36 b	1210.38 b	24.93 a
	Bajo	634.65 a	1879.53 a	25.20 a
	CV	9.96	7.58	7.82
‘Pionero’	Alto	594.77 a	1833.70 a	24.57 a
	Medio	518.99 ab	1680.60 a	23.57 a
	Bajo	463.35 b	1538.10 a	22.97 a
	CV	20.67	18.15	8.82

^zValores con la misma letra dentro de cada cultivar en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación (%), DE: Densidad estomática por mm², DCE: Densidad de células estomáticas por mm², IE: Índice estomático en porcentaje.

En densidad de células epidérmicas se observaron diferencias en 'Don Cris' y 'San Martín' donde plantas de porte bajo tuvieron mayor número de células, ambos genotipos se caracterizan por tener fenotipos en su plantas de porte bajo con entrenudos muy cortos y hojas más pequeñas (Cuadro 6). Mientras que en 'Amatenango V4', 'Arbol 40' y 'Tochimilco 1' se observó que plantas de porte bajo tuvieron menor densidad y porte alto con mayor densidad fueron similares a las de porte intermedio; y en 'Almoloya' plantas de porte intermedio y porte bajo fueron de menor densidad de células (Cuadro 7). Se presentó una variación de 917.3 células mm⁻² en 'Tochimilco 1' (porte bajo) a 2305.4 células mm⁻² para 'Don Cris' (porte bajo), cuyo valor inferior coincide con lo indicado por Barrientos-Priego *et al.* (2003) y superan mucho al extremo mayor, ya que ellos encontraron hasta 1069 células mm⁻².

La variación encontrada para densidad estomática fue de 687.0 para 'Tochimilco 7' (porte alto) a 321.73 en 'Tochimilco 1' (porte bajo) (Cuadro 7), lo cual sobrepasa los valores extremos indicados por Barrientos-Priego *et al.* (2003), aunque hay que indicar que estos autores utilizaron plantas de las tres razas de aguacate de un porte alto, de acuerdo a Barrientos-Pérez y Sánchez-Colín (1983) y Barrientos y Sánchez (1987) existe una correlación entre la densidad estomática y el hábito de crecimiento del árbol en aguacate, dónde a mayor densidad menor porte del árbol y viceversa. Esto último concuerda a lo encontrado en 'San Martín' y 'Don Cris', pero no para otros individuos como 'Colín V-33', 'Barri', 'Almoloya', 'Amatenango V4' y 'Tochimilco 7' dónde los individuos de porte alto presentaron mayor densidad estomática (Cuadro 6 y 7). Al respecto, 'San Martín' y 'Don Cris' se distinguen fácilmente de otras plantas de mayor tamaño por sus entrenudos cortos y mucho menor tamaño que es un tipo de enanismo denominado braquíptico como el encontrado en durazno y es debido a un gen recesivo (*dwdw*) (Scorza *et al.*, 2002), no así para los otros tipos de enanos de porte bajo como 'Colín V-33' y algunos individuos de su progenie, que se caracterizan por tener aborto de yemas apicales (poda natural) y crecimiento de ramas laterales que lo mantienen enano (Barrientos-Pérez y Sánchez-Colín

(1983). Estos últimos tipos en su desarrollo inicial crecen con un aspecto normal y después ya que entran en producción al parecer dejan de crecer y su copa se mantiene compacta y cuando se injertan presentan este tipo de enanismo (Barrientos-Priego, 2015; comunicación personal). Por lo que la pre-clasificación que se realizó por altura es probable que tuvo el sesgo de incluir en plantas de porte alto plantas con potencial enano y que algunas clasificadas como de porte bajo sean potenciales de plantas altas.

Cuadro 7. Valores medios de las variables anatómicas de hoja de seis familias de aguacate de un año y nueve meses de edad con tendencia a presentar plantas con enanismo.

Familia	Clasificación	DE	DCE	IE
‘Amatenango V4’	Alto	647.80 a ^z	2044.0 a	24.04 b
	Medio	485.77 ab	1416.5 ab	25.62 a
	Bajo	367.86 b	1084.3 b	25.26 ab
	CV	37.88	39.64	4.66
‘Tochimilco 7’	Alto	687.00 a	1982.5 a	25.54 a
	Medio	612.76 ab	1889.9 a	24.47 ab
	Bajo	477.36 b	1613.3 a	22.82 b
	CV	29.90	20.08	7.32
‘Árbol 40’	Alto	601.85 a	1906.1a	23.86a
	Medio	555.63 a	1750.9ab	24.13a
	Bajo	488.14 a	1550.3b	23.85a
	CV	20.25	16.55	7.85
‘Tovar 2’	Alto	501.93 ab	1480.5 a	25.35 a
	Medio	578.26 a	1740.5 a	25.38 a
	Bajo	399.09 b	1267.8 a	25.01 a
	CV	22.96	32.90	9.63
‘Almoleya’	Alto	513.93 a	1449.5 a	26.19 a
	Medio	389.72 b	1125.9 b	25.67 a
	Bajo	367.79 b	1026.5 b	26.43 a
	CV	19.75	19.60	7.01
‘Tochimilco 1’	Alto	431.41 a	1344.1 a	24.35 a
	Medio	436.06 a	1298.9 ab	24.89 a
	Bajo	321.73 a	917.3 b	26.08 a
	CV	24.61	22.84	5.63

^zValores con la misma letra dentro de cada cultivar en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación, DE: Densidad estomática por mm², DCE: Densidad de células estomáticas por mm², IE: Índice estomático en porcentaje.

Análisis de correlación

Al realizar el análisis de correlación general que incluye a todas las variables no se encontró alguna correlación en las variables físicas (Cuadro 8), en el caso de segregantes de aguacate 'Colín V33' no se encontró ninguna relación significativa entre las características morfológicas de plantas de un año de edad y su potencial enanizante después de 6 años de ser injertados con diferentes variedades de diferente hábito de crecimiento (Barrientos-Pérez y Barrientos-Priego, 1996).

En las variables fisiológicas se encontraron correlaciones positivas altamente significativas entre las variables tasa de asimilación de CO₂ – tasa de transpiración ($r=0.55$), tasa de asimilación de CO₂ – conductancia estomática ($r=0.71$) y tasa de transpiración – conductancia estomática ($r=0.86$). En las variables anatómicas se encontró una correlación positiva altamente significativa entre densidad estomática – densidad de células epidérmicas ($r=0.85$), similar a los coeficientes de correlación encontrados por Barrientos-Priego *et al.* (2003) que muestran una asociación positiva y significativa entre ellas. Estos autores encontraron correlación negativa entre la densidad de células epidérmicas y el índice estomático, lo cual no se encontró en el presente estudio.

Al realizar el análisis de correlación por familias se encontraron algunas correlaciones significativas ($P \leq 0.05$) y altamente significativas ($P \leq 0.01$). Se observaron correlaciones altamente significativas entre altura – longitud de entrenudos en 'Don Cris', 'Barri', 'Pionero', 'Tochimilco 7', 'Árbol 40' y 'Tochimilco 1' ($r=0.85$, $r=0.76$, $r=0.86$, $r=0.75$, $r=0.57$ y $r=0.62$, respectivamente), correlaciones en altura – número de entrenudos en 'Aguilar', 'Colín V-33', 'Amatenango V4', 'Tochimilco 7' y 'Almoleya' ($r=0.57$, $r=0.66$, $r=0.59$, $r=0.60$ y $r=0.72$, respectivamente) y para el caso de 'San Martín' se encontraron correlaciones significativas tanto de altura – longitud de entrenudos ($r=0.67$) como en altura – número de entrenudos ($r=0.68$).

Cuadro 8. Coeficientes de correlación que incluye a 15 familias con tendencia a presentar plantas con enanismo (403 individuos).

	DI	NH	NE	LE	TAS	TT	CE	DE	DCE	IE
AL	0.462	0.171	0.363	0.477	-	-0.221	-0.211	0.239	0.208	0.0177
	9.75E-20 403	0.000587 403	4.94E-11 403	3.05E-21 403	0.0253 0.612 403	0.00000735 403	0.0000198 403	0.00000123 403	0.0000257 403	0.724 403
DI		0.118	0.361	0.211	-	-0.198	-0.313	0.131	0.184	-0.132
		0.0183	7.52E-11 403	0.0000204 403	0.0824 0.0987 403	0.0000654 403	1.25E-10 403	0.00836 403	0.000205 403	0.008 403
NH			0.311	-0.0428	0.011	-0.177	-0.0831	-0.03	-0.132	0.2
			1.78E-10 403	0.391 403	0.826 403	0.000364 403	0.0957 403	0.549 403	0.00791 403	0.0000506 403
NE				-0.203	0.0154	-0.146	-0.111	0.106	0.0439	0.109
				0.0000418 403	0.758 403	0.00338 403	0.026 403	0.0329 403	0.38 403	0.0285 403
LE					-	-0.103	-0.143	0.104	0.0951	-0.00941
					0.0918 0.0658 403	0.0389 403	0.0041 403	0.0368 403	0.0565 403	0.851 403
TAS						0.549	0.712	0.0561	-0.0399	0.182
						4.66E-30 403	1.94E-60 403	0.261 403	0.424 403	0.000246 403
TT							0.864	-0.0512	-0.0703	0.0423
							2.10E-118 403	0.305 403	0.159 403	0.397 403
CE								0.00931	-0.081	0.181
								0.852 403	0.105 403	0.000267 403
DE									0.852	0.261
									5.58E-112 403	1.01E-07 403
DCE										-0.264
										7.59E-08 403

** Altamente significativo ($P \leq 0.01$), AL: altura de planta; DI: Diámetro de planta, NH: Número de hojas por planta, NE: Número de entrenudos por planta, LE: Longitud de entrenudos, TAS: Tasa de asimilación de CO₂, TT: Tasa de transpiración, CE: Conductancia estomática, DE: Densidad estomática por mm², DCE: Densidad de células estomáticas por mm², IE: Índice estomático.

Otra correlación altamente significativa fue altura – diámetro de tallo en los genotipos ‘Don Cris’ ($r=0.70$), ‘Aguilar’ ($r=0.54$), ‘San Martín’ ($r=0.64$), ‘Pionero’ ($r=0.61$), ‘Tochimilco 7’ ($r=0.76$), Almoloya ($r=0.83$) y ‘Tochimilco 1’ ($r=0.68$). En ‘Don Cris’ y ‘San Martín’ se encontró una correlación negativa altamente significativa entre altura – densidad de células epidérmicas con coeficientes de correlación de $r=-0.56$ y $r=-0.79$, mientras que para ‘Amatenango V4’, ‘Árbol 40’ y ‘Almoloya’ las correlaciones fueron positivas $r=0.64$, $r=0.56$, $r=0.54$, respectivamente. En ‘Barri’ y ‘Tochimilco 7’ una correlación positiva significativa y altamente significativa, respectivamente, entre altura – índice estomático ($r=0.65$ y $r=0.64$). Para altura – densidad estomática en ‘San Martín’ fue negativa y altamente significativa ($r=-0.78$), positiva y altamente significativa en ‘Amatenango V4’ y ‘Tochimilco 7’ con $r=0.62$ y $r=0.56$, respectivamente, y solo significativa para ‘Almoloya’ con $r=0.53$. En el caso de ‘San Martín’ se presentó una correlación negativa y significativa en altura y tasa de transpiración y altura –conductancia estomática con $r=-0.71$ y $r=-0.64$, respectivamente.

Además, se observó una correlación positiva altamente significativa en diámetro – longitud de entrenudos en ‘Don Cris’ ($r=0.75$), Pionero ($r=0.50$), ‘Tochimilco 7’ ($r=0.60$) y ‘Tochimilco 1’ ($r=0.60$). En ‘Pionero’, ‘Tochimilco 7’ y ‘Almoloya’ una correlación positiva altamente significativa para diámetro – número de estomas ($r=0.67$, $r=0.71$, $r=0.73$, respectivamente). Para ‘Barri’ y ‘Tochimilco 7’ una correlación altamente significativa en diámetro – índice estomático con $r=0.60$ y $r=0.59$. En Tovar 2 una correlación altamente significativa en diámetro – densidad estomática con $r=0.66$ y diámetro – densidad de células epidérmicas con $r=0.68$.

En ‘Don Cris’ y ‘Tochimilco 7’ correlaciones altamente significativas en longitud de entrenudos – densidad estomática, la primera negativa y la segunda positiva ($r=-0.52$ y $r=0.54$, respectivamente) y en ‘Don Cris’ la longitud de entrenudos – densidad de células epidérmicas fue de $r=-0.68$. Se encontró una correlación significativa en número de entrenudos – índice estomático para ‘Barri’ y ‘Tochimilco 7’ altamente significativa con una $r=0.61$ y $r=0.65$, respectivamente. En el caso de ‘San Martín’ correlaciones negativas altamente

significativas en número de entrenudos con tasa de transpiración ($r=-0.68$), conductancia estomática ($r=-0.64$), densidad estomática ($r^2=-0.61$), densidad de células epidérmicas ($r=-0.58$). En 'Árbol 40' correlaciones altamente significativas para número de entrenudos – densidad estomática ($r=0.65$) y número de entrenudos – densidad de células epidérmicas ($r^2=0.54$).

Con el análisis de correlación para cada una de las familias se observan relaciones que se habían planteado con los resultados de la prueba de comparación de medias. Por su parte Barrientos-Pérez y Barrientos-Priego (1996) al realizar el análisis por grupo de porte encontraron algunas correlaciones significativas en el grupo de porte bajo entre altura de planta de un año - reducción de altura del injerto de 6 años, diámetro de planta de un año - reducción de altura, del injerto de 6 años, entre otras. Esto hace pensar que cada genotipo tiene sus particularidades y como ya se había mencionado existen por lo menos dos tipos de plantas de porte bajo, las enanas de entrenudos cortos conocidos como braquíticos que es el caso de 'San Martín' y 'Don Cris' y los que tienen mayor ramificación y poda natural como en las progenies de 'Colín V-33'.

Es así que en este estudio observamos una mayor relación de la altura con el número de entrenudos y su longitud, al estar presente en un mayor número de genotipos y al ser una correlación positiva indica que a mayor longitud o número de entrenudos será mayor la altura. Otra variable que aparece relacionada con la altura es el diámetro, la cual indica que a mayor altura mayor será el diámetro, coincidiendo con lo indicado por Sánchez-Colín *et al.* (1982) quienes encontraron una correlación positiva entre el diámetro del tronco y la altura ($r = 0.50$) en una progenie de 'Colín V-33'.

También se hace evidente que hay relaciones de altura con características anatómicas y de intercambio de gases de la hoja, pero son muy variables ya que, en el caso de densidad estomática y conductancia estomática en genotipos del primer grupo se presentan correlaciones negativas mientras que para genotipos del segundo se presentan correlaciones positivas, y en el caso de índice

estomático se observó una correlación positiva para las familias donde se presentó.

Se aprecia en general que las variables de intercambio gaseoso mostraron poca relación en la altura de plantas y es tan solo presente en 'San Martín', para el que podrían considerarse estas características como indicadores de plantas de porte bajo. Por lo que no se puede realizar preselección con características aisladas, si no que se tienen que considerar varias y de preferencia dentro de cada parental ya que entre parentales no se encuentran correlaciones.

Análisis Discriminante Canónico

Se realizó un primer análisis discriminante canónico que incluyó a todas las familias evaluadas y variables en este estudio, observando que en las primeras dos funciones se explica la variación entre las plantas, encontrando que la primer función canónica total aleatorizada y estandarizada describe a la variable altura de planta como una característica discriminante y para la segunda función canónica fuertemente asociada con la tasa de asimilación de CO₂ y la tasa de conductancia estomática. Con los resultados de clasificación encontramos que 70.5 % de casos agrupados originales fueron clasificados correctamente. Por lo anterior se decidió identificar a las plantas clasificadas correctamente (284 genotipos del total inicial) y hacer nuevamente el análisis discriminante canónico y el análisis de agrupamiento, con el fin de identificar posibles variables discriminantes en la clasificación de plantas de porte bajo. Por lo que se decidió eliminar la variable altura de planta puesto que tiene relación con el porte de la planta y bajo el supuesto de usar genotipos correctamente clasificados y así, evitar darle mayor peso a dicha variable.

EL análisis se realizó utilizando el porte de planta como variable clasificatoria; los resultados indicaron que únicamente son necesarias las dos primeras funciones canónicas (FC) para explicar la variabilidad existente entre los diferentes genotipos de aguacate por lo que solo se consideró estas funciones para determinar las variables de mayor valor descriptivo (Cuadro 9).

Cuadro 9. Autovalores del análisis discriminante canónico de variables morfológicas, de intercambio de gases y anatómicas de hoja de 15 genotipos de aguacate con tendencia a presentar enanismo.

Función Canónica	Autovalor	Varianza (%)	Acumulado (%)	Correlación canónica
1	1.269	90.7	90.7	0.748
2	0.131	9.3	100.0	0.340

La primera función canónica acumuló 90.7 % de la variación total (Cuadro 9), la estructura canónica para esta función muestra a las variables: longitud de entrenudo promedio, diámetro de planta y número de entrenudos como aquellas que más difieren entre los genotipos (Cuadro 10). Estas variables son importantes en la clasificación de su estructura canónica por lo que podrían considerar para su uso como índices de selección.

La segunda función canónica muestra la variación restante (Cuadro 9), y fue fuertemente asociada con las variables: tasa de asimilación de CO₂ y longitud de entrenudo (Cuadro 10).

Cuadro 10. Matriz de estructura factorial del análisis discriminante canónico para variables físicas, fisiológicas y anatómicas de hoja de 15 genotipos de aguacate con tendencia a presentar enanismo.

Variable	Función 1	Función 2
Longitud de entrenudo	0.587	-0.520
Diámetro de planta	0.561	0.083
Número de entrenudos por planta	0.352	0.248
Conductancia estomática	-0.197	0.109
Densidad de células epidérmicas	0.181	-0.137
Densidad estomática	0.169	-0.101
Tasa de transpiración	-0.152	0.009
Tasa de asimilación de CO ₂	0.044	0.650
Número de hojas por planta	0.118	0.126
Índice estomático	-0.036	0.076

La proyección de las poblaciones en el primer plano factorial de las primeras funciones canónicas (Figura 1), se explican mediante los coeficientes canónicos totales aleatorizados (Cuadro 11). La primera función canónica total aleatorizada y estandarizada describe sobre todo la probabilidad de que variables morfológicas como longitud de entrenudo y número de entrenudos sean una característica discriminante para la clasificación de genotipos en estado de plántula con tendencia a presentar enanismo. En *Setaria italica* Beauv., se observó que plantas enanas presentan diferencias morfológicas altamente significativas en altura de planta, longitud internodal y potencial de macollaje (Dineshkumar *et al.*, 1992).

Cuadro 11. Coeficientes de función discriminante canónicos estandarizados de variables morfológicas, de intercambio de gases y anatómicas de hoja de 15 genotipos de aguacate con tendencia a presentar enanismo.

Variable	Función	
	1	2
Diámetro de planta	0.344	0.044
Número de entrenudos	0.567	0.084
Longitud de entrenudo promedio	0.791	-0.455
Tasa de asimilación de CO ₂	0.487	1.267
Conductancia estomática	-0.430	-0.850
Densidad de células estomáticas	0.203	-0.056

La segunda función involucra a la tasa de asimilación de CO₂ y conductancia estomática como posibles variables discriminantes. Al evaluar la actividad fotosintética de tres genotipos de durazno, diferenciados en tamaño y hábito (estándar, semienano y enano) comparados bajo condiciones de flujo de fotones fotosintéticos variables, árboles injertados en GF677 y auto-enraizados; los genotipos tipo enano mostraron alta capacidad fotosintética neta tanto en auto-

enraizados como injertados (Cappellini y Antonelli, 1997), en el caso de manzano 'Fuji' se encontró que el portainjerto enanizante M.9 incrementó la asimilación de CO₂ y transpiración comparado con el portainjerto semi-enanizante M.7 (Fallahi *et al.*, 2002); sin embargo, se encontró que para 'Starkspur Supreme Delicious' la fotosíntesis neta de la hoja de árboles injertados en portainjertos enanizantes tendió a ser menor que en portainjertos vigorizantes (Schechter *et al.*, 1991b). Lo anterior denota que existen diferencias entre portainjertos enanizantes y no enanizantes; sin embargo, al parecer responde a que esté injertado, en el presente caso estas dos variables de intercambio de gases fueron discriminantes, y es posible que dicha respuesta sea por la anatomía de la hoja, como lo indicó (González-Calderón *et al.*, 2011)

La densidad estomática y el tamaño de estomas son considerados como parámetros ecofisiológicos clave, en la influencia conjunta sobre la conductancia estomática (Holland y Richardson, 2009). Con base en lo anterior podríamos considerar el uso de la conductancia estomática como una prueba rápida en la selección de genotipos con tendencia al enanismo y como una medida indirecta de la densidad estomática, puesto que la densidad estomática puede ser también una forma de realizar una separación de genotipos hacia porte bajo como lo proponen Barrientos y Sánchez (1987).

En el patrón de dispersión de los individuos de cada genotipo en una gráfica formada por las dos funciones canónicas, se observó que las plantas de porte bajo se separan de las de porte medio y alto ubicándose hacia los valores más negativos (Figura 1), también se observaron genotipos de porte medio mezclándose mayormente con los de porte alto y en menor grado con los de porte bajo, indicando que tienen características similares en mayor proporción con los de porte alto.

Al calcular las distancias de Mahalanobis (Cuadro 12) entre los grupos en las dos primeras funciones canónicas (Figura 1), se obtuvieron las probabilidades para obtener las que presentaron similitud entre estos grupos y que están correctamente clasificados. Donde se encontró que los grupos formados por

porte de planta presentan diferencias significativas entre ellos por lo que están correctamente agrupados.

Cuadro 12. Probabilidades y distancias de Mahalanobis para los tres grupos de acuerdo al porte de la planta de individuos derivados de semilla de 15 genotipos de aguacate.

Porte	Alto	Medio	Bajo
Alto		10.34**	56.61**
Medio	10.34**		25.84**
Bajo	56.61**	25.84**	

*Significativo con $P \leq 0.05$, **altamente significativo $P \leq 0.01$.

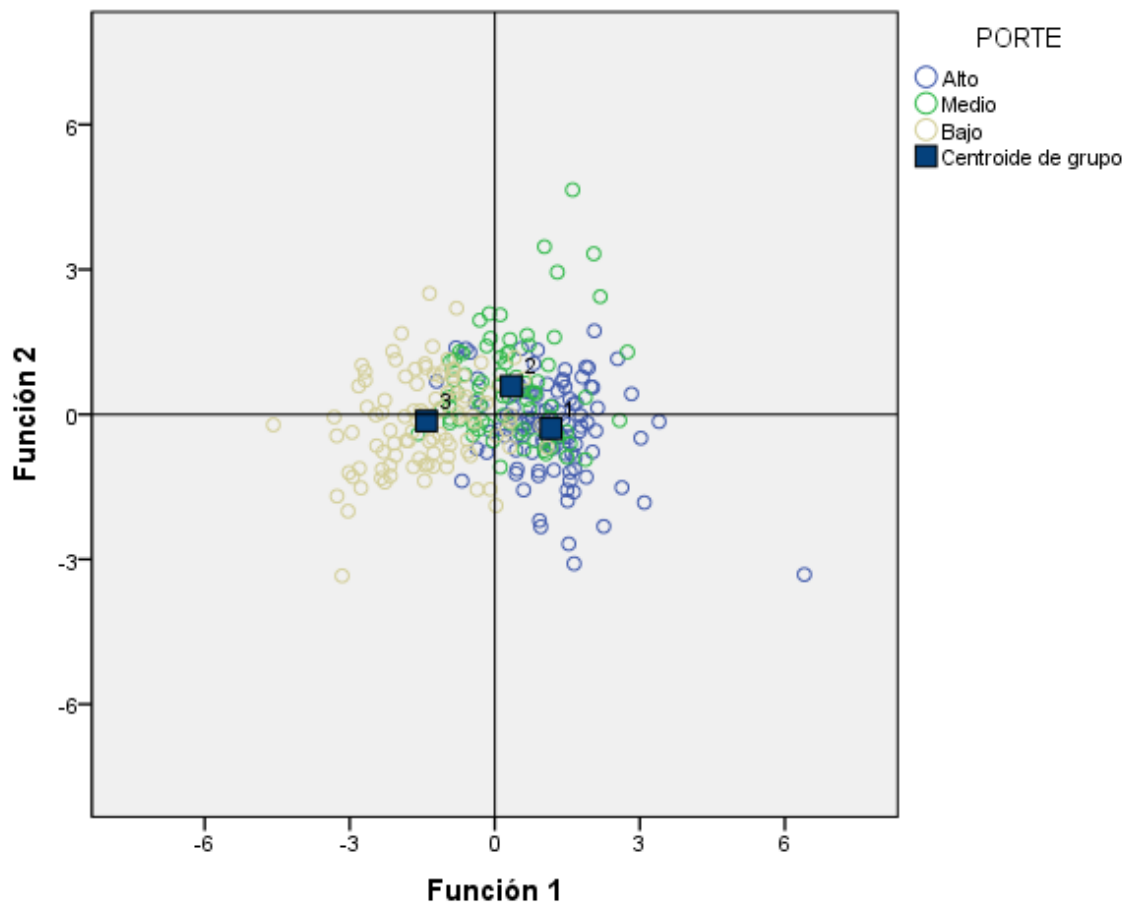


Figura 1. Dispersión de individuos provenientes de semilla de 15 genotipos de aguacate con tendencia a presentar enanismo en las dos primeras funciones canónicas.

Los resultados de clasificación muestran que 72.2 % de casos agrupados originales fueron clasificados correctamente (Cuadro 13), lo que indica que los tres grupos con base a la clasificación es aceptable pero no alta. Esto nos indica que probablemente la altura como tal, no es una muy buena herramienta para clasificar a las plantas inicialmente con su potencial de ser en el futuro altos, medios o bajos ya en su etapa adulta, de hecho Barrientos-Pérez y Barrientos-Priego (1996) no encontraron correlación entre altura de plantas de un año de edad de aguacate y su potencial enanizante después de 6 años de injertados.

En el caso de aguacate se han observado dos tipos de hábito de crecimiento enano en aguacate, uno que tienen entrenudos muy cortos como los genotipos derivados de 'San Martín' y los derivados de 'Don Cris', los cuales difieren de los derivados de 'Colín V-33' que tienen hábito de crecimiento lateral e inhibición de yema apical. Este último hábito de crecimiento puede darse con un crecimiento inicial que da una planta joven alta y después cesa su crecimiento inicial y se comporta como enano. De hecho se pudo observar que un buen porcentaje en el grupo de plantas de porte intermedio está mal clasificado y solo el 56.6% está correctamente clasificado (Cuadro 13), teniendo plantas clasificadas como altas y bajas en la dicha categoría intermedia.

Cuadro 13. Prueba de resubstitución a priori de individuos en cada nivel de porte del análisis de componentes principales para variables físicas, fisiológicas y anatómicas de hoja de 15 genotipos de aguacate con tendencia a presentar enanismo.

		PORTE	Alto	Medio	Bajo	Total
Original	Recuento	Alto	76	24	4	104
		Intermedio	19	43	14	76
		Bajo	5	13	86	104
	Porcentaje	Alto	73.1 %	23.1 %	3.8 %	100 %
		Intermedio	25.0 %	56.6 %	18.4 %	100 %
		Bajo	4.8 %	12.5 %	82.7 %	100 %

72.2 % de casos agrupados originales clasificados correctamente.

Análisis de Agrupamiento

Basados en el pseudo-estadístico t^2 de Hotelling (Figura 3), el agrupamiento por el método de Ward mostró la identificación de cinco grupos (Figura 2), El Grupo 1 integrado por 16 genotipos, el Grupo 2 con 108, el Grupo 3 con 32, el Grupo 4 con 87 y el Grupo 5 con 41 genotipos.

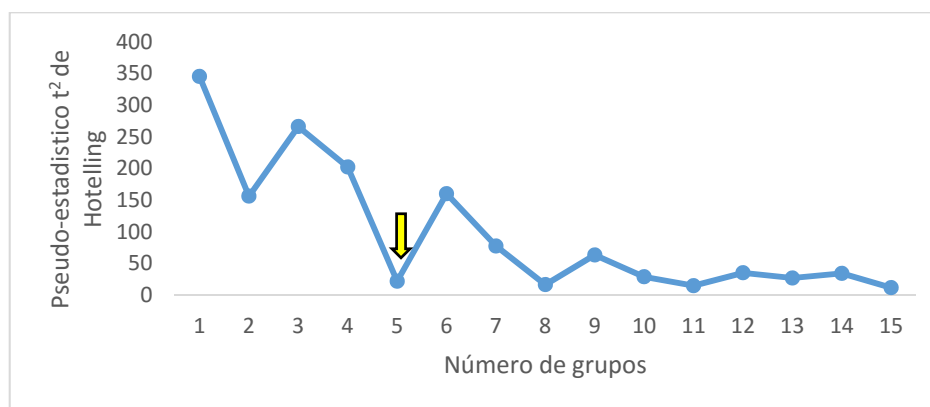


Figura 2. Pseudo-estadístico t^2 de Hotelling y el número recomendado de grupos, una prueba para la división del dendrograma formado por variables físicas, fisiológicas y anatómicas de hoja de 15 genotipos de aguacate.

El Grupo 1 estuvo formado por genotipos que difieren en menor tasa de asimilación de CO_2 similar al Grupo 3, mayor densidad estomática y densidad de células epidérmicas (Figura 4). Este grupo está integrado por los genotipos que se muestran en el Cuadro 14, formado en su mayoría por plantas de porte alto; sin embargo, aparecen plantas de ‘Don Cris’ de porte bajo.

El Grupo 2 presentó plantas con menor densidad de células epidérmicas y densidad estomática, y relativamente mayor tasa de asimilación de CO_2 y mayor conductancia estomática similar al Grupo 5 (Figura 4). Se observó que este grupo tiene 33.3, 29.6 y 37.1 % de plantas de porte alto, intermedio y bajo, respectivamente (Cuadro 14). Se identifican ciertas características en el grupo 2, que estarían indicando plantas con tendencia a presentar enanismo. Comparando árboles normales con enanos, se encontró que los árboles enanos de *C. langsdorffii* se caracterizan por ciertas características anatómicas de tallo

y alta densidad estomática e índice potencial de conductancia alto (Longui *et al.*, 2014).

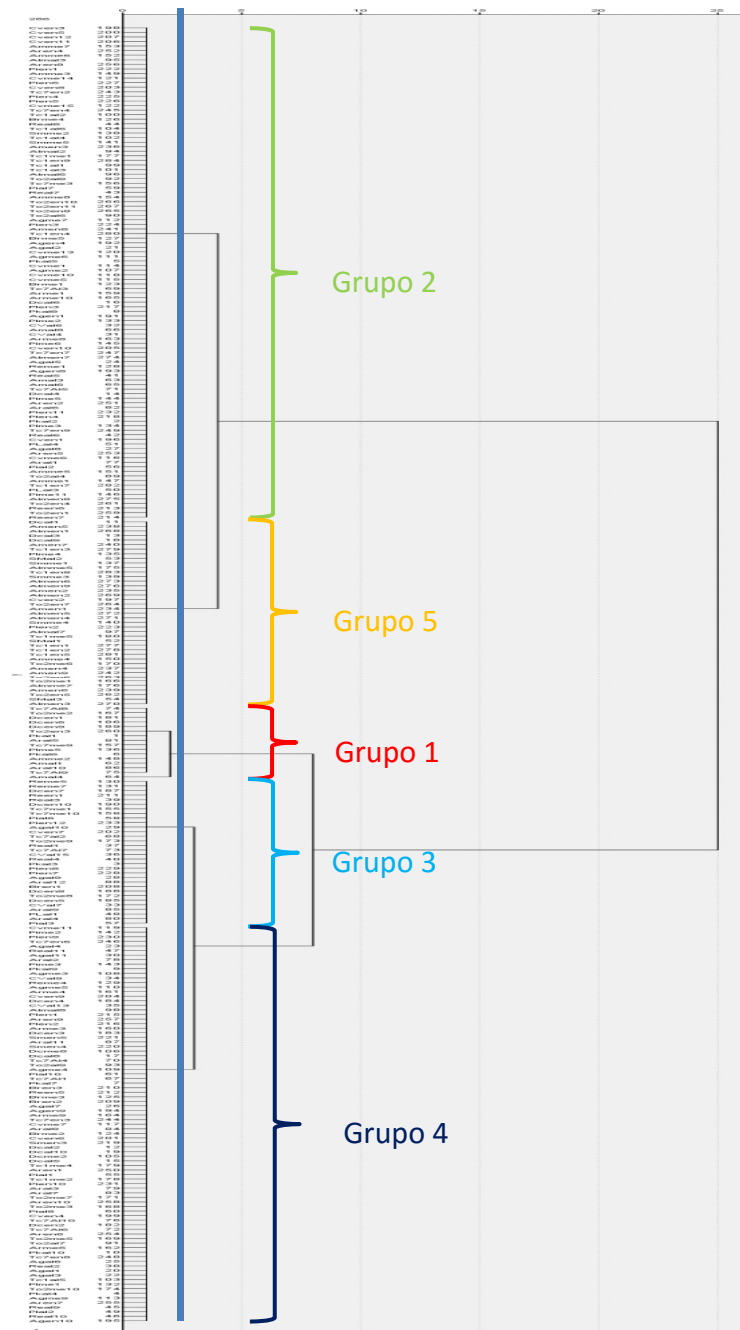


Figura 3. Dendrograma de similitud de acuerdo a la distancia Euclidiana y agrupación por el método de Ward en tres grupos formados por el porte de la planta. La línea azul representa el corte del dendrograma según el pseudo-estadístico t^2 de Hotelling

El Grupo 3 se caracterizó por contar con plantas de menor conductancia estomática, y menor tasa de asimilación de CO₂ similar al Grupo 1 (Figura 4), formando el grupo de genotipos que se muestra en el Cuadro 14, con 50, 18.75 y 31.25 % de plantas de porte alto, intermedio y bajo, respectivamente.

Para el Grupo 4 se observó que la caracterización de este grupo no es clara, mostrando un diámetro de tallo mayor similar al Grupo 3 (Figura 4) y como se observó en el dendrograma los Grupos 3 y 4 comparten cierta similitud (Figura 2). Integrado por los genotipos del Cuadro 14, con 42.5, 27.6 y 29.9 % de plantas de porte alto, intermedio y bajo, respectivamente.

En el Grupo 5 se caracterizó por un menor diámetro de tallo, mayor tasa de asimilación de CO₂, mayor conductancia estomática y menor densidad de células estomáticas y densidad estomática (Figura 4). Integrado por los genotipos del Cuadro 14, con 17.1, 24.4 y 58.5 %. Este grupo presento mayor porcentaje de plantas de porte bajo y no concuerda con lo encontrado respecto a la menor densidad estomática por Barrientos-Pérez y Sánchez-Colín (1983) y Barrientos y Sánchez (1987), quienes encontraron mayores densidades en arboles de porte bajo respecto a los de porte alto.

EL Grupo 5 y 2 presenta el mayor número de genotipos de porte bajo, en términos de porcentaje, respecto a plantas de porte intermedio y alto, donde unos de los rasgos que lo distinguen es la mayor conductancia estomática y mayor tasa de asimilación de CO₂. De acuerdo a Cappellini y Antonelli (1997) los genotipos tipo enano muestran la más alta capacidad fotosintética neta, lo que concuerda con lo encontrado en este grupo.

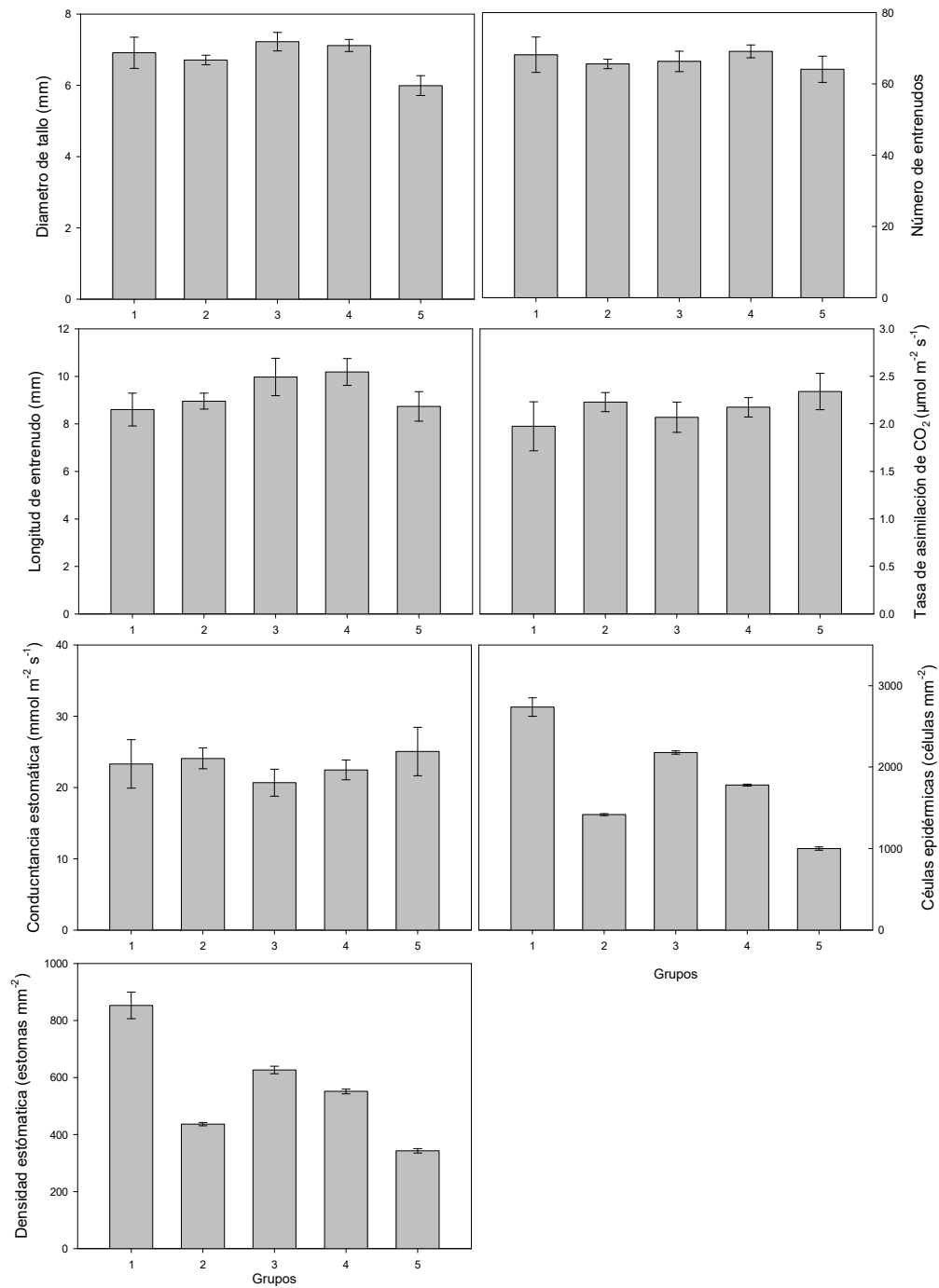


Figura 4. Variables clasificatorias de genotipos de aguacate en los cinco grupos generados conforme a análisis discriminante canónico y agrupamiento por la distancia Euclidiana y Ward. Medias $\pm$ error estándar.

Cuadro 14. Grupos formados de acuerdo al análisis de conglomerado con 284 individuos provenientes de 15 genotipos de aguacate.

Genotipo								
Grupo 1	Pkal1*	Amal1	Tc7Al8	Aral5	Plme5	Tc7me9	Dcen1	Dcen9
	Pkal6	Amal4	Tc7Al9	Aral10	Amme2	To2me2	Dcen6	To2en3
Grupo 2	Pkal2	PLal3	Almal2	Cvme10	Pime11	Agen8	Pien4	To2en1
	Pkal5	PLal4	Almal3	Cvme13	Amme1	Cven1	Pien5	To2en4
	Pkal8	Pial2	Almal6	Cvme14	Amme3	Plen4	Pien6	To2en8
	Dcal4	Pial7	Tc1al1	Cvme15	Amme5	Pien1	Pien11	To2en10
	Dcal6	Amal3	Tc1al2	Brme1	Amme6	Pien3	Amen3	To2en11
	Agal2	Amal6	Tc1al3	Brme4	Amme7	Cven10	Amen8	Almen7
	Agal5	Amal8	Tc1al4	Brme5	Amme8	Cven11	Tc7en2	Almen8
	Agal8	Tc7Al3	Tc1al6	Reme1	Tc7me3	Cven12	Tc7en4	Tc1en4
	CVal4	Tc7Al5	Agme2	Plme2	Arme1	Reen6	Tc7en7	Tc1en7
	CVal6	Aral1	Agme6	Plme3	Arme8	Reen7	Tc7en9	Tc1en9
	Real5	Aral6	Agme7	Smme2	Arme10	Plen3	Aren2	Cven3
	Real6	To2al4	Cvme1	Smme5	Tc1me1	Plen4	Aren4	CVen5
	Real7	To2al6	Cvme5	Pime5	Agen1	Pien1	Aren5	
	Real8	To2al8	Cvme6	Pime6	Agen4	Pien3	Aren8	
Grupo 3	Pkal3	CVal15	PLal1	Tc7Al7	Reme5	To2me8	Dcen8	Reen1
	Agal9	Real1	Pial3	Aral4	Reme7	To2me9	Dcen10	Pien7
	Agal10	Real3	Pial6	Aral9	Tc7me1	Dcen5	Cven7	Pien8
	CVal7	Real4	Tc7al2	Aral12	Tc7me10	Dcen7	Bren1	Pien12
Grupo 4	Pkal4	Agal6	Pial8	To2al7	Cvme11	To2me3	Cven4	Pien9
	Pkal7	Agal7	Pial10	To2al9	Brme2	To2me5	Cven6	Pien10
	Pkal9	Agal11	Tc7Al1	Almal8	Brme3	To2me7	Cven9	Tc7en3
	Pkal10	CVal9	Tc7Al4	Tc1al5	Reme4	To2me10	Bren2	Tc7en6
	Dcal2	CVal13	Tc7Al6	Dcme2	Plme1	Tc1me2	Bren3	Tc7en8
	Dcal5	Real2	Tc7Al10	Dcme8	Pime2	Tc1me4	Reen5	Aren1
	Dcal8	Real9	Aral2	Agme3	Pime3	Dcen2	Plen1	Aren6
	Dcal10	Real10	Aral3	Agme4	Arme3	Dcen3	Plen2	Aren7
	Agal1	Real11	Aral7	Agme5	Arme4	Dcen4	Smen3	Aren9
	Agal3	Plal2	Aral8	Agme9	Arme6	Agen9	Smen4	Aren10
	Agal4	Pial1	Aral11	Cvme7	Arme9	Agen10	Smen5	
Grupo 5	Dcal1	SMal3	Smme4	Almme7	Amen2	Amen9	Almen2	Almen9
	Dcal3	Almal7	Amme4	Tc1me5	Amen4	To2en5	Almen3	Tc1en1
	Dcal9	Plme4	To2me1	Cven2	Amen5	To2en6	Almen4	Tc1en2
	SMal1	Smme1	To2me6	Pien2	Amen6	To2en7	Almen5	Tc1en3
	SMal2	Smme3	Almme5	Amen1	Amen7	Almen1	Almen6	Tc1en5

*Las abreviaciones están compuestas de tres partes, dos primeras letras corresponden al genotipo, siguientes dos al porte y al final el número indican número de planta. Genotipos: PK: 'Pinkerton', DC: 'Don cris', Ag: 'Aguilar', Cv: 'Colin V33', Re: 'Reed', Pl: '148 PLS', Sm: 'San Martin', Pi: 'Pionero', Am: 'Amatenango V4', Tc7: 'Tochimilco 7', Ar: 'Árbol 40', To2: 'Tovar 2', Al: 'Almolya', Tc1: 'Tochimilco 1', Br: 'Barri'. Porte de planta; al: alto, me: intermedio y en: enano.

Los resultados obtenidos presentan mucha variación que no permiten establecer criterios de selección con mayor claridad, lo cual podría estar ocurriendo debido a que son plántulas que no han alcanzado la madurez, por lo que las

características morfológicas tal vez no sean adecuadas para una pre-clasificación tal como lo indicaron Barrientos-Pérez y Barrientos-Priego (1983) para la pre-selección de portainjertos enanizantes de aguacate, además como se observó en el Cuadro 13 con la prueba de resubstitución que hay un alto porcentaje (27.8 %) de casos agrupados originalmente clasificados incorrectamente. Aunque también es posible que la preclasificación visual realizada no es adecuada y que el crecimiento inicial de las plantas no determina su potencial de crecimiento en su fase de madurez. Por lo que existe la necesidad de realizar más estudios para incluir tal vez mas características anatómicas que morfológicas y verificar su comportamiento en cuanto a hábito de crecimiento en madurez o como posibles portainjertos enanizantes.

CONCLUSIONES

Los genotipos presentaron una gran variación entre y dentro de familias lo que dificultó la generalización de características como posibles índices de selección de plántulas de aguacate con tendencia a presentar enanismo.

El análisis de correlación con todos los genotipos no mostró alguna correlación significativa que indicara alguna relación entre las variables y el tamaño de la planta, sin embargo el análisis por cada genotipo muestra particularidades.

Para algunos genotipos, variables como longitud de entrenudo y número de entrenudos, diámetro de planta, tasa de asimilación de CO₂, densidad de células estomáticas y densidad estomática pueden utilizarse como criterio para la identificación de plantas con tendencia al enanismo.

Los genotipos de aguacate se dividieron en cinco grupos tomando como discriminantes máximos la longitud de entrenudo promedio, diámetro de tallo, tasa de asimilación de CO₂ y conductancia estomática, densidad de células epidérmicas y densidad estomática.

LITERATURA CITADA

- Atkinson, C. J. & Else, M. A. (2001). Understanding how rootstocks dwarfing fruit trees. *Compact Fruit Tree*, 34, 46-49.
- Barrientos-Priego, A. F., & Sánchez-Colín, S. (1987). Stomatal density and its relationship with growth habit in avocado. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 10, 66-67.
- Barrientos-Pérez, F. & Barrientos-Priego, A. F. (1996). Correlaciones entre algunas características de plántulas de aguacate de 'Colín V-33' y sus efectos enanizantes como portainjerto. *Revista Chapingo: Serie: Horticultura*, 5, 95-98.
- Barrientos-Pérez, F. & Sánchez-Colín, S. (1983). Height variability obtained from a new dwarf avocado tree population. *Acta Horticultrae*, 140, 163-168.
- Barrientos-Priego, A. F., Borys, M. W., Trejo, C., & López-López, L. (2003). Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. *Rev. Fitotec. Mex.*, 26 (4), 285 – 290.
- Cappellini, P., & Antonelli, M. (1997). Photosynthetic response to light levels is influenced by peach genotype/rootstock combinations. *Adv. Hort. Sci.* 11, 67-69.
- Coffey, M. D. & Guillemet, F. B. (1987). Avocado rootstocks. *California Avocado Society Yearbook*, 71, 173-179.
- Dineshkumar, S. P., Shashidhar, V. R., Ravikumar, R. L., Seetharam, A. & Gowda, B. T. S. (1992). Identification of true genetic dwarfing sources in foxtail millet (*Setaria italic* Beauv.). *Euphytica*, 60(3), 207-212.
- Fallahi, E., Colt, W. M., Fallahi, B. & Chun, I. (2002). The importance of apple rootstock on tree growth, yield, fruit quality, leaf nutrition, and photosynthesis with an emphasis on 'Fuji'. *HortTechnology*, 12, 38-44.
- González-Calderón, V. M., Barrientos-Priego, A. F., Núñez-Colín, C. A., Ramírez-Ramírez, S. P., Hofshi, R. & Arpaia, M. L. (2011). Anatomía de lámina de hoja en ocho cultivares de aguacate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(5), 733-744.

- Holland, N. & Richardson, A. D. (2009). Stomatal length correlates with elevation of growth in four temperate species. *Journal of Sustainable Forestry*, 28(2), 63-73.
- Johnson, D. E. (1998). Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Traducido por H. Pérez-Castellanos. International Thomson Editores, D. F., México. 566 p.
- Khush, G. S. (2001). Green revolution: the way forward. *Nature Reviews Genetics*, 2(10), 815-822.
- Longui, E. L., Costa, N. O., Cielo-Filho, R., Marcati, C. R., Romeiro, D., Raiput, K. S., Lima, I. L. & Florsheim, S. M. B. (2014). Wood and leaf anatomy of *Copaifera langdorffii* dwarf trees. *IAWA Journal*, 2(35), 170-185.
- Olien, W. C. & Lakso, A. N. (1984). A comparison of the dwarfing character and water relations of five apple rootstocks. *Acta Horticulturae*, 146, 151-158.
- Sánchez-Colín, S., Rubí-Arriaga, M. & De la Cruz-Torres, E. (1992). Selection of dwarf avocado trees within a population of seedlings of cv. Colin V-33. *Proc. of Second World Avocado Congress*, pp. 527-530.
- Schechter, I., Elfving, D.C. & Proctor, J.T.A. (1991a). Canopy development, photosynthesis, and vegetative growth as affected by apple rootstocks. *Fruit Va. J*, 45, 229-237.
- Schechter, I., Elfving, D.C. & Proctor, J.T.A. (1991b). Apple tree canopy development and photosynthesis as affected by rootstock. *Canadian Journal of Botany*, 69, 295-300.
- Scorza, R., Bassi, D. & Liverani, A. (2002). Genetic interactions of pillar (columnar), compact, and dwarf peach tree genotypes. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 127(2), 254-61.
- Seleznayova, A. N., Thorp, T. G., White, M., Tustine, S. & Costes, E. (2003). Application of Architectural Analysis and AMAPmod Methodology to Study Dwarfing Phenomenon: the Branch Structure of 'Royal Gala' Apple Grafted on Dwarfing and Non-dwarfing Rootstock/Interstock Combinations. *Annals of Botany*, 91, 665-672.
- Weibel, A., Johnson, R. S. & Dejong, T. M. (2003). Comparative vegetative growth responses of two peach cultivars grown on size-controlling versus standard

rootstocks. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 128, 463-471.

CARACTERÍSTICAS ANATÓMICAS DE TALLO RELACIONADAS CON EL PORTE DE PLANTA EN AGUACATE

STEM ANATOMIC CHARACTERISTICS RELATED TO AVOCADO PLANT GROWTH

RESUMEN

Los genotipos con capacidad para inducir enanismo en aguacate posibilitan una solución ante las limitantes de la producción debida al gran tamaño que alcanzan los árboles. Por lo cual el objetivo de esta investigación fue estudiar características anatómicas en tallo en genotipos de aguacate que puedan estar asociadas con su comportamiento en cuanto a porte. Se utilizaron 15 genotipos de aguacate, para formar familias y dentro de cada una se clasificó en grupos de planta de porte alto, intermedio y bajo. Se encontró que plantas de porte bajo presentaron mayor densidad de elementos de vaso ($192.98 \text{ vasos mm}^2$) respecto a las de porte alto (145.03 mm^2). En área de elementos de vaso en plantas de porte intermedio ($836.13 \mu\text{m}^2$) y bajo ($755.60 \mu\text{m}^2$) fueron las de menor área. Para diámetro de Feret de elemento de vaso se observó una tendencia similar a la de área, donde plantas de porte intermedio y bajo fueron las de menor diámetro con un promedio de $38.81 \mu\text{m}$ y $36.81 \mu\text{m}$, respectivamente. En diámetro de tallo, plantas de porte intermedio y bajo fueron las de menor valor. La distinción entre el porte de planta con relación a la proporción de corteza no es clara, así, se pudo encontrar plantas de porte intermedio y bajo, y crecimiento bajo y alto con una mayor proporción de corteza, donde la constante que prevaleció es que plantas de porte bajo tienden a tener mayor proporción de corteza. Las características anatómicas de tallo indicaron estar altamente relacionadas con el comportamiento del porte de plantas de aguacate.

PALABRAS CLAVE: *Persea americana* Mill, enanismo, elementos de vaso del xilema, crecimiento de planta.

ABSTRACT

Genotypes with ability to induce dwarfism in avocado provide a solution to the production constraints due to trees heights. Therefore the objective of this research was to study anatomical characteristics of stems of avocado genotypes that may be associated with their growth behavior. Fifteen avocado genotypes were used and tall, intermediate and dwarf plants were grouped within each. The results indicate that in vessel density dwarf plants have a higher density of vessels (192.98 mm^2) with respect to tall (145.03 mm^2). In the area of vessel intermediate plants ($836.13 \mu\text{m}^2$) and dwarf ($755.60 \mu\text{m}^2$) had lower area. Feret's diameter for vessel showed similar trend to the area where intermediate and dwarf plants had the smaller a diameter with an average of $38.81 \mu\text{m}$ and $36.81 \mu\text{m}$ respectively. The distinction between plant height relative to the bark ratio is not clear, so we can find plants of intermediate and dwarf growth and, high and dwarf growth with a higher bark ratio, where the constant that prevails is that dwarf plants tend to have higher bark ratio. Anatomical features of stem indicate they are highly related to the behavior of avocado plant growth.

KEY WORDS: *Persea americana* Mill, dwarfing, xylem vessels, plant growth.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de aguacate en México, es de gran importancia económica; sin embargo, existen varias limitantes en la producción, de diferente índole. Uno de los factores que causan varios inconvenientes en la producción comercial del aguacate es el gran tamaño que alcanzan los árboles: lo que, entre otras cosas conlleva a problemas como: dificultad para realizar la cosecha y el control fitosanitario, se reduce el área productiva por sombreado de árboles contiguos y se incrementa el costo de producción (Barrientos-Villaseñor *et al.*, 1999)

La diversidad genética en México es debido a que es uno de los centros de origen y dispersión (Popenoe, 1935; Griswold, 1946; Smith, 1966) y representa un gran potencial para la identificación y selección de genotipos (De la Cruz-Torres *et al.*, 1990), que podrían ser usados como portainjertos, inter-injertos o inclusive como cultivares con características sobresalientes, entre las que se encuentra el enanismo.

El vigor de árboles frutales como manzano, pera, ciruela y recientemente cerezo dulce puede ser controlado de manera muy eficaz mediante la elección de un adecuado porta-injerto enanizante (Webster, 2002). En aguacate 'Colín V-33', una selección mexicana, que tiene bajo vigor y un hábito de crecimiento expandido (Roe *et al.*, 1995), ha sido utilizado como injerto intermedio en la reducción de altura de árboles de 'Fuerte' (Barrientos-Priego *et al.*, 1987) y 'Hass' (Barrientos-Villaseñor *et al.*, 1999).

Se han realizado estudios para determinar características vegetativas de plántulas de aguacate asociadas a la identificación de genotipos enanizantes, así, Barrientos-Pérez y Barrientos-Priego (1996) evaluaron altura del árbol; diámetro del tronco; ramas principales, secundarias y terciarias en plántulas de 'Colín V33' de un año de edad y posteriormente injertadas con diferentes cultivares y selecciones de crecimiento alto, intermedio y bajo donde se evaluó la reducción en altura y diámetro de copa del árbol, así como circunferencia del portainjerto. Ellos concluyeron que no existe ninguna relación significativa entre

las características de las plántulas de un año y el efecto enanizante como portainjerto en cultivares o selecciones después de 6 años de injertados.

También se han propuesto características, tales como la densidad de estomas que se relaciona con el porte bajo de los árboles (Barrientos y Sánchez, 1987) y porcentaje de área transversal de corteza (López-Jiménez y Barrientos-Priego, 1987), siendo estas dos características al parecer de los más estables, los que podrían utilizarse para una selección inicial de patrones enanizantes de aguacate en etapas tempranas del desarrollo.

La asociación entre la capacidad de enanismo de un genotipo y un rasgo genético, fisiológico o anatómico sería de gran valor para la selección de porta injertos enanos en una etapa temprana de desarrollo (Bruckner y DeJong, 2014). El objetivo de esta investigación fue estudiar características anatómicas en tallo en genotipos de aguacate que puedan estar asociadas con su comportamiento en cuanto a porte de la planta.

MATERIALES Y MÉTODOS

EL presente estudio fue llevado a cabo durante el 2014 en un invernadero (crecimiento de plantas y toma de muestra) y laboratorio (trabajo histológico y toma de datos) del Campo Agrícola experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. Fueron seleccionados 15 genotipos de aguacate provenientes de semilla con altura contrastante dentro de cada población, nombrados 'Colin V-33' (36 plantas), 'Aguilar' (27 plantas), 'Don Cris' (30 plantas), 'Reed' (33 plantas), 'Pinkerton' (24 plantas), '148 PLS' (12 plantas), 'San Martín' (12 plantas), 'Barri' (12 plantas), 'Pionero' (30 plantas), 'Almoloya' (21 plantas), 'Amatenango V4' (18 plantas), 'Árbol 40' (30 plantas), 'Tovar 2' (30 plantas), 'Tochimilco 7' (30 plantas) y 'Tochimilco 1' (18 plantas); formando para cada genotipo tres grupos de plantas: de porte alto, porte intermedio y porte bajo. De cada planta se tomaron muestras de una sección de tallo de aproximadamente 2 cm de longitud a una altura de 20 cm desde la base de la planta hacia el ápice, las cuales se fijaron inmediatamente

con solución GAA (glicerol, alcohol absoluto y agua destilada, 1: 1: 1) para su preservación.

Se realizaron cortes transversales de un grosor de 30 μm con un micrótopo de congelamiento (Reichert-Jung modelo 1205). Se utilizó la tinción general con safranina (tinción en rojo de paredes celulares lignificadas) y “fast green” (tinción en verde a un verde azulado de paredes de celulosa), siguiendo un proceso de hidratación (alcohol absoluto, alcohol 96°, Alcohol 70° durante tres minutos en cada paso), tinción (safranina, por dos minutos), enjuague (agua), deshidratación (alcohol 70°, alcohol 96°, alcohol absoluto, tres minutos en cada etapa), tinción (“fast green”, 1 minuto), enjuague (alcohol absoluto). Una vez teñidos los cortes se hicieron preparaciones fijas con un medio de montaje Entellan® Merck.

Las imágenes de cortes fueron capturadas con una cámara Motic de 5 MP adaptada a un microscopio óptico de fluorescencia marca Olympus BX53, tomando ocho campos por repetición. Las imágenes obtenidas fueron sometidas a análisis por un software de análisis y procesamiento de imágenes (ImageJ), calculando las siguientes variables: imágenes con aumento de 10X: Densidad de elementos de vaso del xilema por mm^2 , área de elemento de vaso del xilema (μm^2), diámetro de Feret de elemento de vaso del xilema ($[(4 \cdot \text{área} / \pi)^{0.5}]$), redondez del elemento de vaso del xilema. Además de imágenes con aumento de 1.25 X: diámetro de tallo (mm), proporción de área de corteza con relación al xilema (%).

Se realizaron 16 mediciones por repetición para diámetro de Feret, área de elemento de vaso y redondez, y obtener el promedio, para densidad de vasos de xilema se realizó el conteo en ocho campos por repetición para cada genotipo. En grosor de corteza se tomaron dos mediciones por repetición y una medición para diámetro de tallo. Con el diámetro de tallo se calculó la circunferencia de tallo y con esta última el área transversal total; y usando el grosor de corteza, se calculó el área transversal de corteza, siguiendo el método propuesto por López-Jiménez y Barrientos-Priego (1987).

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, la unidad experimental consistió de una planta. El factor de estudio fueron diferencias en crecimiento de planta dentro de cada genotipo, dividido en tres niveles de porte alto, intermedio y bajo. El número de repeticiones varió en función al número de plantas en cada genotipo, aunque el mínimo de plantas fueron cuatro y un máximo de 12 para cada grupo de porte. En el caso de porcentaje se llevó a cabo la transformación de datos utilizando el arcoseno $\sqrt{X}$. Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) para todas las variables y en cada genotipo, usando el programa estadístico SAS 9.0. Las medias de los tratamientos fueron comparadas por la diferencia mínima significativa honesta (DMSH) de acuerdo a la prueba de Tukey con un nivel de significancia de $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características Anatómicas de Xilema

Densidad de elementos de vaso del xilema

Los resultados en densidad elementos de vaso del xilema presentaron diferencias significativas en siete genotipos, revelando que la densidad de elementos de vaso ocurre en un intervalo de 112.93 a 281.14 vasos por mm^2 . En 'Don Cris', 'Almoloya' y 'Árbol 40' las plantas de porte intermedio y bajo fueron de mayor densidad de elementos de vaso, y a su vez plantas de porte intermedio fueron similares a las de porte alto que presentaron menor densidad. En 'Tochimilco 7' y 'Pionero' las plantas de porte bajo presentaron mayor densidad; para 'Reed' las plantas de porte intermedio y bajo fueron las de mayor densidad; y para 'Amatenango V4' las plantas de mayor densidad fueron las de porte bajo y alto, siendo estas últimas similares a las de porte intermedio (Cuadro 1).

En ciertos genotipos se observó que plantas de porte intermedio y bajo fueron estadísticamente similares, lo cual indicó que plantas clasificadas de crecimiento intermedio tienen tendencia a presentar enanismo al igual que las de crecimiento bajo y esto puede atribuirse a que son plantas jóvenes y que aún no han alcanzado su máximo crecimiento. Estos resultados indicaron que las plantas de

crecimiento bajo tienden de forma general a tener la mayor densidad de vasos (promedio de 192.98) con respecto a las de crecimiento alto (promedio de 145.03), lo que concuerda con Goncalves *et al.* (2007) quienes indicaron una frecuencia de elementos de vaso alta en portainjertos enanizantes de árboles de cerezo. Por otra parte, Tombesi *et al.* (2010) al evaluar portainjertos contrastantes de durazno: ‘Nemaguard’ (vigoroso), ‘P30-135’ (vigor intermedio) y ‘K146-43’ (parcialmente enanizantes) encontraron que el portainjerto más vigoroso tuvo pocos elementos de vaso en comparación con el portainjerto enanizante que mostró más vasos de xilema, reafirmando los resultados de este trabajo. En el caso de aguacate se encontró que el cv. Colin V-33, de porte bajo, presentó mayor frecuencia de elementos de vaso en comparación con los cvs. Fuerte y Hass que son de porte alto (Reyes-Santamaria *et al.*, 2002), reafirmando los resultados del presente estudio.

Cuadro 1. Densidad de elementos de vaso del xilema de tallos de plantas de diferente porte provenientes de 15 genotipos de aguacate.

Familia	Porte de planta			C. V.
	Alto	Intermedio	Bajo	
‘COLÍN V-33’	198.97 a ^z	188.22 a	219.67 a	21.56
‘AGUILAR’	148.44 a	164.29 a	183.04 a	18.45
‘DON CRIS’	112.93 b	128.06 ab	169.47 a	27.29
‘REED’	113.12 b	153.25 a	181.53 a	20.86
‘PINKERTON’	125.89 a	130.42 a	131.66 a	17.56
‘148 PLS’	176.47 a	155.44 a	185.65 a	22.94
‘SAN MARTÍN’	161.25 a	181.06 a	265.66 a	27.83
‘BARRI’	164.16 a	199.42 a	195.83 a	26.93
‘PIONERO’	113.20 b	128.56 b	186.57 a	21.13
‘ALMOLOYA’	150.72 b	215.05 ab	281.14 a	31.63
‘AMATENANGO V4’	156.39 ab	147.21 b	182.74 a	14.32
‘ÁRBOL 40’	117.10 b	138.76 ab	147.22 a	17.33
‘TOVAR 2’	138.67 a	139.88 a	168.66 a	18.53
‘TOCHIMILCO 7’	146.59 b	166.34 b	209.53 a	18.21
‘TOCHIMILCO 1’	151.59 a	167.26 a	186.28 a	19.67

^zValores con la misma letra en cada genotipo por fila son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una (P≤0.05). C. V.: Coeficiente de variación (%).

Una densidad alta de vasos de xilema presenta vasos de menor tamaño, lo cual puede explicarse por una concentración mayor de auxinas, que de acuerdo con Aloni y Zimmermann (1983) al aplicar auxinas en una pasta de lanolina en tallos de frijol decapitados, creando un gradiente de concentración basipétalo, encontraron que la alta concentración de auxinas en el punto de aplicación resultó en numerosos elementos de vaso que permanecen pequeños debido a su rápida diferenciación, mientras que la concentración baja de auxinas más abajo del punto de aplicación resultó en una lenta diferenciación y por lo tanto pocos y elementos de vasos más grandes. Es así, que la mayor densidad de vasos de xilema encontrados en plantas de crecimiento bajo y con tendencia a enanismo puede ser debido a un reducido transporte de auxinas, menor actividad cambial y subsecuente desarrollo de xilema, esto ha sido propuesto como uno de los mecanismos por lo cual los portainjertos de manzano enanizan (Soumelidou *et al.*, 1994). Adicional a lo anterior se ha encontrado que interinjertos de 'M9' (Enanizante) presentan reducido transporte y acumulan giberelinas en sus tejidos, los cuales no son transportados al injerto, al compararlo con 'MM115' (vigoroso), lo cual es otra posible explicación satisfactoria para su efecto enanizante (Richards *et al.*, 1986).

Área de elemento de vaso del xilema

Se encontraron diferencias respecto a área de elementos de vaso en los genotipos 'Don Cris', 'Reed', 'San Martín', 'Pionero', 'Almoleya', 'Arbol 40' y 'Tochimilco 7' (Cuadro 2) con una amplitud de área de elementos de vaso que va de 503.12 a 1173.64 μm^2 , donde plantas de porte intermedio y bajo tendieron a ser significativamente las de menor área, con un promedio de 836.13 y 755.60 μm^2 , respectivamente, contra las de crecimiento alto (935.41 μm^2). Estos resultados mantienen un comportamiento similar a densidad de elementos de vaso y al tener una mayor densidad se ha encontrado una menor área de elementos de vaso. Al comparar árboles normales con árboles enanos de cítricos, olivo, mango y *Copaifera langsdorfi* se ha encontrado que los árboles

enanos se caracterizan por tener elementos de vaso estrechos y una mayor densidad de elementos de vaso del xilema (Saeed *et al.*, 2010; El Said *et al.*, 2013; Rashedy *et al.*, 2014; Longui *et al.*, 2014, respectivamente) lo cual también se ha encontrado en aguacates (Reyes-Santamaría *et al.*, 2002).

Cuadro 2. Área de elementos de vaso en tallo de 15 genotipos de aguacate con distinto porte de planta.

Familia	Porte de planta			C. V.
	Alto	Intermedio	Bajo	
'COLÍN V-33'	782.58 a ^z	887.07 a	822.84 a	17.6
'AGUILAR'	897.71 a	791.85 a	775.84 a	21.99
'DON CRIS'	1009.02 a	995.69 a	695.98 b	16.98
'REED'	1044.76 a	907.45 a	749.12 b	15.38
'PINKERTON'	936.07 a	885.14 a	907.91 a	15.51
'148 PLS'	760.97 a	739.84 a	620.52 a	17.76
'SAN MARTÍN'	956.2 a	785.4 ab	628.0 b	19.52
'BARRI'	740.82 a	793.00 a	840.37 a	12.68
'PIONERO'	980.50 a	898.11 a	658.98 b	19.14
'ALMOLOYA'	907.20 a	669.68 b	503.12 b	21
'AMATENANGO V4'	859.99 a	785.56 a	779.47 a	17.08
'ÁRBOL 40'	1173.64 a	883.33 b	931.47 b	18.66
'TOVAR 2'	1051.18 a	897.60 a	904.58 a	20.19
'TOCHIMILCO 7'	1021.37 a	831.25 b	740.34 b	13.44
'TOCHIMILCO 1'	909.1 a	791.0 a	775.3 a	23.55

^zValores con la misma letra en cada genotipo por fila son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una (P≤0.05). C. V.: Coeficiente de variación (%).

Diámetro de Feret de elementos de vaso de xilema

Para la variable diámetro de Feret de elemento de vaso se observó que en los genotipos 'Pionero', 'Don cris', 'Almoleya' y 'Reed' plantas de porte bajo presentaron significativamente menor diámetro, mientras que 'San Martín', 'Tochimilco 7' y 'Árbol' 40 plantas de porte intermedio y bajo fueron similares y de menor diámetro, por lo cual en términos generales las plantas de porte intermedio y bajo tendieron a presentar un diámetro menor de vaso, con un diámetro de Feret de 38.81 µm y 36.81 µm, respectivamente (Cuadro 3).

Goncalves *et al.* (2007) y Tombesi *et al.* (2010) indicaron que en portainjertos enanizantes de cerezo y durazno, respectivamente, el diámetro de elementos de vaso del xilema es más pequeño y diámetros grandes de elementos de vaso del xilema son encontrados en portainjertos de durazno más vigorizantes (Bruckner y DeJong, 2014).

Cuadro 3. Diámetro de Feret de elementos de vaso del xilema en tallo de 15 genotipos de aguacate con distinto porte de planta.

Familia	Porte de planta			C. V.
	Alto	Intermedio	Bajo	
'COLÍN V-33'	38.66 a ^z	40.29 a	38.59 a	8.81
'AGUILAR'	41.14 a	37.10 a	37.82 a	9.14
'DON CRIS'	44.03 a	43.18 a	35.87 b	9.31
'REED'	43.61 a	40.14 b	36.15 c	7.47
'PINKERTON'	41.32 a	40.49 a	40.46 a	7.41
'148 PLS'	37.01 a	37.09 a	34.04 a	9.85
'SAN MARTÍN'	40.64 a	36.53 ab	32.95 b	9.54
'BARRI'	37.42 a	37.83 a	39.20 a	6.04
'PIONERO'	41.75 a	40.54 a	35.00 b	9.86
'ALMOLOYA'	39.98 a	34.78 b	30.35 c	8.66
'AMATENANGO V4'	39.02 a	37.82 a	37.75 a	8.02
'ÁRBOL 40'	46.06 a	40.09 b	41.01 b	9.26
'TOVAR 2'	43.49 a	40.50 a	39.92 a	9.22
'TOCHIMILCO 7'	42.07 a	38.23 b	35.98 b	6.24
'TOCHIMILCO 1'	40.08 a	37.61 a	37.10 a	10.74

^z Valores con la misma letra en cada genotipo por fila son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$). C. V.: Coeficiente de variación (%).

El ácido indolacético AIA es un importante factor determinante en el diámetro de los elementos de vaso del xilema en especies de anillos porosos *Robinia pseudocacia*, donde niveles altos de AIA dan vasos anchos en tipo madera de primavera y niveles bajos dan vasos estrechos en 'madera de verano', aunque se debe considerar que el reducido abasto de la auxina en portainjertos enanizantes (Somelidou *et al.*, 1994), puede causar elementos de vaso con menor diámetro.

Índice de redondez de elementos de vaso del xilema

Para esta variable se observó que a excepción de 'Reed', no hay diferencias significativas, lo que indica que la forma de los vasos de xilema es constante en todos los genotipos (Cuadro 4).

Cuadro 4. Índice de redondez de elementos de vaso del xilema en 15 genotipos de aguacate con distinto porte de planta.

Familia	Porte de planta			C. V.
	Alto	Intermedio	Bajo	
'COLÍN V-33'	0.74 a ^z	0.75 a	0.75 a	4.39
'AGUILAR'	0.75 a	0.75 a	0.74 a	3.75
'DON CRIS'	0.72 a	0.74 a	0.75 a	5.18
'REED'	0.75 b	0.76 ab	0.78 a	3.44
'PINKERTON'	0.75 a	0.75 a	0.78 a	4.3
'148 PLS'	0.77 a	0.74 a	0.75 a	5.67
'SAN MARTÍN'	0.80 a	0.81 a	0.78 a	4.96
'BARRI'	0.77 a	0.76 a	0.75 a	5.35
'PIONERO'	0.77 a	0.76 a	0.77 a	4.7
'ALMOLOYA'	0.77 a	0.78 a	0.79 a	4.15
'AMATENANGO V4'	0.79 a	0.76 a	0.78 a	3.88
'ÁRBOL 40'	0.77 a	0.77 a	0.78 a	4.5
'TOVAR 2'	0.77 a	0.78 a	0.79 a	4.12
'TOCHIMILCO 7'	0.79 a	0.79 a	0.79 a	2.7
'TOCHIMILCO 1'	0.78 a	0.77 a	0.78 a	4.25

^zValores con la misma letra en cada genotipo por fila son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$). C. V.: Coeficiente de variación (%).

Características de Tallo

Diámetro

Los resultados mostraron que el diámetro de tallo presentó una amplitud de 4.66 a 9.30 mm. En los genotipos 'Reed', 'Aguilar' y 'Almoleya' se observó que plantas de porte intermedio y bajo fueron de menor diámetro, en 'Colín V-33' y '148 PLS' plantas de porte alto y bajo presentan los valores más bajos; 'Tovar 2', 'Tochimilco 1', 'Amatenango V4' y 'Árbol 40' plantas de porte medio y bajo fueron las de menor diámetro pero a su vez las de porte medio fueron estadísticamente

similares a las de porte alto, y en 'Don Cris', 'Pionero' y 'Tochimilco 7' plantas de porte bajo fueron las de menor valor para esta variable (Cuadro 5).

En promedio encontramos diámetros de 9.30, 8.41y 7.18 mm para plantas de porte alto, intermedio y bajo, respectivamente.

De forma frecuente se muestra que las plantas de porte intermedio y bajo fueron de menor diámetro. Dichos resultados muestran una tendencia similar a lo reportado por López-Jiménez y Barrientos-Priego (1987) en árboles de 'Colín V-33' donde la circunferencia y diámetro de tronco en árboles enanos tuvieron una circunferencia y diámetro promedio menor que la de árboles altos.

Cuadro 5. Diámetro de tallo de 15 genotipos de aguacate con diferente porte de planta.

Familia	Diámetro de tallo			
	Porte de planta			
	Alto	Medio	Bajo	C. V.
'COLÍN V-33'	8.25 b	10.02 a	7.67 b	14.91
'AGUILAR'	10.26 a	8.73 b	8.11 b	12.04
'DON CRIS'	8.71 a	7.36 b	5.49 c	13.06
'REED'	10.72 a	8.64 b	7.45 b	14.23
'PINKERTON'	10.03 a	9.51 a	10.27 a	19.64
'148 PLS'	9.05 ab	9.84 a	8.33 b	5.95
'SAN MARTÍN'	8.69 a	8.04 a	6.51 a	20.02
'BARRI'	10.38 a	8.81 a	8.89 a	9.44
'PIONERO'	10.03 a	9.76 a	6.87 b	13.82
'ALMOLOYA'	8.77 a	5.81 b	4.66 b	15.55
'AMATENANGO V4'	8.43 a	7.59 ab	6.86 b	13.46
'ÁRBOL 40'	8.35 a	8.13 ab	6.81 b	16.16
'TOVAR 2'	8.85 a	7.86 ab	6.63 b	14.89
'TOCHIMILCO 7'	9.42 a	7.49 b	6.20 c	14.98
'TOCHIMILCO 1'	9.62 a	8.56 ab	6.94 b	15.76

^zValores con la misma letra en cada genotipo por fila son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$). C. V.: Coeficiente de variación (%).

Proporción de área transversal de corteza con relación a xilema

En proporción de área transversal de corteza los resultados mostraron que en 'Don Cris', 'Reed', 'Barri', 'Árbol 40' y 'Tochimilco 1' plantas de porte bajo y medio fueron de mayor proporción y a su vez plantas de porte medio estadísticamente similares a las de porte alto, que fueron de menor proporción. En 'Colín V-33' observamos que plantas de porte bajo y alto fueron de mayor proporción de área de corteza transversal, pero que a su vez plantas de porte medio y alto fueron similares, con la menor área; en 'Aguilar' y 'Pionero' plantas de porte medio y bajo fueron de mayor proporción de área de corteza; en 'Tochimilco 7' y 'Almoleya' plantas de porte bajo fueron las que presentaron la menor proporción de área de corteza (Cuadro 6). Los resultados muestran una proporción de área transversal de corteza promedio de, 35.98 %, 37.33 % y 39.18 % para plantas de crecimiento alto, intermedio y bajo, respectivamente.

En Árboles de 'Colin V-33', de seis años de edad se ha encontrado que la proporción de área transversal de corteza fue alta en árboles enanos (22.72 %) con respecto a árboles altos (12.17 %) (López-Jiménez y Barrientos-Priego, 1987). Saedd *et al.* (2010) al evaluar portainjertos de cítricos con diferente vigor encontraron que el crecimiento lento y altura reducida de portainjertos enanos como 'Flying Dragon' (*Poncirus trifoliata*) se atribuye a una alta relación corteza: madera tanto en raíz y tallo.

Es evidente que varios genotipos donde plantas de porte bajo fueron las que mostraron mayor proporción de corteza, en otros no existió diferencias, por lo que es probable que en las plantas jóvenes la clasificación de porte que se realizó no fue muy acertada, esto nos indica que probablemente la altura como tal, no es muy buena herramienta para clasificar a las plantas inicialmente con su potencial de ser en el futuro altos, medios o bajos ya en su etapa adulta, de hecho Barrientos-Pérez y Barrientos-Priego (1996) no encontraron correlación entre altura de plantas de un año de edad de aguacate y su potencial enanizante después de seis años de injertados.

Cuadro 6. Proporción de área transversal de corteza con relación a xilema de 15 genotipos de aguacate con distinto porte de planta.

Genotipo	Crecimiento de planta						CV
	Alto		Intermedio		Bajo		
		%		%		%	
‘Colín V-33’	0.69 ab	40.95	0.64 b	36.11	0.72 a	43.16	7.73
‘Aguilar’	0.62 b	33.67	0.75 a	39.24	0.70 a	41.56	6.74
‘Don Cris’	0.54 b	26.65	0.59 ab	31.42	0.62 a	34.41	9.68
‘Reed’	0.57 b	29.47	0.60 ab	32.48	0.64 a	35.38	7.79
‘Pinkerton’	0.61 a	33.28	0.71 a	41.22	0.65 a	36.42	25.65
‘148 PLS’	0.68 a	39.97	0.71 a	42.19	0.74 a	45.44	6.25
‘San Martín’	0.62 a	33.91	0.68 a	39.69	0.68 a	40.00	11.08
‘Barri’	0.66 b	37.99	0.73 ab	44.89	0.81 a	52.08	6.97
‘Pionero’	0.61 b	32.59	0.72 a	44.00	0.80 a	50.99	9.16
‘Almoleya’	0.61 c	33.25	0.70 b	41.95	0.79 a	50.05	6.19
‘Amatenango V4’	0.62 a	34.29	0.65 a	36.58	0.64 a	35.46	8.25
‘Árbol 40’	0.57 b	28.92	0.59 ab	31.33	0.63 a	34.56	7.07
‘Tovar 2’	0.58 a	30.50	0.63 a	34.99	0.64 a	35.34	8.11
‘Tochimilco 7’	0.54 b	26.65	0.55 b	27.89	0.62 a	34.18	10.38
‘Tochimilco 1’	0.57 b	29.26	0.61 ab	33.02	0.65 a	37.06	9.26

^zValores con la misma letra en cada genotipo por fila son iguales estadísticamente de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$). C. V.: Coeficiente de variación (%).

La mayor proporción de corteza con respecto a madera puede estar explicado en lo expuesto por Digby y Wareing (1966), que indicaron que los niveles relativos de IAA y GA son importantes para determinar si se produce principalmente xilema (madera) o tejido de floema (corteza), donde concentraciones AIA alta/ GA baja favorecen formación de xilema, mientras que concentraciones AIA baja/ GA alta favorecen producción de floema (corteza). Se ha encontrado que el manzano 'M9' (enanizante) presenta reducido transporte y acumulan giberelinas en sus tejidos, los cuales no son transportados al injerto, al compararlo con 'MM115' (vigoroso) (Richards *et al.*, 1986), lo cual es una explicación de porqué se da una mayor proporción de corteza (floema) en portainjertos enanizantes, ya que se ha reportado que tienen mayores proporciones corteza-xilema en sus tallos (Lockard, 1976). Por otra parte, Lockard y Schneider (1981) encontraron que los fenoles en la corteza como el ácido benzoico destruyen cierta proporción de

auxina en la corteza. En cerezo portainjertos vigorosos tuvieron altos niveles de AIA difusible en su corteza que genotipos enanizantes (Moghadam y Sahbani, 2014) y al parecer presenta algo parecido en variedades de manzano 'Cotland' y 'Golden Delicious' vigorosas y sus mutantes enano (Jindal *et al.*, 1974), adicionalmente se ha encontrado que los porta injertos M27 y M9 tuvieron altas concentraciones de ABA en corteza de brotes comparado con los portainjertos vigorosos M106 y M111 donde probablemente esté implicado en la inhibición del crecimiento y también se sabe que tiene efecto adverso sobre el transporte polar de auxinas (Kamboj *et al.*, 1999).

CONCLUSIONES

Mayor densidad de elementos de vaso del xilema, elementos de vaso del xilema con menor área y menor diámetro de Feret parecen ser indicadores de enanismo en plantas de aguacate, por lo que estas características podrían permitir la selección de genotipos con comportamiento de crecimiento enano.

Una alta proporción de área transversal de corteza con relación a xilema parece indicar un comportamiento de crecimiento enano en plantas de aguacate.

LITERATURA CITADA

- Aloni, R. & Zimmermann, M. H. (1983). The control of vessel size and density along the plant axis. *Differentiation*, 24 (1-3), 203-208.
- Barrientos P, A.; A., López J. A. & Sánchez C., S. (1987). Effect of cv. Colín V-33 as interstock on avocado (*Persea americana* Miii.) growth, cv. Fuerte. *South African Avocado Growers Association Yearbook*, 10, 62-63.
- Barrientos-Pérez. F. & Barrientos-Priego, A. F. (1996). Correlaciones entre algunas características de plántulas de aguacate de 'Colín V-33' y sus efectos enanizantes como porta injertos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 2(5), 95-98.

- Barrientos-Priego, A. F. & Sánchez-Colín, S. (1987). Stomatal density and its relationship with growth habit in avocado. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 10, 66-67.
- Barrientos-Villaseñor, A., Barrientos-Priego, A. F., Rodríguez-Pérez, J. E., Peña-Lomelí, A. & Muñoz-Pérez, R. (1999). Influencia del interinjerto 'Colin V-33' sobre algunos aspectos fisiológicos en aguacatero (*Persea americana* Mill). *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 103-116.
- Bruckner, C. H. & Dejong, T. M. (2014). Proposed pre-selection method for identification of dwarfing peach rootstocks based on rapid shoot xylem vessel analysis. *Scientia Horticulturae*, 165, 404-409.
- De La Cruz-Torres, E., López-López, L., Colín-Ordóñez, J. G., BARRIENTOS-PRIEGO, A. F. & Ben-Ya'acov, A. D. (1990). Avances en el estudio de los recursos genéticos del aguacate (*Persea americana* Mill.) en la región centro de la república mexicana. Memoria 1990 del CIC-FRUTICOLA-CICTAMEX. Coatepec Harinas, México, pp. 91-99.
- Digby, J. & Wareing, P. F. (1966). The effect of applied growth hormones on cambial division and the differentiation of the cambial derivatives. *Annals of Botany*, 30(3), 539-548.
- El Said, S. H., Hegazi, A. A. & Allatif, A. M. A. (2013). Histological indicators of Dwarfism of some Olive Cultivars. *World Applied Sciences Journal*, 28(6), 835-841.
- Goncalves, B., Correia, C. M., Silva, A. P., Bacelar, E. A., Santos, A., Ferreira, H. & Moutinho-Pereira. (2007). Variation in xylem structure and function in roots and stems of scion-rootstock combinations of sweet cherry tree (*Prunus avium* L.). *Trees*. 21(2), 121-130.
- Griswold, H. B. (1946). Primitive avocados of Central America and México. *California Avocado Society Yearbook*, 30, 103-105.

- Jindal, K. K., Dalbro, S., Andersen, A. S. & Poll, L. (1974). Endogenous growth substances in normal and dwarf mutants of Cortland and Golden Delicious apple shoots. *Physiologia Plantarum* 32(1), 71-77.
- Kamboj, J. S., Browning, G., Blake P. S., Quinlan, J. D. & BAKER, D. A. (1999). GC-MS-SIM analysis of abscisic acid and indole-3-acetic acid in shoot bark of apple rootstocks. *Plant Growth Regulation*. 28, 21–27.
- Lockard, R. G. (1976). The effect of apple dwarfing rootstocks and interstocks on the proportion of bark on the tree. *Horticultural Research*, 15, 83-94.
- Lockard, R. G., & Schneider, G. W. (1981). Phenols and the dwarfing mechanism in apple rootstocks. *Acta Horticulturae*, 120, 107-112.
- Longui, E. L., Costa, N. O., Cielo-Filho, R., Marcati, C. R., Romeiro, D., Rajput, K. S., Lima, I. L. & Florsheim, S. M. B. (2014). Wood and leaf anatomy of *Copaifera langsdorfii* dwarf trees. *IAWA Journal*. 35(2), 170-185.
- López-Jiménez, A. & Barrientos-Priego, A. F. (1987). Selection of dwarfing rootstocks of avocado (*Persea americana* Mill.). *California Avocado Society Yearbook*, 71, 225-234.
- Moghadam, E. G. & Shabani, Z. (2014). The relation of endogenous abscisic acid and indole acetic acid on vigor of some selected dwarf mahaleb (*Prunus mahaleb* L.) genotypes. *Journal of Horticultural and Forestry*. 6(11), 107-111.
- Popenoe, W. (1935). Origin of the cultivated races of avocados. *California Avocado Association Yearbook*, 20, 184-194.
- Rashedy, A. A., El Kheshin, M. A. & Allatif, A. A. (2014). Histological Parameters Related to Dwarfism in Some Mango Cultivars. *World Journal of Agricultural Sciences*, 10(5), 216-222.

- 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(2), 97-105.
- Richards, D., Thompson, W. K. & Pharis, R. P. (1986). The influence of dwarfing interstocks on the distribution and metabolism of xylem-applied [3H] gibberellin A4 in apple. *Plant Physiology*. 82(4), 1090-1095.
- Roe, D. J, Conradie, W. & Köhne, J. S. (1995). Progress with rootstock research at Merensky Technological Services. *South African Growers' Association Yearbook*. 18, 10-11.
- Saeed, M., Dodd, P. B. & Sohail, L. (2010). Anatomical studies of stems, roots and leaves of selected citrus rootstock varieties in relation to their vigor. *Journal of Horticulture and Forestry*. 2(4), 87-94.
- Smith, C. E. (1966). Archeological evidence for selection of avocados. *Economic Botany*, 20(2), 169-175.
- Soumelidou, K., Morris, D. A., Battey, N. H., Barnett, J. R. & John, P. (1994). Auxin transport capacity in relation to the dwarfing effect of apple rootstocks. *Journal of Horticultural Science*, 69(4), 719-725.
- Tombesi, S., Johnson, R. S., Day, K.R., & Dejong, T. M. (2010). Relationships between xylem vessel characteristics, calculated axial hydraulic conductance and size-controlling capacity of peach rootstocks. *Annals of Botany*, 105, 327-331.
- Webster, T. (2002). Dwarfing rootstocks: Past, present and future. *Compact Fruit Tree*. 35(3), 67-72.

COMPORTAMIENTO DE CRECIMIENTO DE 'HASS' SOBRE 15 PORTAINJERTOS DE AGUACATE CON POSIBLE CAPACIDAD DE REDUCIR EL PORTE

GROWTH BEHAVIOR OF 'HASS' ON 15 AVOCADO ROOTSTOCKS WITH POSSIBLE ABILITY TO REDUCE THE GROWTH

RESUMEN

La presente investigación se realizó con el fin de determinar el efecto de plantas derivadas de semilla de 15 genotipos sobre el crecimiento de 'Hass' usado como injerto y cuales características se podrían asociar con un crecimiento de poco vigor de injerto. Como portainjertos se utilizan 15 genotipos provenientes de semilla formando familias, en cada familia los individuos se clasificaron de acuerdo al porte formando tres grupos. Las características de crecimiento del injerto se midieron después de un periodo de crecimiento de nueve meses. En el análisis por familia no se observó un efecto diferente de los portainjertos sobre el crecimiento del injerto. Al analizar el comportamiento de cada injerto/portainjerto por separado como una unidad se determinó en el análisis de componentes principales que en los primeros cuatro componente principales se recogió el 58.0 % de la variación y los cuales están fuertemente asociados con las variables: Longitud del injerto, diámetro del injerto, número de hojas del injerto, diámetro de elementos de vaso del portainjerto, área de elementos de vaso del portainjerto, proporción de corteza-madera del portainjerto, asimilación de CO₂ del portainjerto, conductancia estomática del portainjerto y densidad estomática del portainjerto. De acuerdo al análisis discriminante canónico las variable más discriminante de la primera función fue longitud de entrenudo del injerto y para la función dos el número de entrenudos del injerto. Los injertos se dividieron de acuerdo al análisis de agrupamiento en cuatro grupos, tomando como discriminantes máximos las variables longitud de injerto, longitud de entrenudo y número de entrenudos. La longitud de entrenudo y número de entrenudos en conjunto determinan la longitud del injerto, características que podrían considerarse en la selección temprana de injertos con reducción del vigor para el enanismo de crecimiento compacto.

PALABRAS CLAVE: *Persea americana* Mill, portainjertos, cv. Hass, entrenudos cortos, porte bajo.

This research was conducted to determine the effect of segregating seedlings of fifteen genotypes on the growth of 'Hass' used as scion and which characteristics are associated with little vigour growth in the scion. 15 genotypes as rootstocks derived from seed were used to form families. 'Hass' was used as scion. Growth characteristics were measured in the scion after a growth period of nine months. In the analysis per family it was not observed a different effect of rootstocks on growth of scion. When analyzing the behavior of each scion/ rootstock separately as a unit, is determined in the principal components analysis in the first four principal component was collected the 58.0 % of the variation and which they are strongly associated with variables: length of scion, scion diameter, leaf number of scion, vessel density of rootstock, area of vessel of rootstock, bark ratio of rootstock, CO₂ assimilation rate of rootstock, stomatal conductance of rootstocks and stomatal density of rootstock. According to the canonical discriminant analysis the most discriminant variable in the first function was length internode of scion and in the second function was the number of internodes of scion. The scions were divided according to cluster analysis into four groups, based on maximum discriminant variables length of scion, length and number of internodes. The length and number of internodes together determine the length of the scion, characteristics that could be considered in the early selection of scion with reduced vigour in dwarfism in compact type growth.

KEY WORDS: *Persea americana* Mill, rootstocks, cv. Hass, short internodes, low size.

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

Los portainjertos se han utilizado como un medio de propagación de árboles frutales por alrededor de dos mil años. La mayoría de estos se han obtenido de semillas recogidas del medio silvestre, sin embargo, portainjertos clonales también se han usado durante varios siglos, como el caso de manzano. Los portainjertos pueden influenciar el vigor, el hábito y cosecha del cultivar injertado, así como su resistencia/tolerancia a enfermedades y plagas del suelo y aéreas, y a condiciones climáticas y edáficas desfavorables (Webster, 2004).

El uso de patrones enanizantes ha aumentado drásticamente la rentabilidad de la producción de fruta al reducir los costos de producción, reducción del uso de productos químicos y las plantaciones de mayor densidad (Prassinis *et al.*, 2009). Por ello el gran interés en generar portainjertos enanizantes, para incorporarlos en los sistemas de producción intensivos y con ello incrementar la producción.

En aguacate se han realizado estudios para la selección de portainjertos que toleren salinidad, sequía, resistencia a enfermedades y obtención de árboles enanos. En la Fundación Salvador Sánchez-Colín CICTAMEX, S. C. se ha trabajado desde los 50's en un programa de mejoramiento para obtener arboles enanos y arboles con vigor intermedio con el fin de tener plantaciones intensivas (Sánchez-Colín y Barrientos-Priego, 1987), seleccionando entre uno de ellos a 'Colín V-33' como un árbol enano y con la capacidad de ser usado como un interinjerto enanizante para aguacate (Barrientos-Priego *et al.*, 1987). También se ha estudiado el efecto de plántulas de 'Colín V-33' como portainjerto y cultivares enanos, semi-enanos y estándar como injerto, reportando diferencias entre los arboles más pequeños y el más grande en la reducción de altura, diámetro de dosel y circunferencia del tronco (Barrientos-Priego *et al.*, 1992)

Los portainjertos potencialmente enanizantes como 'Wilg', 'Colín V-33' y 'Ryan' han sido probados para el cultivar 'Hass' con el fin de reducir el tamaño del injerto (Roe y Morudu, 2000). Se ha estado trabajando principalmente con Colin v-33

para la selección de portainjertos enanos que satisfagan las necesidades de los nuevos sistemas de producción. Se conoce el efecto potencial de genotipos enanizantes sobre el cultivar; sin embargo, se requieren periodos relativamente largos, de por lo menos seis años de evaluación para observar la característica de enanismo en el mismo portainjerto y el efecto sobre el injerto.

Es por ello que se han realizado trabajos en plántulas muy jóvenes, desde un año de edad para tratar de correlacionar características que indiquen el potencial enanizante de estas a temprana edad sobre el comportamiento futuro del injerto, sin obtener alguna relación altamente significativa entre las características de las plántulas de un año y el efecto enanizantes como portainjertos en cultivares o selecciones (Barrientos-Pérez y Barrientos-Priego, 1996). Aunque no se han encontrado relaciones altamente significativas entre estado de plántula y su efecto enanizantes es necesario continuar con los estudios tanto en Colín V-33 como en otros genotipos. Por lo que, el propósito de este estudio fue determinar el efecto de plantas obtenidas de semilla de 15 genotipos sobre el crecimiento de 'Hass' usado como injerto y cuales características podrían asociarse con un crecimiento de poco vigor en el injerto.

MATERIALES Y MÉTODO

El presente estudio se realizó en un invernadero del campo experimental de la Universidad Autónoma Chapingo. El material vegetal utilizado como portainjertos fueron 15 genotipos de aguacate provenientes de semilla de dos años de edad aproximadamente: 'Colín V-33', 'Aguilar', 'Don Cris', 'Reed', 'Pinkerton', '148 PLS', 'San Martín', 'Barri', 'Pionero', 'Almoloya', 'Amatenango V4', 'Árbol 40', 'Tovar 2', 'Tochimilco 7' y 'Tochimilco 1', para formar familias, donde en cada una de ellas se clasificaron de forma visual en tres grupos: de porte alto, intermedio y bajo. El material vegetal usado como injerto fue cv. Hass.

Para homogeneizar el crecimiento de los portainjertos se podaron las plantas a una altura de 20 cm desde la base de la planta hacia el ápice (entre el 29 de enero y el 8 de Febrero del 2014), dos brotes por cada planta fueron dejados los que crecieron durante 3 meses. La injertación de 'Hass' sobre los patrones se realizó el 14 de mayo del 2014 en uno de los brotes (plantas de 3 años aproximadamente), una segunda injertación se hizo el 26 de mayo y el 3 de junio del mismo año en brotes delgados que no se injertaron la primera vez. Los injertos de cv. Hass crecieron bajo las mismas condiciones durante un periodo de nueve meses, momento en el cual se evaluaron las características de crecimiento del injerto.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con diferente número de repeticiones. Como factor de estudio se usó las diferencias de crecimiento de las plantas dentro de cada familia, dividido en tres grupos: porte alto, intermedio y bajo. La unidad experimental consistió del brote del injerto 'Hass' sobre un portainjerto y el número de repeticiones varió en función del prendimiento de los injertos en cada grupo de cada familia, aunque el mínimo fue de dos ('Barri', 'San Martín', 'Don Cris') y un máximo de 14 repeticiones para cada grupo.

Las variables se midieron en una sola ocasión en el mes de marzo del 2015, se determinó la longitud del brote del injerto (cm) mediante un flexómetro, el diámetro del brote del injerto (mm) con un calibrador vernier digital General®, número de hojas por brote del injerto y número de entrenudos por brote del injerto mediante conteo visual, longitud de entrenudo del brote del injerto con un calibrador vernier digital General® y número de ramas por brote del injerto mediante conteo visual.

Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) y prueba de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0.05$), usando el software estadístico SAS 9.0. Se realizó un análisis de componente principales (ACP) para las variables del injerto y variables del portainjerto que mostraron mayor asociación con un crecimiento bajo en el estudio previo que se realizó sobre los portainjertos. Se realizó un análisis discriminante canónico (ADC) con la distancia de Mahalanobis para determinar

las variables más discriminantes, además se realizó la prueba de resustitución para determinar la pertinencia de la clasificación *a priori*. Se realizó un análisis de agrupamiento utilizando la distancia Euclidia y el método de aglomeramiento de varianza mínima de Ward para generar un dendrograma jerárquico (Núñez-Colín y Escobedo-López, 2011). El dendrograma resultante fue dividido de acuerdo al pseudo-estadístico de Hotelling (Johnson, 1998). Para el caso del análisis discriminante canónico como variable clasificatoria *a priori* se usó la longitud de brote del injerto, donde se reunieron a todos los injertos/ portainjertos ordenándolos de mayor a menor longitud y, así formar tres grupos con intervalos equidistantes.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Análisis de varianza y comparación de medias del crecimiento del injerto 'Hass' en 15 familias de aguacate

Los resultados muestran que no hay efecto de los portainjertos preclasificados por su porte previamente sobre el crecimiento del injerto de 'Hass', ya que se observó un comportamiento de crecimiento similar en longitud de brote, diámetro de brote, número de hojas, número de entrenudos, longitud promedio de entrenudos y número de ramas. Sin embargo, en algunos portainjertos y en algunas variables se observaron diferencias significativas.

En 'Don Cris' se observó que el número de hojas en injertos sobre portainjertos de porte bajo fueron los de menor número (0.50). En 'Pionero' se encontró para diámetro de brote y número de hojas que injertos sobre patrones de porte intermedio y bajo fueron los de mayor diámetro (4.57 y 6.57, respectivamente) y mayor número de hojas (10.9 y 15.50, respectivamente), y a su vez injertos sobre portainjertos de porte intermedio y alto con menor diámetro (4.57 y 4.04, respectivamente) y menor número de hojas (10.9 y 8.5, respectivamente). Para 'San Martín' encontramos que el número de ramas en injertos sobre patrones de porte bajo y alto fueron las que tuvieron más ramas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Características de ‘Hass’ injertados sobre nueve genotipos de aguacate, donde se realizó una preclasificación de los portainjertos utilizados por su porte.

FAMILIA	PORTE	LI	DI	NHI	NEI	LEI	NRI
‘Barri’	Alto	5.9 a ^z	3.95 a	7.5 a	16.0 a	3.79 a	0.0 a
	Intermedio	7.8 a	3.47 a	6.25 a	11.5 a	4.87 a	0.75 a
	Bajo	5.35 a	3.7 a	9.5 a	19.0 a	2.5 a	0.50 a
	CV	73.74	14.56	45.27	38.39	40.75	100
	DMSH	14.7	1.58	9.92	16.54	4.85	1.48
‘Pinkerton’	Alto	6.0 a	3.7 a	8.6 a	18.4 a	2.32 a	0.60 a
	Intermedio	3.71 a	3.25 a	7.0 a	16.33 a	2.15 a	1.0 a
	Bajo	7.34 a	3.84 a	9.0 a	16.71 a	4.07 a	1.0 a
	CV	43.83	21.42	44.54	34.58	54.54	77.94
	DMSH	3.82	1.17	5.54	8.93	2.43	1.05
‘Don Cris’	Alto	4.02 a	3.22 a	6.89 a	16.44 a	2.12 a	0.33 a
	Intermedio	4.17 a	3.15 a	6.50 a	12.75 a	2.74 a	0.25 a
	Bajo	4.05 a	2.95 a	0.50 b	17.50 a	1.21 a	1.0 a
	CV	45.23	19.66	33.84	30.82	66.98	187.5
	DMSH	3.72	1.26	4.05	9.72	2.93	1.52
‘Aguilar’	Alto	4.60 a	3.57 a	8.00 a	17.57 a	3.06 a	0.71 a
	Intermedio	8.94 a	4.28 a	10.20 a	17.80 a	4.90 a	1.60 a
	Bajo	6.99 a	4.17 a	8.89 a	22.11 a	3.32 a	1.22 a
	CV	63.62	24.30	38.14	21.05	68.88	113.31
	DMSH	5.85	1.36	4.77	5.78	3.49	1.81
‘Reed’	Alto	9.06 a	4.31 a	11.67 a	22.89 a	2.89 a	1.67 a
	Intermedio	7.93 a	4.25 a	9.54 a	20.64 a	3.14 a	1.27 a
	Bajo	5.84 a	3.62 a	10.00 a	19.60 a	3.57 a	0.80 a
	CV	70.46	30.45	53.41	36.94	67.63	95.53
	DMSH	7.23	1.64	7.22	10.21	2.76	1.64
‘148 PLS’	Alto	5.80 a	3.85 a	5.25 a	19.25 a	1.69 a	0.25 a
	Intermedio	8.32 a	3.98 a	9.40 a	23.80 a	3.52 a	0.40 a
	Bajo	5.94 a	4.28 a	8.80 a	21.60 a	2.36 a	0.60 a
	CV	57.07	15.41	51.78	33.17	75.50	212.81
	DMSH	6.84	1.11	7.36	12.80	3.47	1.62
‘Colín V-33’	Alto	12.08 a	4.86 a	13.00 a	26.46 a	4.58 a	0.85 a
	Intermedio	11.74 a	4.84 a	13.82 a	28.64 a	4.44 a	1.91 a
	Bajo	8.02 a	4.79 a	11.25 a	23.75 a	3.39 a	1.50 a
	CV	57.45	28.26	38.62	31.08	53.68	96.76
	DMSH	6.13	1.37	4.91	8.18	2.23	1.35
‘Pionero’	Alto	6.48 a	4.04 b	8.5 b	19.00 a	3.09 a	1.37 a
	Intermedio	10.11 a	4.57 ab	10.9 ab	22.90 a	4.23 a	1.40 a
	Bajo	13.35 a	6.37 a	15.50 a	28.75 a	5.25 a	0.75 a
	CV	64.12	32.30	40.40	45.77	43.39	123.61
	DMSH	8.61	2.17	6.27	14.75	2.65	2.25
‘San Martín’	Alto	7.70 a	3.95 a	11.50 a	24.50 a	3.69 a	0.50 ab
	Intermedio	8.93 a	5.67 a	13.00 a	27.00 a	3.61 a	0.00 b
	Bajo	13.90 a	5.50 a	18.00 a	30.50 a	4.76 a	2.00 a
	CV	40.79	28.88	40.85	23.09	56.41	106.06
	DMSH	10.09	3.66	14.32	16.06	5.74	1.84

^aValores con la misma letra dentro de cada genotipo en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación (%); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta LI: Longitud del injerto, DI: Diámetro del injerto, NHI: Número de hojas del injerto, NEI: Número de entrenudos del injerto, LEI: Longitud de entrenudo del injerto, NRI: Número de ramas del injerto.

En este grupo de portainjertos se observó que en ‘Almolya’ en número de entrenudos, los injertos sobre patrones de porte alto y bajo tuvieron más entrenudos (28.14 y 27.50, respectivamente) (Cuadro 2).

Cuadro 2. Características de ‘Hass’ injertados sobre seis genotipos de aguacate, donde se realizó una preclasificación de los portainjertos utilizados por su porte.

FAMILIA	PORTE	LI	DI	NHI	NEI	LEI	NRI
‘Almolya’	Alto	8.63 a ^z	4.63 a	9.43 a	28.14 a	3.28 a	0.86 a
	Intermedio	6.90 a	3.57 a	7.33 a	15.67 b	3.34 a	1.00 a
	Bajo	11.12 a	4.17 a	9.50 a	27.50 a	4.04 a	1.50 a
	CV	53.76	21.70	55.59	19.54	54.15	143.10
	DMSH	9.06	1.74	9.40	9.28	3.57	2.88
‘Tochimilco 1’	Alto	5.98 a	3.78 a	5.88 a	24.40 a	2.89 a	0.20 a
	Intermedio	8.33 a	4.77 a	7.33 a	22.67 a	3.11 a	0.67 a
	Bajo	15.40 a	4.74 a	13.29 a	27.14 a	5.29 a	1.71 a
	CV	104.68	37.09	73.47	31.22	105.98	103.66
	DMSH	20.33	2.94	12.63	14.17	7.70	1.86
‘Tovar 2’	Alto	9.62 a	4.07 a	7.5 a	21.25 a	4.93 a	0.75 a
	Intermedio	9.10 a	4.05 a	6.87 a	25.75 a	3.82 a	1.37 a
	Bajo	6.30 a	4.09 a	7.00 a	24.00 a	2.58 a	0.57 a
	CV	66.86	32.00	51.60	38.89	59.30	124.73
	DMSH	8.29	1.97	5.52	14.24	3.23	1.79
‘Árbol 40’	Alto	8.68 a	3.74 a	7.40 ab	23.20 a	3.62 a	1.20 a
	Intermedio	9.69 a	4.17 a	9.86 a	25.29 a	5.29 a	1.14 a
	Bajo	9.37 a	3.20 a	3.33 b	14.00 a	7.73 a	1.67 a
	CV	50.27	33.16	38.92	38.30	64.73	97.56
	DMSH	8.36	2.28	5.39	15.32	6.05	2.21
‘Amatenango V4’	Alto	5.47 a	4.40 a	7.50 a	27.50 a	2.37 a	0.25 a
	Intermedio	9.52 a	5.03 a	10.83 a	31.33 a	3.39 a	0.67 a
	Bajo	8.29 a	4.61 a	10.86 a	30.14 a	3.93 a	0.43 a
	CV	41.93	23.32	34.92	24.43	51.13	110.67
	DMSH	5.58	1.76	5.61	11.69	2.75	0.83
‘Tochimilco 7’	Alto	7.87 a	4.32 a	8.50 a	25.50 a	2.82 a	1.25 a
	Intermedio	10.42 a	4.90 a	9.50 a	26.87 a	3.01 a	1.12 a
	Bajo	5.41 a	4.02 a	7.12 a	26.12 a	2.02 a	0.75 a
	CV	87.72	30.34	63.89	29.03	50.43	116.63
	DMSH	10.28	1.99	7.90	11.31	1.92	1.73

^zValores con la misma letra dentro de cada genotipo en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una ($P \leq 0.05$). CV: Coeficiente de variación (%); DMSH: Diferencia mínima significativa honesta LI: Longitud del injerto, DI: Diámetro del injerto, NHI: Número de hojas del injerto, NEI: Número de entrenudos del injerto, LEI: Longitud de entrenudo del injerto, NRI: Número de ramas del injerto.

En ‘Árbol 40’ el número de hojas parainjertos sobre patrones de porte intermedio y alto fueron de mayor número (7.40 y 9.86, respectivamente), y a su vez injertos sobre porta injertos de porte alto y bajo estadísticamente similares presentaron el menor número de hojas, con 7.40 y 3.33 respectivamente (Cuadro 2).

Los portainjertos usados tienen un efecto similar sobre el vigor del injerto, contrario a lo que se esperaba. Al observar los coeficientes de variación se observa que estos son altos, indicando que hay una gran variación dentro de cada genotipo. La alta variación presente incrementó el error en la distinción del efecto de los portainjertos sobre el crecimiento del injerto, lo que conlleva a una limitada posibilidad de identificar portainjertos con la capacidad de inducir enanismo en 'Hass'.

Esta variación puede ser atribuida a que el periodo de crecimiento de los injertos fue menor a un año, por lo que el efecto de los portainjertos no se produjo en su totalidad. Es posible que se necesite más tiempo de evaluación para poder observar claramente el efecto de estos genotipos sobre el crecimiento de los vástagos. Se ha encontrado que diferencias relacionadas con portainjertos, en tamaño y vigor del árbol, fueron aparentes después del primer año de crecimiento en campo (DeJong *et al.*, 2004), por lo que tal vez nueve meses no fueron suficientes para observar dichas diferencias. Sin embargo, hay que considerar que, si se observó diferencias fuertes, por ejemplo, en Colín V-33 (Figura 1), aunque independiente de la preclasificación realizada en los portainjertos, donde se redujeron drásticamente los injertos y se cambió el hábito de crecimiento, haciéndolo lateral. El cambio de ángulo de ramas por efecto del portainjerto se ha documentado en manzano (Warner, 1991).



Figura 1. Plantas del cv. Hass en portainjertos de semilla ‘Colin V-33’ de la misma edad. A la izquierda planta enanizada con hábito de crecimiento lateral y entrenudos cortos, y en la derecha planta con crecimiento normal.

Filtrado de variables del portainjerto y del injerto que permitan la descripción del crecimiento de los injertos sobre portainjertos con efecto potencial enanizante.

Se analizó el comportamiento de cada injerto/portainjerto por separado como una unidad mediante el análisis de componentes principales

Cuadro 3. Formación de componentes principales con base a características del portainjerto y del injerto de aguacate.

	CP-1	CP-2	CP-3	CP-4
NEP	0.2479	-0.0008	-0.1107	0.1382
LEPP	-0.2628	-0.5944	-0.0946	-0.0238
ACO2P	0.0608	0.0338	0.8759	0.1077
CEP	-0.0353	0.1203	0.8895	0.0593
DEP	-0.0555	-0.1964	0.086	0.899
DCEP	-0.0709	-0.1098	-0.1143	0.9644
IEP	0.0238	-0.1488	0.4278	-0.175
DVP	0.0935	0.7955	-0.1414	-0.112
AVP	-0.0005	-0.7493	0.0062	0.0529
DTCP	0.1668	-0.5921	-0.2242	0.1685
PCM	0.0529	0.7374	-0.1209	-0.0208
LI	0.8809*	0.0348	-0.029	-0.074
DI	0.8732	0.0458	0.0631	-0.0349
NHI	0.8394	0.0224	-0.029	-0.0903
NEI	0.728	0.086	0.169	-0.0298
LPEI	0.5614	0.0212	-0.0731	-0.1415
NRI	0.3231	0.0485	0.0744	0.1728

* Valor más altos en cada componente son los características que más discriminan entre las plantas. CP: Componente principal; NEP: Número de entrenudos del porta injerto; LEPP: Longitud promedio de entrenudo del porta injerto; ACO2P: Asimilación de CO2 del porta injerto; CEP: Conductancia estomática del porta injerto; DEP: Densidad estomática del porta injerto; Densidad de células epidérmicas del porta injerto; IEP: Índice estomático del porta injerto; DVP: Densidad de vasos del porta injerto; AVP: Área de vaso del porta injerto; DTCP: Diámetro de tallo del porta injerto; PCM: Proporción de corteza-madera del porta injerto; LI: Longitud del injerto; DI: Diámetro del injerto; NHI: Número de hojas del injerto; NEI: Número de entrenudos del injerto; LPEI: Longitud de entrenudo del injerto; NRI: Número de ramas del injerto.

Los resultados obtenidos indican que en cuatro componente principales se recoge el 58.02 % de la variación, donde el primer componente está fuertemente asociado con las variables longitud de injerto (LI), diámetro de injerto (DI), número

de hojas del injerto (NHI) y número de entrenudos; el segundo componente principal asociado a densidad de vasos del porta injerto (DVP), área de vaso del porta injerto (AVP) y proporción corteza-madera del porta injerto (PCMP); el tercer componente principal asociado a asimilación de CO₂ del porta injerto (ACO₂P) y conductancia estomática del porta injerto (CEP); y el cuarto componente principal asociado a densidad estomática del porta injerto (DEP) y densidad de células epidérmicas del porta injerto (DCEP); variables con las que puede explicar la variación existente respecto al comportamiento de crecimiento de los injertos (Cuadro 3).

Mediante el análisis de correlación se identificaron las variables altamente relacionadas (Cuadro 4). Con base en el análisis de componente principales y el de correlación, se eliminaron cuatro variables ACO₂P, DCEP, DI y NHI debido a que estas pueden explicarse en función de otras variables.

Cuadro 4. Correlaciones entre las variables del injerto y el porta injerto

Variables	Correlación
Conductancia estomática del porta injerto- asimilación de CO ₂ del porta injerto	r=0.76**
Densidad estomática del porta injerto- densidad de células epidérmicas del porta injerto	r=0.88**
Longitud del injerto- diámetro del injerto	r=0.71**
Longitud del injerto- número de hojas del injerto	r=0.67**
Longitud del injerto- longitud promedio de entrenudo del injerto	r=0.73**
Diámetro del injerto- número de hojas del injerto	r=0.73**
Diámetro del injerto- número de entrenudos del injerto	r=0.75**

Análisis discriminante canónico de injertos sobre portainjertos con efecto potencial enanizante

Los resultados muestran que en dos funciones canónicas (FC) se explicó la variabilidad que describe el comportamiento de crecimiento de 'Hass' como

injerto sobre porta injertos de aguacate evaluados, por lo que se consideró a estas funciones para determinar las variables de mayor valor descriptivo (Cuadro 5). Al incluir las características del portainjerto junto con las del injerto se esperaba encontrar alguna relación entre ellas, es decir, alguna característica del injerto que pronosticara el efecto sobre el crecimiento, para este caso un crecimiento de poco vigor. Es posible que no se haya logrado encontrar alguna relación debido a que el tiempo de crecimiento del injerto fue durante poco tiempo y como tales injertos que han sido identificados con longitud corta pueden no corresponder a un crecimiento compacto, ya que en algunos casos se necesitan periodos de evaluación más largos. En manzano ‘Royal Gala’ como injerto sobre portainjertos e inter injertos MM106 (no enano) y M9 (enano) se demostró que estos tuvieron efecto sobre el vigor durante el segundo año de crecimiento (Selezniova *et al.*, 2008). Así, con el análisis discriminante las variables que muestran estar relacionadas con el crecimiento del injerto, se orientaron a las intrínsecas del injerto.

Cuadro 5. Autovalores del análisis discriminante canónico del comportamiento de crecimiento de ‘Hass’ sobre 15 genotipos de aguacate con tendencia a inducir enanismo.

Función Canónica	Autovalor	Varianza (%)	Acumulado (%)	Correlación canónica
1	0.935 ^a	99.3	99.3	0.695
2	0.006 ^a	0.7	100.0	0.079

La primera función canónica acumulo el 99.3 % de la variación total (Cuadro 5), donde la estructura canónica para esta función muestra a las variables: longitud de entrenudo del injerto como aquella que más difiere entre los injertos (Cuadro 6). La segunda función canónica muestra la variación restante (Cuadro 5) y mostro estar fuertemente asociada con el número de entrenudos del injerto (Cuadro 6).

Cuadro 6. Matriz de estructura factorial del análisis discriminante canónico del comportamiento de crecimiento de ‘Hass’ sobre 15 genotipos de aguacate con tendencia a inducir enanismo.

Variable	Función 1	Función 2
Puntuación Z(LEI)	,746*	-,665
Puntuación Z(LEP) ^b	-,142*	-,093
Puntuación Z(NRI) ^b	,122*	-,117
Puntuación Z(DEP) ^b	-,114*	,041
Puntuación Z(IEP) ^b	,113*	,102
Puntuación Z(PCM) ^b	,093*	-,058
Puntuación Z(NEI)	,479	,878*
Puntuación Z(CEP) ^b	,064	,111*
Puntuación Z(DVP) ^b	,070	,099*
Puntuación Z(NEP) ^b	,014	,087*
Puntuación Z(AVP) ^b	-,035	-,057*

*La mayor correlación absoluta entre cada variable y cualquier función discriminante. ^b Esta variable no se utilizó en el análisis. LEI: Longitud de entrenudo del injerto, LEP: Longitud de entrenudo del portainjerto, NRI: Número de ramas del injerto, DEP: Densidad estomática del portainjerto, IEP: Índice estomático del portainjerto, PCM: Proporción corteza-madera del portainjerto, NEI: Número de entrenudos del injerto, CEP: Conductancia estomática del portainjerto, DVP: Densidad de elementos de vaso de xilema del portainjerto, NEP: Número de entrenudos del portainjerto, AVP: Área de elementos de vaso del xilema.

La primera función canónica total aleatorizada y estandarizada describe sobre todo la probabilidad de que la variable longitud de entrenudo del injerto sea el carácter más discriminante en la descripción del crecimiento del injerto causada por los portainjertos con tendencia a inducir enanismo (Cuadro 7). Los portainjertos afectaron a los entrenudos del injerto y esta característica podría ser usada como un indicador de diferencias en vigor en una gran cantidad de patrones al ser injertados. En durazno evaluando dos cultivares sobre seis portainjertos con diferente grado de vigor se mostró que la longitud total del crecimiento por árbol fue marcadamente influenciada por los portainjertos, indicando que la variación en longitud de brote fue mayormente atribuible a la longitud de entrenudo (Weibel, 2004). Esta reducción del número de nudos es la diferencia entre el efecto enanizante de algunos portainjertos o de variedades enanas (Fisher, 1970; Soumelidou *et al.*, 1994). La reducción del tamaño de este

tipo de árboles compactos es el resultado del acortamiento de sus entrenudos, más que la reducción del número de entrenudos. Estos tipos de entrenudos cortos se ha asociado con deficiencias en los niveles de giberelinas o su transporte (Spielmeyer *et al.*, 2002). En manzano se ha encontrado que ‘M9’ (enanizante) presentan reducido transporte y acumulan giberelinas en sus tejidos, los cuales no son transportados al injerto, al compararlo con ‘MM115’ (vigoroso), lo cual es otra posible explicación satisfactoria para su efecto enanizante (Richards *et al.*, 1986).

Cuadro 7. Coeficientes de función discriminante canónicos estandarizados del comportamiento de crecimiento de ‘Hass’ sobre 15 genotipos de aguacate con tendencia a inducir enanismo.

Variable	Función	
	1	2
Número de entrenudos del injerto	0.683	0.766
Longitud de entrenudo del injerto	0.902	-0.491

En la segunda función se involucra al número de entrenudos como variable discriminante (Cuadro 7). En cerezo dulce ‘Bing’ injertado sobre un portainjerto enano (Gisela 5) y uno semi-vigoroso (Gisela 6) al medir el crecimiento de brotes terminales indicaron que la elongación del brote terminal de árboles de ‘Bing’/Gisela 5 disminuyó comparado con brotes de árboles de ‘Bing’/Gisela 6. Y que las diferencias en crecimiento en altura del brote fue explicado por una diferencia en el número de metamerios (nudo y entrenudo) (Prassinis *et al.*, 2009).

La proyección del comportamiento de crecimiento de injerto ‘Hass’ sobre los portainjertos de aguacate en el plano factorial de las primeras funciones canónicas (Figura 2), se explican mediante los coeficientes canónicos totales aleatorizados (Cuadro 7), en donde se observó que los injertos de longitud larga, intermedia y corta muestran una dispersión alta, los grupos se mezclan por lo que

no hay una separación bien definida entre los grupos, aunque los injertos de longitud corta tienden a ubicarse hacia los valores más negativos de la función 1.

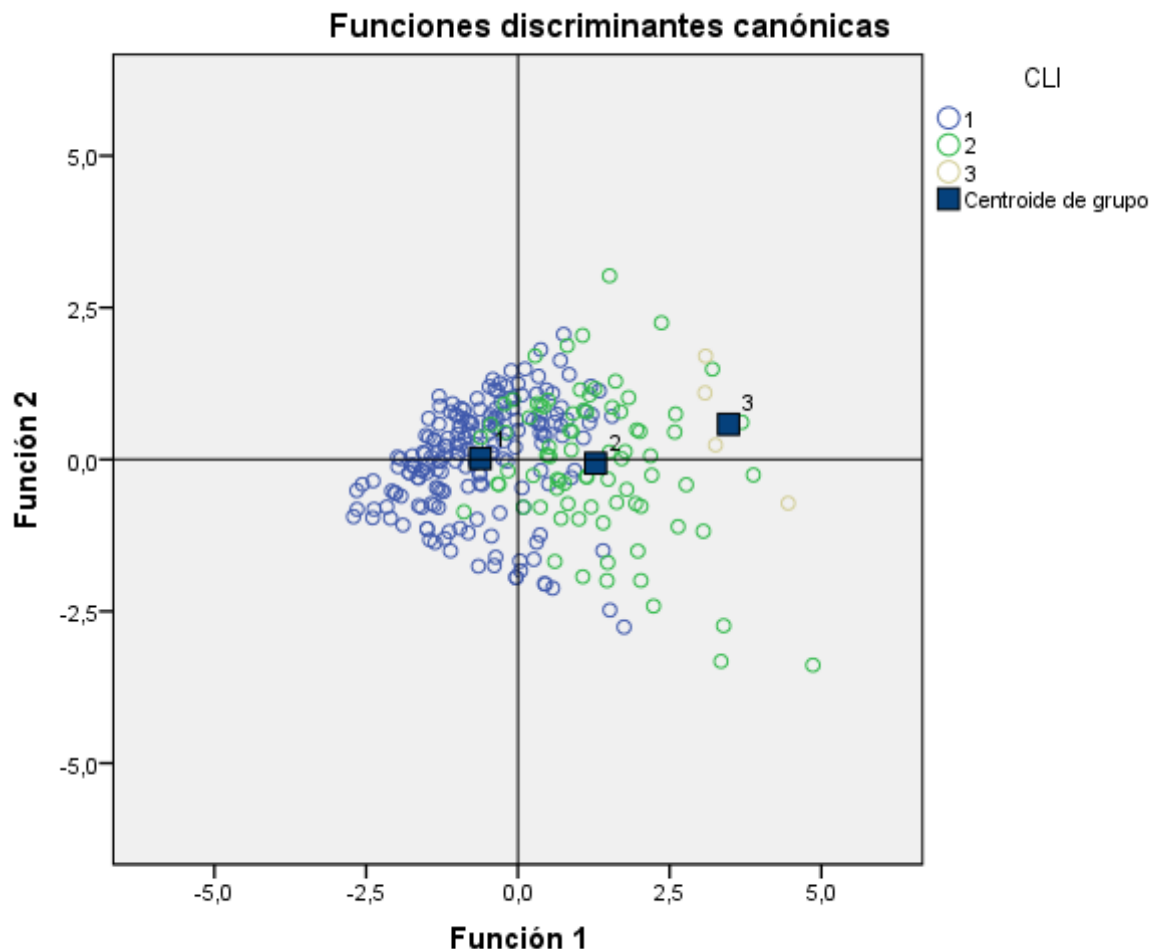


Figura 2. Dispersión de injerto 'Hass' sobre 15 genotipos derivados de semilla de aguacate con tendencia a inducir enanismo, en las dos primeras funciones canónicas.

Al calcular las distancias de Mahalanobis entre los grupos (Cuadro 8) en las dos primeras funciones canónicas (Figura 2), se encontró que los grupos formados por la longitud del injerto 'Hass' presentan diferencias significativas entre ellos por lo que están correctamente agrupados. Se indica que el comportamiento de crecimiento de los injertos es diferente en cada longitud.

Cuadro 8. Probabilidades y distancias de Mahalanobis para los tres grupos de acuerdo a longitud del injerto en 15 genotipos de aguacate.

	Longitud	Corto	Intermedio	Largo
Corto				
Intermedio		101.10**		
Largo		33.26**	9.88**	

*Significativo con $P \leq 0.05$, **altamente significativo $P \leq 0.01$.

Los resultados de clasificación muestran que 77.9 % de casos agrupados originales fueron clasificados correctamente (Cuadro 9), lo que indica que los tres grupos con base a la clasificación es aceptable. Esto nos indicó que la longitud del injerto puede considerarse como una característica para identificar el efecto del crecimiento del injerto 'Hass' en los porta injertos, y en particular en la selección de porta injertos con tendencia a inducir enanismo.

Cuadro 9. Prueba de resubstitución a priori de individuos en cada nivel de longitud del análisis discriminante canónico para el comportamiento de crecimiento de injerto 'Hass' sobre 15 genotipos derivados de semilla de aguacate con tendencia a inducir enanismo.

		Longitud	Corto	Intermedio	Largo	Total
Original	Recuento	Corto	152	36	0	188
		Intermedio	14	56	10	80
		Largo	0	0	4	4
	Porcentaje	Corto	80.9 %	19.1 %	0.0 %	100 %
		Intermedio	17.5 %	70.0 %	12.5 %	100 %
		Largo	0.0 %	0.0 %	100 %	100 %

77.9 % de casos agrupados originales clasificados correctamente.

Análisis de agrupamiento de injertos sobre portainjertos con efecto potencial enanizante

Basado en el pseudo-estadístico t^2 de Hotelling (Figura 3), el agrupamiento por el método de Ward se realizó el corte en cuatro grupos (Figura 4), el Grupo 1 integrado por 67 injertos, el Grupo 2 con 40, el Grupo 3 con 105 y el Grupo 4 formado por 60 injertos

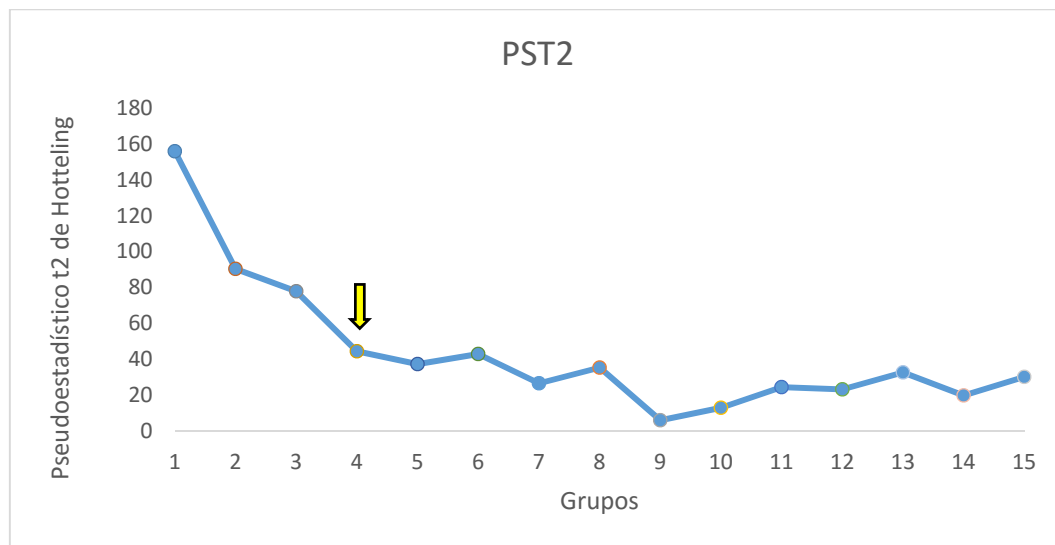


Figura 3. Pseudo-estadístico t^2 de Hotelling y el número recomendado de grupos, una prueba para la división del dendrograma.

El Grupo 1 estuvo formado por injertos 'Hass' que se caracterizaron por presentar la menor longitud de injerto, menor número de entrenudos y los entrenudos más cortos (Figura 5). Este grupo está integrado por los injertos con el menor crecimiento (Cuadro 10).

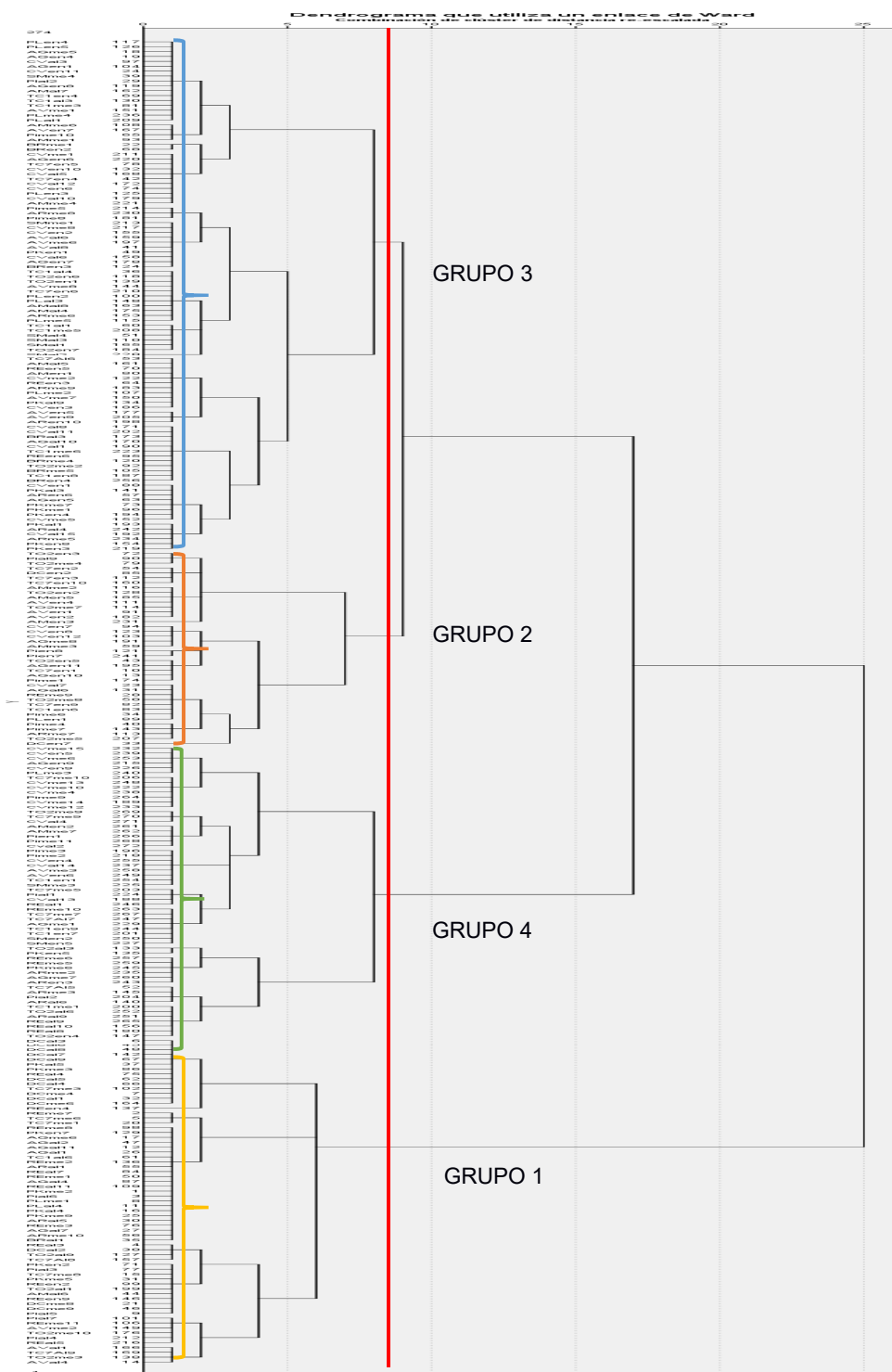


Figura 4. Dendrograma de similitud de acuerdo a la distancia Euclidiana y agrupación por el método de Ward en cuatro grupos formados por la longitud del injerto de 'Hass' sobre 15 portainjertos derivados de semilla. La línea roja representa el corte del dendrograma según el pseudo-estadístico t^2 de Hotelling.

El Grupo 2 presento longitud de entrenudo similar al Grupo 3 considerada también como entrenudos cortos y una longitud del injerto corta (Figura 5). Este grupo también muestra tener injertos de poco crecimiento (Cuadro 10).

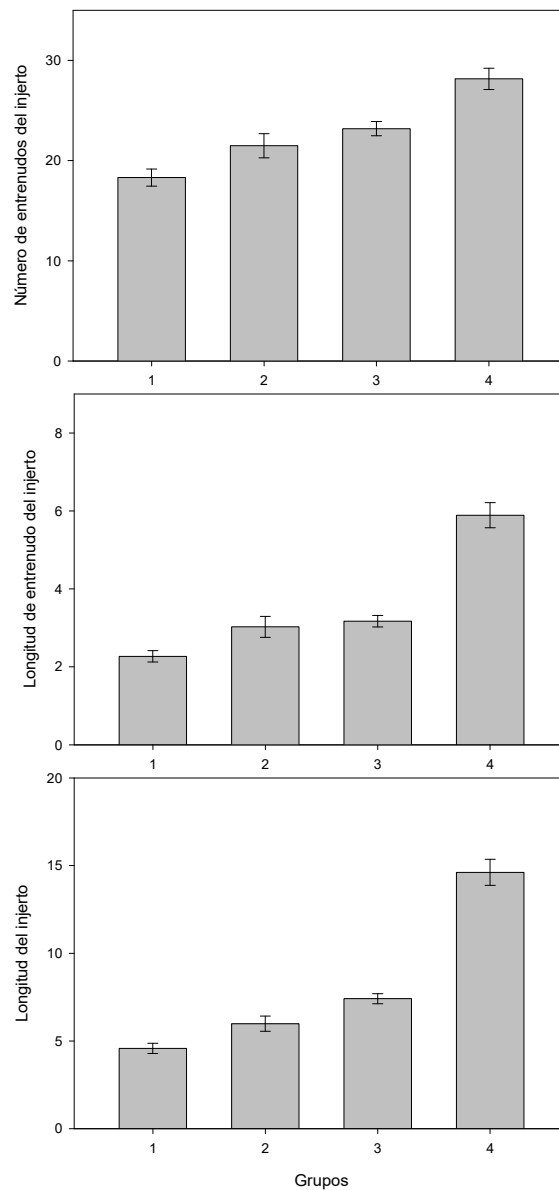


Figura 5. Variables clasificatorias del injerto ‘Hass’ sobre 15 porta injertos derivados de semilla de aguacate en los cuatro grupos generados conforme a análisis discriminante canónico y agrupamiento por la distancia Euclidiana y Ward. Medias $\pm$ error estándar.

Cuadro 10. Grupos formados de acuerdo al análisis de conglomerado con 272 individuos provenientes de 15 genotipos de aguacate

Grupo	Genotipo									
1	DGal3	TC7me8	AGal7	AMal6	ARme10	REme3	Pial7	REme2	TC7Al8	Pial4
	DCme4	PKal4	ARal5	DCal6	TC1al6	Pial3	REal5	REal11	DCal7	TC7Al9
	Pial6	PLal4	DCme8	BRal1	DCal8	DCal9	AGal4	TC7me3	REen4	DCme6
	PKme2	PLme1	AGme6	PKme5	DCme9	DCal5	REal7	TO2al9	REen9	TO2me10
	REal3	AGal11	PKme9	PKal5	REme1	PKen2	REme8	REme11	TO2me3	AVal1
	REme7	Pial5	TC7me1	DCal1	AGal2	DCal4	PKme3	PKen7	AVme2	TO2al1
	TC7me6	AVal4	AGal1	DCal2	ARal1	REal4	REen2			
2	AGen10	Pime6	TO2me8	TC7en9	Pial9	AVen4	AMme2	AGal6	AVen2	TO2me5
	CVal7	Pime4	AMme3	TC1en6	AVen1	TC7en3	Pien8	Pime7	AMen5	AMen3
	REme9	TO2en5	TO2en3	DCen2	CVen7	ARme7	CVen8	TC7en10	AGme8	Pien7
	TC7en1	DCen7	TC7en2	TO2me4	PLen1	CVen12	TO2me7	TO2en2	Pime1	AGen11
3	AGen4	ARen6	AMen1	PLme2	PLen5	ARme6	CVal5	ARme9	CVal11	AGen6
	AGme5	TC7Al6	TC7en5	BRme5	PLen3	CVme5	AVen7	Pime8	ARen10	PKen3
	AVal8	TC1en4	PKme1	AGen8	AVme8	AMal7	AVen5	PKal1	SMme1	PLme4
	BRme1	TC1al1	TC1me3	AMme6	TC1al3	PKen8	AGal10	TO2en7	AVen9	AMme4
	CVen11	AGen5	CVen1	SMal3	CVen10	CVen2	CVal8	CVen3	TC1me5	TC1me6
	PKen1	PKme7	PLen2	CVme2	AVme7	SMal1	CVal10	AVme6	CVme8	BRen4
	PLal2	REen3	TO2me2	PLme5	PKal9	CVal6	CVal12	TC1en8	PLal1	SMal2
	SMal4	CVen6	AGen1	BRen3	AVme1	AMal5	AMal4	CVal15	CVme1	ARme5
	SMme4	BRen2	REen6	TO2en6	PKal3	AVal6	BRal3	CVal1	TC7en6	ARme8
	TC1al4	Pime10	AMme1	PLen4	TO2en1	AMal8	AGen7	PKen4	Pime5	ARal4
	TC7en4	REen5	CVal3	BRme4	PLal3					
4	ARal6	CVme14	TC7me10	CVen9	CVal14	PKme6	ARal9	AVme3	Pime9	TC7me9
	ARme3	Pime3	AGen9	SMen5	CVme4	REal1	TO2al6	REme5	REal9	CVal4
	PKen5	CVal13	Pial2	SMme3	ARme2	TC1en9	SMen2	REme6	REme10	TO2me9
	TC7Al5	REal10	TC1en7	CVme10	CVme15	PLme3	CVme13	TC1en1	AMen2	TC7me7
	TO2al3	REal8	TC7me5	Pial1	CVme12	ARen3	AVen6	CVen4	AMme7	Pime11
	TO2en4	TC1me1	Pime2	AGme1	CVen5	TC7Al7	CVme6	AGme7	Pien1	Cval2

*Las abreviaciones están compuestas de tres partes, dos primeras letras corresponden al genotipo, siguientes dos letras al porte y al final el número indica número de planta. Genotipos: PK: 'Pinkerton', DC: 'Don cris', Ag: 'Aguilar', Cv: 'Colin V33', Re: 'Reed', Pl: '148 PLS', Sm: 'San Martin', Pi: 'Pionero', Am: 'Amatenango V4', Tc7: 'Tochimilco 7', Ar: 'Árbol 40', To2: 'Tovar 2', Al: 'Almoleya', Tc1: 'Tochimilco 1', Br: 'Barri'. Porte de planta; al: alto, me: intermedio y en: enano.

Para el Grupo 3 se caracterizó principalmente por presentar una longitud intermedia del injerto, presento valores similares en longitud de entrenudo similar al Grupo 2 (Figura 5). En términos generales se observó que en este grupo hubo poco crecimiento del injerto.

El Grupo 4 se caracterizó por presentar la mayor longitud de injerto, mayor número de entrenudos y mayor número longitud de entrenudos. Se muestra que este grupo está compuesto por los injertos de mayor longitud (Cuadro 10).

El efecto de los portainjertos sobre el crecimiento del injerto de acuerdo a los resultados se agrupa en injertos de longitud corta en los grupos 1 y 2, intermedia para el Grupo 3 y longitud larga para el Grupo 4. En términos generales se observó que la longitud de entrenudo es corta para los tres primeros grupos y larga para el grupo 4. La expresión del vigor puede estar influenciado por el efecto mismo del patrón o por la relación injerto/portainjerto. Tal es el caso del portainjerto enano para cítricos 'Flying Dragon' que induce efectos intrínsecos de enanismo sobre el vástago (Cheng y Roose, 1995). Porta injertos enanizantes, dan lugar a un árbol maduro que es más pequeño que cuando el vástago se cultiva en sus propias raíces o en un portainjerto estándar. En este contexto la reducción del vigor puede ser expresada como acortamiento de entrenudos o longitud media del brote. Generalmente, es resultado de un período de crecimiento más corto o una ausencia de flujos de crecimiento secundario (Thorp y Hallet, 1999).

Se observó que la longitud de entrenudo y número de entrenudos en conjunto determinan la longitud del injerto. Estas características podrían considerarse en la selección temprana de injertos con reducción del vigor provocado por los portainjertos. Los trabajos para determinar las bases genéticas del vigor en porta injertos de manzano se han centrado en características como: área de la sección transversal del tronco, evaluaciones visuales de hábitos de crecimiento y longitud de entrenudo (Seleznova *et al.*, 2003; Rusholme-Pilcher *et al.*, 2008).

Aunque para el caso de aguacate estas características explicarían mayormente al tipo de enanismo de crecimiento compacto, debido a que el otro tipo de enanismo el crecimiento es normal hasta cierta altura donde se detiene el crecimiento y las ramas crecen en expansión, es decir que las ramas tienden a crecer con una tendencia horizontal. Por lo que se necesitaría un periodo de evaluación mayor, como en plántulas de 'Colín V-33' con crecimiento de cuatro

años usadas como portainjertos e injertadas con cultivares enanos ('Rincoatl' y 'Colín V-33'), semi-enanos ('Colín-Mex' y 'Colín V-10T') y estándar ('131 PLC', '175 PLC' y 'Hass'), donde la tendencia enanizante del portainjerto no fue clara en los primeros 3 años después de la injertación, observándose diferencias a partir del cuarto año (Barrientos-Priego *et al.*, 1992).

Se cree que las hormonas vegetales endógenas tienen un papel importante en la regulación de las complejas relaciones entre el patrón y el vástago. En un estudio con porta injertos de durazno se ha demostrado que plantas sin injertar, la relación auxinas/citocininas está bien equilibrada. Sin embargo, en plantas injertadas el balance auxinas/citocininas es alterado, por lo tanto las propiedades vigorizantes de los portainjertos inducen una mayor tasa de crecimiento en el injerto, posiblemente por incremento del abasto de citocininas hacia el brote y disminución de AIA (Sorce *et al.*, 2002).

Se ha propuesto un mecanismo de señalización endógena mediante el cual patrones enanizantes reducen el transporte basipetalo de ácido indol-3-acético (AIA) a la raíz, lo que disminuye la cantidad producida de citocininas en raíz del portainjerto y de giberelinas transportadas al vástago. En el vástago, un suministro limitado de citocinina puede modificar la arquitectura por disminución de ramificación, mientras que una cantidad limitada de giberelinas puede reducir principalmente la duración de extensión de crecimiento del brote (Hooijdonk *et al.*, 2010).

CONCLUSIONES

Se presentó una gran variación en el crecimiento del injerto entre y dentro de familias, por lo que, no se encontró una relación directa entre características del portainjerto y las del injerto con relación al crecimiento del injerto.

Los injertos de cv. Hass sobre portainjertos de 15 familias se agruparon en cuatro grupos tomando como discriminantes máximos la longitud de entrenudo, número de entrenudos y longitud de injerto.

La longitud de entrenudo y número de entrenudos en conjunto determinan la longitud del injerto, características que podrían considerarse en la selección temprana de injertos con reducción del vigor para el enanismo de crecimiento compacto.

LITERATURA CITADA

- Barrientos P, A.; A., López J. A. & Sánchez C., S. (1987). Effect of cv. Colín V-33 as interstock on avocado (*Persea americana* Mill.) growth, cv. Fuerte. *South African Avocado Growers Association Yearbook*, 10, 62-63.
- Barrientos-Pérez, F. & Barrientos-Priego, A. F. (1996). Correlaciones entre algunas características de plántulas de aguacate de 'Colin V-33' y sus efectos enanizantes como portainjertos. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 95-98.
- Barrientos-Priego, A. F., Sánchez-Colín, S., Aguilar-Melchor, J. J. & López-Jiménez, A. (1992). Selection of Avocado Dwarfing Rootstocks. *Proc. of Second World Avocado Congress*, pp. 515-520.
- Barrientos-Priego, A., López-Jiménez, A. & Sánchez-Colín, S. (1987). Effect of cv. Colin V-33 as interstock on avocado (*Persea americana* Mill) growth, cv Fuerte. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 10, 62-64
- Cheng, F. S. & Roose, M. L. (1995). Origin and inheritance of dwarfing by the citrus rootstock *Poncirus trifoliata* 'Flying Dragon'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 120(2), 286-291.
- Fisher, D. V. 1970. Spur strains of 'McIntosh' discovered in British Columbia, Canada. *Fruit Varieties and Horticultural Digest*, 24, 27-32.
- Hooijdonk, V., Woolley, D. J., Warrington, I. J. & Tutsin, D. S. (2010). Initial alterations of scion architecture by dwarfing apple rootstocks may involves

shoot-root-shoot signaling by auxin, gibberellin and cytokinin. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 85 (1), 59-65.

Johnson, D. E. (1998). Métodos multivariados aplicados al análisis de datos. Traducido por H. Pérez Castellanos. International Thomson Editores, D.F., México. 566 p.

Prassinis, C., Ko, J.H., Lang, G., Iezzoni, A. F. & Han, K. H. (2009). Rootstock-induced dwarfing in cherries is caused by differential cessation of terminal meristem growth and is triggered by rootstock-specific gene regulation. *Tree Physiology*, 29, 927-936.

Richards, D., Thompson, W. K., & Pharis, R. P. (1986). The influence of dwarfing interstocks on the distribution and metabolism of xylem-applied [³H] gibberellin A4 in apple. *Plant Physiology*, 82(4), 1090-1095.

Roe, D. J. & Morudu, T. M. (2000). Hass avocado yields as affected by dwarfing rootstocks and flower pruning. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 23, 30-32.

Rusholme-Pilcher, R. L., Celton, J. M. & Gardiner, S.E. (2008). Genetic Markers Linked to the Dwarfing Trait of Apple Rootstock 'Malling 9'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 133 (1), 100-106.

Sánchez-Colín, S. & Barrientos-Priego, A. (1987). Avocado production and breeding in México. *South African Avocado Growers' Association Yearbook*, 10, 24-26.

Seleznova, A. N., Thorp, T. G., White, M., Tustine, S. & Costes, E. (2003). Application of Architectural Analysis and AMAPmod Methodology to Study Dwarfing Phenomenon: the Branch Structure of 'Royal Gala' Apple Grafted on Dwarfing and Non-dwarfing Rootstock/Interstock Combinations. *Annals of Botany*, 91, 665-672.

Seleznova, A. N., Tustin, D. S. & Thor, G. (2008) Apple dwarfing rootstock and interstock affect the type of growth units produced during the annual growth

cycle: Precocious transition to flowering affects the composition and vigour of annual shoots. *Annals of Botany*, 101, 679-687.

Soumelidou, K., Morris, D.A., Battey, N.H., Barnett, J.R. & John, P. (1994). Auxin transport capacity in relation to the dwarfing effect of apple rootstocks. *Journal of Horticultural Science*, 69, 719-725.

Sorce, C., Massai, R., Picciarelli, P. & Lorenzi, R. (2002). Hormonal relationships in xylem sap of grafted and ungrafted *Prunus* rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 93, 333-342.

Thorp, G. & Hallet, I. (1999). Searching for "Paradise" in the avocado germplasm. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 5, 29-34.

Warner, J. (1991). Rootstock affects primary scaffold branch crotch angle of apple trees. *HortScience*, 26, 1266-1267.

Webster, A. D. (2004). Vigour Mechanism in Dwarfing Rootstocks for Temperate Fruit Trees. *Acta Hort.* 658, 29-41.

Weibel, A., Johnson, R. S. & Dejong, T. M. (2003). Comparative vegetative growth responses of two peach cultivars grown on size-controlling versus standard rootstocks. *Journal of American Society for Horticultural Science*, 128, 463-471.

LITERATURA CITADA GENERAL

- Atkinson, C. J. & Else, M. A. (2003). Enhancing Harvest Index in Temperate Fruit Tree Crops Through The Use of Dwarfing Rootstocks. In: Proceedings of the International Workshop on Cocoa Breeding for Improved Production System, pp. 118-131.
- Barrientos-Pérez, F. & Sánchez-Colín, S. (1983). Height variability obtained from a new dwarf avocado tree population. *Acta Horticultrae*, 140, 163-168.
- Bergh, B. O. & Whitsell, R. H. (1962). A possible dwarfing rootstock for avocados. *California Avocado Society Yearbook*, 46, 55-62.
- Bruckner, C. H. & Dejong, T. M. (2014). Proposed pre-selection method for identification of dwarfing peach rootstocks based on rapid shoot xylem vessel analysis. *Scientia Horticulturae*, 165, 404-409.
- Charlot, G., Edin, M., Florchlay, F., Soing, P. & Boland, C. (2005). Tabel Edabriz: a dwarf rootstock for intensive cherry orchards. *Acta Hort.*, 667, 217-221.
- Jänes, H. & Pae, A. (2003). First results of a dwarfing plum rootstocks trial. *Agron. Res.* 1, 37-44.
- Lahav, E., Tomer, E., Gazit, S. & Lavi, U. (1995). Performance of avocado (*Persea americana* Mill) and mango seedlings compared with their grafted trees. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 120(2), 265-269.
- Moghadam, E. G., & Khalighi, A. (2007). Relationship between vigor of Iranin *Prunus mahaleb* L. selected dwarf rootstock and some morphological characters. *Sci. Hort.* 111, 209-212.
- Roe, D. J, Conradie, W. & Köhne, J. S. (1995). Progress with rootstock research at Merensky Technological Services. *South African Gowers' Association Yearbook*. 18, 10-11.

- Roe, D. J., Conradie, W. & Köhne, S. J. (1995). Progress with rootstock research at Merensky technological series. *South African Growers' Association Yearbook*, 18, 10-11.
- Rusholme-Pilcher, R. L., Celton, J. M. & Gardnier, S.E. (2008). Genetic Markers Linked to the Dwarfing Trait of Apple Rootstock 'Malling 9'. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 133 (1), 100-106.
- Sorce, C., Massai, R., Picciarelli, P. & Lorenzi, R. (2002). Hormonal relationships in xylem sap of grafted and ungrafted *Prunus* rootstocks. *Scientia Horticulturae*, 93, 333-342.
- Wang, C., Tian, Y., Buck, E. J., Gardiner, S. E., Dai, H. & Jia, Y. (2011). Genetic Mapping of PcDw Determining Pear Dwarf Trait. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.*, 136(1), 48-53.
- Zhu, L. H., Li, X. Y. & Welander, M. (2008), Overexpression of the *Arabidopsis gai* gene in apple significantly reduces plant size. *Plant Cell Rep.*, 27, 289-296.

ANEXOS

Anexo 1. Clasificación visual de plantas de acuerdo al porte por familia



‘Pionero’

‘Colín V-33’



‘Aguilar’

‘San Martín’



‘Don Cris’

Anexo 2. Proceso de obtención de fotos para determinación de densidad de estomas, densidad de células estomáticas e índice estomático.



Preparación de silicón fluido para impresiones (Exactodem)



Aplicación de silicon a hojas seleccionadas



Obtención de Impresión de hoja (negativo)



Aplicación de barniz a impresiones de hoja para obtener positivo



Montaje del positivo porta objetos



Observación de muestras en microscopio óptico

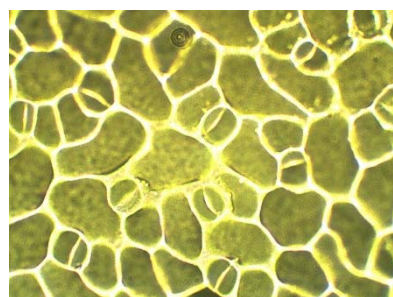


Obtención de fotos con cámara adaptada a microscopio

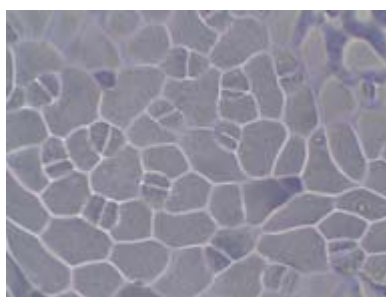


Fotos de estomas de una sección de hoja

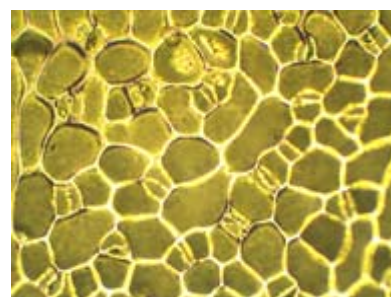
Anexo 3. Imágenes de estomas de las familias estudiadas



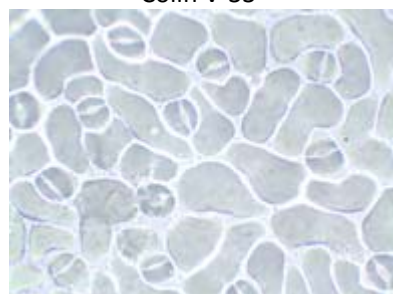
'Colin V'33'



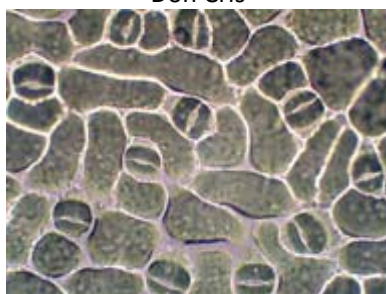
'Don Cris'



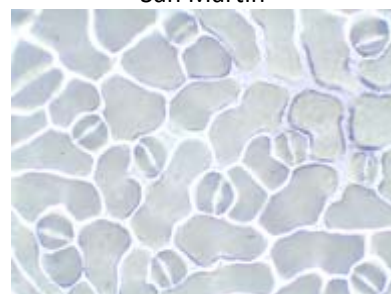
'San Martín'



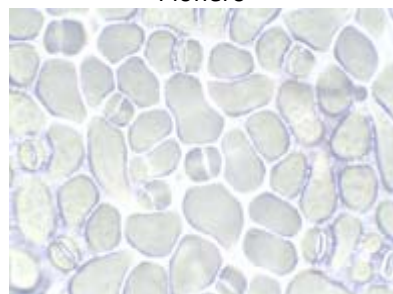
'Pionero'



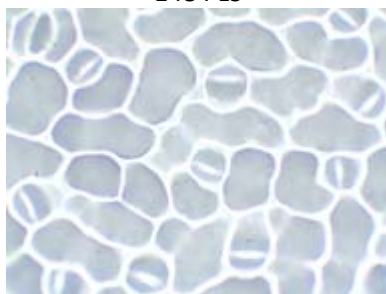
'148 PLS'



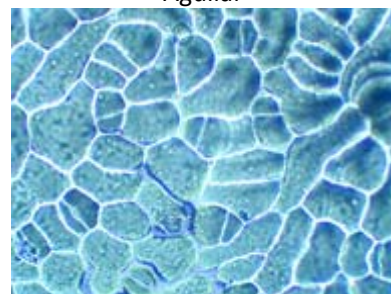
'Aguilar'



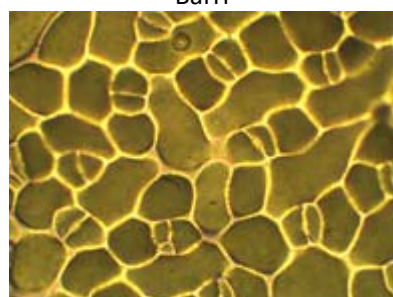
'Barri'



'Pinkerton'



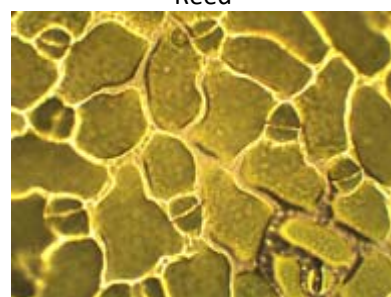
'Reed'



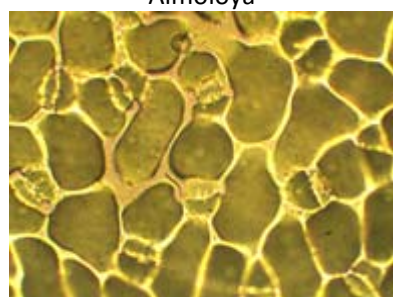
'Almoleya'



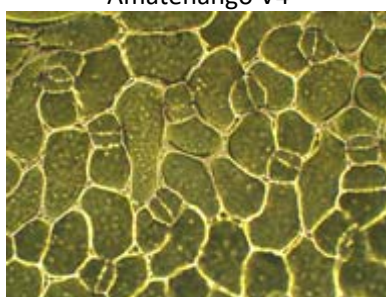
'Amatenango V4'



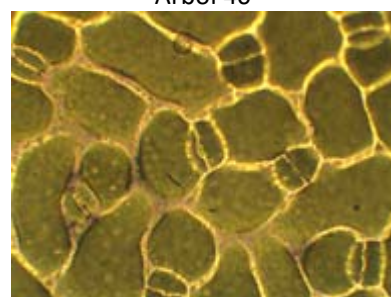
'Árbol 40'



'Tochimilco 1'

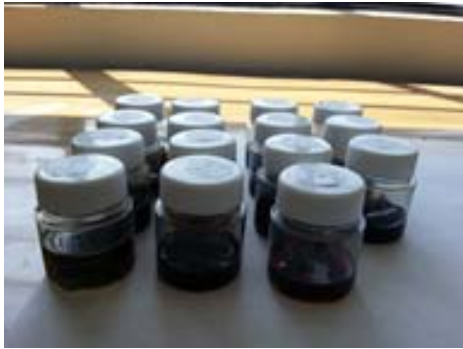


'Tochimilco 7'



'Tovar 2'

Anexo 4. Proceso de obtención de preparaciones de cortes transversales de tallo de las familias estudiadas



Secciones de tallo fijados en solución GAA



Cortado secciones de tallo con microtomo



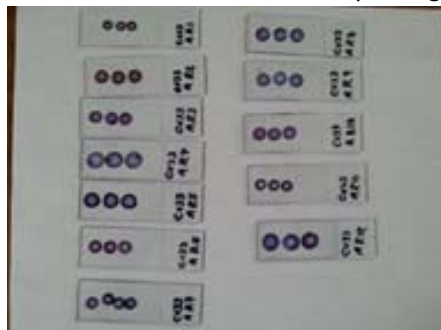
Cortes transversales de tallo



Línea de tinción con safranina y 'fast green'



Montaje de cortes transversales teñidos en porta y cubre objetos



Preparaciones fijas de cortes transversales de tallo terminadas

Anexo 5. Cortes transversales de tallo de nueve familias de aguacate



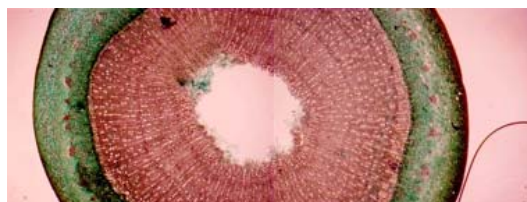
'Colin V-33'



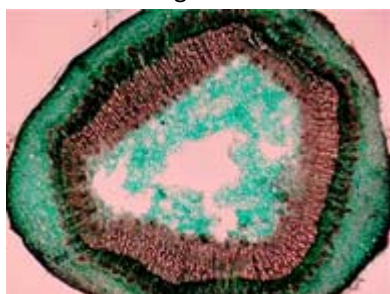
'Barri'



'Aguilar'



'148 PLS'



'Don Cris'



'Pinkerton'



'Pionero'



'Reed'



'San Martín'

Anexo 6. Cortes transversales de tallo de seis familias de aguacate



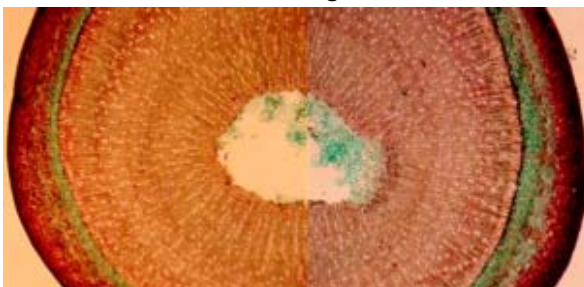
'Almolya'



'Amatenango V4'



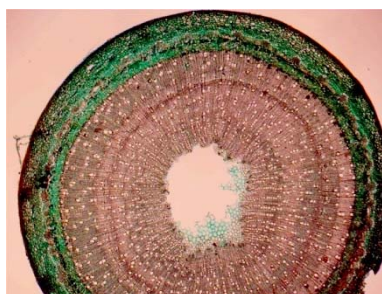
'Árbol 40'



'Tochimilco 1'



'Tochimilco 7'



'Tovar 2'