



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

**INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN
CIENCIAS AGRÍCOLAS**

CAMPUS MONTECILLO

**PROGRAMA DE POSTGRADO DE RECURSOS
GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD**

FISIOLOGÍA VEGETAL

**CARACTERIZACIÓN DE HOJA Y TALLO DE
AGUACATES HASS Y FUERTE INJERTADOS EN
PORTAINJERTOS TOLERANTES A *Phytophthora*
cinnamomi R.**

LUIS DAVID PREZA JUÁREZ

T E S I S
**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2019

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALIAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACION

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe LUIS DAVID PREZA JUÁREZ, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser participe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor LUCERO DEL MAR RUIZ POSADAS, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis CARACTERIZACIÓN DE HOJA Y TALLO DE AGUACATE HASS Y FUERTE INJERTADOS EN PORTAINJERTOS TOLERANTES A Phytophthora cinnamomi R y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México, a 06 de Febrero de 2019



Firma del
Alumno (a)



LUCERO DEL MAR RUIZ POSADAS

Vo. Bo. del Consejero o Director de Tesis

La presente tesis titulada: **Caracterización de hoja y tallo de aguacates Hass y Fuerte injertados en portainjertos tolerantes a *Phytophthora cinnamomi* R.**

Fue realizada por el alumno: **Luis David Preza Juárez** bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

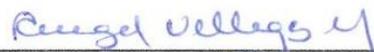
MAESTRO EN CIENCIAS

**POSTGRADO DE RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD FISIOLOGÍA
VEGETAL**

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERA  _____

DRA. LUCERO DEL MAR RUIZ POSADAS

ASESOR  _____

DR. ÁNGEL VILLEGAS MONTER

ASESOR  _____

DR. NICACIO CRUZ HUERTA

ASESOR  _____

DR. AGUSTIN DAMIAN NAVA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Febrero 2019

Caracterización de hoja y tallo de aguacates Hass y Fuerte injertados en portainjertos tolerantes a *Phytophthora cinnamomi* R.

Luis David Preza Juárez M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

RESUMEN

Se evaluaron tres portainjertos clonales tolerantes a *Phytophthora cinnamomi* R, injertados con los cvs Hass y Fuerte obtenidos de la fundación Salvador Sánchez Colín en Coatepec Harinas.. El material vegetal se propagó vegetativamente mediante la técnica de Frolich y Platt modificada. El experimento se estableció en enero 2017 en el Vivero Cazonas, Cazonas, Veracruz, en malla sombra. Se evaluaron tres portainjertos y dos cultivares con diseño experimental factorial 3x2 y seis repeticiones. A los siete meses, se evaluaron variables agronómicas, fisiológicas y morfo-anatómicas. El análisis de varianza mostró diferencias altamente significativas para número de hojas y diferencias significativas en número de brotes y área foliar. Para las variables fisiológicas, no hubo diferencias significativas en todas las variables; mientras que, para las variables morfo-anatómicas todas resultaron altamente significativas. En cortes de hoja el cv Hass injertado con Martín Grande presentó 254.20 estomas/mm², mientras que injertado con Thomas fue 367 estomas/mm², e injertado con Duke 7 obtuvo 329.6 estomas/mm², el cv Fuerte injertado con Martín Grande fue de 263.40 estomas/mm², con Thomas de 275.8 estomas/mm² e injertado con Duke 7 de 313 estomas/mm² y el tipo de estoma que presentaron fue arriñonado.

Palabras clave: *Phytophthora cinnamomi*, crecimiento, fisiológicas, injertos, morfo-anatómicas, portainjertos.

Caracterización de hoja y tallo de aguacates Hass y Fuerte injertados en portainjertos tolerantes a *Phytophthora cinnamomi* R.

Luis David Preza Juárez M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2019

ABSTRACT

Three clonal rootstocks tolerant to *Phytophthora cinnamomi* R, grafted with the Hass and Fuerte cvs., were evaluated. These were obtained from the Salvador Sánchez Colín foundation in Coatepec Harinas, México. The vegetal material was propagated vegetatively by means of the technique of Frolich and Platt modified. The experiment was established in January 2017 at Vivero Cazonas, Cazonas, Veracruz, in shade mesh. Three rootstocks and two cultivars with experimental 3x2 factorial design and six replications were evaluated. At seven months, agronomic, physiological and morpho-anatomical variables were evaluated. The analysis of variance showed highly significant differences for number of leaves and significant differences in number of shoots and leaf area. For the physiological variables, there were no significant differences in all the variables; while, for the morpho-anatomical variables, all were highly significant. In leaf cutting the Hass cv grafted with Martín Grande presented 254.20 stomata / mm², while grafted with Thomas 367 stomata / mm², and grafted with Duke 7 obtained 329.6 stomata / mm², the strong cv grafted with Martín Grande was 263.40 stomata / mm², with Thomas of 275.8 stomata / mm² and grafted with Duke 7 of 313 stomata / mm² and the type of stoma they presented was kidney-shaped.

Keywords: *Phytophthora cinnamomi*, growth, physiological, grafts, morpho-anatomical, rootstocks.

DEDICATORIAS

A DIOS Y VIRGEN MARÍA

Por darme fuerzas para poder lograr mí objetivo y en la etapa más difícil de mi vida (ausencia de mi padre), darme la luz para despertar en mi mayor interés en culminar mi maestría y nunca darme por vencido a pesar de estar desecho sentimentalmente.

A MI HERMOSA MADRE

María Del Carmen Juárez Gómez: Por tu gran amor como madre, y los sabios consejos que me has dado, pero sobre todo por estar conmigo en los momentos más difíciles de mi vida, eres un claro ejemplo de persona que cuando se quiere algo se cumple, eres mi inspiración y mi motor a seguir luchando día a día por mis sueños, TE AMO mamá, sé que no soy el hijo perfecto pero siempre trato de que te sientas orgullosa de mi, siempre estaré contigo para apoyarte, Mamá.

A MI GRAN PADRE

Luis Roberto Preza Toledo (+): Que aún no asimilo tu pérdida y porque te marchaste tan pronto de esta vida, con tu recuerdo viviré lo que me resta por vivir, primero Dios y gracias a mi fe nos volveremos a reunir, sabes que eras el que me impulsaba en esta vida a luchar por las cosas, te extraño como no tienes idea Jefe, y sé que en donde estés aun te sientes orgulloso de haber tenido un hijo como yo y este logro es de ambos, TE AMO Papá y nunca te olvidare.

A MI HERMANA

Ivonne Yadira Santillán Juárez: Eres mi hermana consentida y sabes que te amo como no tienes idea, siempre voy a querer lo mejor para ti, ya que siempre sabes mostrar y dar amor eres una excelente persona, gracias por estar conmigo en mis peores momentos.

A MI ABUELITA (MAMÁ)

María Gómez Gutiérrez (+): Por el amor que me tuviste desde niño y los valores inculcados para ser la persona que ahora soy, con orgullo puedo decirte que te sigo queriendo ya que tus recuerdos aún viven en mi mamá María.

A MI HERMOSA (ROSARIO)

María del Rosario Gómez Pedroza: No se cómo sucedió que decidimos unir nuestras vidas, solo sé que eres la persona que AMO, y nunca te dejare de amar, siempre tratare de hacerte feliz mi amor. Seremos grandes padres eso te lo aseguro. Te amo de verdad y es difícil que te deje de amar, quiero hacerme viejito contigo mi amor.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (**CONACyT**) por el apoyo económico proporcionado para obtener el grado de Maestro en Ciencias.

Al Colegio de Postgraduados Campus Montecillo por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios de maestría.

A la fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C, por todo el material vegetal y por el apoyo brindado

A mis padres (**Luis Roberto Preza Toledo y María del Carmen Juárez Gómez**) por todo el apoyo que me brindaron en mi estancia de maestría. Jefe te adelantaste pero donde quiera que estés te mando un cálido abrazo y te agradezco por tus consejos, Madre Te amo mucho y gracias este logro es de los dos.

A la Dra. Lucero del Mar Ruiz Posadas

Por el hecho de aceptar ser mi consejera y brindarme todas las facilidades para realizar mi trabajo así como su gran disposición, y la gran persona que es como humana por apoyarme en los momentos más difíciles de mi vida.

Al Dr. Ángel Villegas Monter

Más que nada por el tiempo brindado en la realización del presente trabajo y con su sabiduría permitirme compartir su gran experiencia como investigador, por su gran disposición, contribución, realización, conducción, orientación durante el trabajo de campo, muchas gracias.

Al Dr. Nicacio Cruz Huerta

Por su grandiosa ayuda para las variables fisiológicas de mi presente trabajo, así como su dedicación en este para que resultara de la mejor manera posible por sus sabios consejos durante el análisis de resultados y la oportunidad de trabajar en conjunto con él.

A la Dra. María de la Cruz Espindola Barquera

Por su gran disposición en facilitarme el material vegetal que necesitaba y su mejor apoyo para realizar este trabajo de investigación.

A la M.C. Sandra Castro Garibay

Por su grandiosa ayudada brindada en las dudas que se me iban presentando a lo largo de mí trabajo. Muchas gracias.

A los trabajadores del Vivero Cazonos

Muchas gracias por su ayuda brindada en el trabajo de campo, especialmente a Marisol, Javier, Jaime y Wendy que de una y otra manera ayudaran para que este resultara de la mejor manera posible.

A todos y cada uno de ustedes muchísimas gracias.

CONTENIDO

	página
RESUMEN	iv
ABSTRACT	v
LISTA DE CUADROS	xii
LISTA DE FIGURAS	xiii
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	4
2.1. Objetivo general	4
2.1.1. Objetivos específicos.....	4
2.2. Hipótesis general	4
2.2.1. Hipótesis específicas	5
3. REVISIÓN DE LITERATURA.....	6
3.1. Propagación vegetativa.....	6
3.2. Importancia del uso de portainjertos	8
3.3. Portainjertos tolerantes a <i>Phytophthora cinnamomi</i> Rands.....	9
3.4. Proceso de enraizamiento.....	11
3.5. Efecto del portainjerto sobre el cultivar	13
3.6. Efecto de portainjerto en la productividad	15
3.7. Martín Grande	16
3.8. Thomas	16
3.9. Duke 7.....	16
3.10. Cultivares	17
3.11. Hass.....	17
3.12. Fuerte.....	18
4. MATERIALES Y MÉTODOS	20
4.1. Localización geográfica del experimento	20
4.2. Colecta de material vegetal.....	20
4.3. Obtención de plantas y manejo agronómico	20
4.4. Proceso de muestras en el microscopio electrónico de barrido	21

4.5.	Tratamientos y diseño experimental	22
4.6.	Variables de estudio.....	22
4.6.1.	Variables agronómicas	22
4.6.1.1.	Altura de planta	22
4.6.1.2.	Número de hojas.....	22
4.6.1.3.	Diámetro de tallo	22
4.6.1.4.	Número de brotes	23
4.6.1.5.	Área foliar.....	23
4.6.2.	Variables fisiológicas	23
4.6.2.1.	Lecturas SPAD.....	23
4.6.2.2.	Intercambio de gases	23
4.6.3.	Variables morfo anatómicas	23
4.6.3.1.	Frecuencia y tipos de tricomas.....	23
4.6.3.2.	Frecuencia y tamaño de estomas	24
4.6.3.3.	Cutícula.....	24
4.6.3.4.	Sistema vascular	24
4.6.3.5.	Cristales	24
4.7.	Análisis de resultados y modelo estadístico	24
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
5.1	Variables agronómicas.....	25
5.2	Variables fisiológicas.....	32
5.3	Variables morfo-anatómicas.....	38
6	CONCLUSIONES	57
7	LITERATURA CITADA.....	58

LISTA DE CUADROS

	Páginas
Cuadro 1. Suma de cuadrados y significancia de variables agronómicas medidas en plantas de aguacate en vivero.	25
Cuadro 2. Efecto principal de los cultivares sobre algunas características agronómicas de plantas de aguacate a los siete meses después de injertados.....	32
Cuadro 3. Suma de cuadrados y significancia de variables fisiológicas medidas en plantas de aguacate en vivero.	33
Cuadro 4. Suma de cuadrados y significancia de variables morfo-anatómicas medidas en plantas de aguacate en vivero.	38
Cuadro 5. Efecto principal del portainjerto sobre algunas características morfo-anatómicas del cultivar injertado de aguacate a los siete meses después de injertación.	45
Cuadro 6. Efecto principal de los cultivares sobre algunas características morfo-anatómicas de plantas de aguacate a los siete meses después de injertación.....	46
Cuadro 7. Elementos minerales presentes en los cristales de los tratamientos.	50

LISTA DE FIGURAS

	Páginas
Figura 1. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en altura de planta de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).....	26
Figura 2. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en número de hojas de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).....	27
Figura 3. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en diámetro de tallo de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).....	28
Figura 4. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en número de brotes de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).....	29
Figura 5. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en área foliar de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).....	31
Figura 6. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en Lecturas SPAD de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).....	34
Figura 7. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en fotosíntesis de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).....	35
Figura 8. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en conductancia estomática de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).....	36
Figura 9. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en transpiración de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).....	37

Figura 10. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en frecuencia de estomas de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).	39
Figura 11. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en tamaño de estomas de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).....	41
Figura 12. Micrografías de estomas de <i>Persea americana</i> obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) a 40 kv de las siguientes cultivares/portainjertos, A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.	42
Figura 13. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en frecuencia de tricomas de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).	43
Figura 14. Micrografías de hojas de <i>Persea americana</i> obtenidas mediante MEB a 40 kv donde se observaron tricomas unicelulares en las siguientes cultivares/portainjertos A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.	44
Figura 15. Micrografía de corte transversal de hojas de <i>Persea americana</i> obtenidas mediante microscopia de barrido (MEB) a 40 kv de los siguientes cultivares/portainjertos A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.....	47
Figura 16. Micrografía de corte transversal de hoja de <i>Persea americana</i> obtenidas mediante microscopia de barrido (MEB) a 40 kv donde se aprecian los haces vasculares: 1: Xilema, 2: Floema, 3: parénquima de la médula, de los siguientes cultivares/ portainjertos A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.....	48

Figura 17. Cristales de <i>Persea americana</i> obtenidas mediante microscopia de barrido (MEB) de los siguientes cultivares/portainjertos A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.....	49
Figura 18. Micrografía de cristales de <i>Persea americana</i> obtenidas mediante microscopia de barrido (MEB) a 40 kv de los siguientes cultivares/portainjertos A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.	51
Figura 19. Micrografía de la vista panorámica de la unión de Variedad/Portainjerto de los seis tratamientos, Corte transversal (A (Hass/Martín Grande), C (Fuerte/Martín Grande), E (Hass/Thomas), G (Fuerte/Thomas), I (Hass/Duke7), K (Fuerte/Duke7)) y Corte Longitudinal (B (Hass/Martín Grande), D (Fuerte/Martín Grande), F (Hass/Thomas), H (Fuerte/Thomas), J (Hass/Duke7), L (Fuerte/Duke7)) de la unión de cultivar/portainjerto.	52
Figura 20. Corte transversal (A (Hass/Martín Grande), C (Fuerte/Martín Grande), E (Hass/Thomas), G (Fuerte/Thomas), I (Hass/Duke7), K (Fuerte/Duke7/)).....	54
Figura 21. Corte Longitudinal (B (Hass/Martín Grande), D (Hass/Martín Grande), F (Hass/Thomas), H (Fuerte/Thomas), J (Hass/Duke7), L (Fuerte/Duke7)).....	56

1. INTRODUCCIÓN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es nativo de América central y es un cultivo de importancia económica en muchos países, entre ellos México, Estados Unidos, Chile y Sudáfrica. México sobresale al ser el principal productor y exportador mundial, su importancia se deriva del beneficio económico que derrama entre productores, comercializadores, industrializadores, consumidores y mano de obra que genera. Es parte de la dieta de la población de muchos países (Castañeda, 2009).

Sin embargo, uno de los inconvenientes en la producción del aguacate son las enfermedades de raíz. La más importante y devastadora es la pudrición de raíz, conocida como “tristeza del aguacatero”. Esta enfermedad reduce la biomasa de la raíz y afecta su función debido al daño ocasionado por *Phytophthora cinnamomi* Rands en las raíces absorbentes. Esta enfermedad es severa en huertos con suelos arcillosos y con exceso de humedad. Los síntomas de clorosis, marchitez y defoliación se presentan en cualquier etapa del ciclo biológico de la planta, sin embargo, la planta pequeña es más susceptible (Castañeda, 2009).

Para una especie vegetal y en un ambiente determinado, los factores de crecimiento más importantes son: luz, agua, CO₂, nutrimentos minerales y genotipo (Garate y Bonilla, 2000). La concentración foliar de los elementos minerales, depende de la capacidad de absorción de las raíces, de la capacidad de transpiración de sus hojas y de su transporte por xilema, ya que son transportados a la copa, en épocas, velocidad y concentración variables con las condiciones del medio (Agustí, 2003).

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

Las características anatómicas de tamaño de vasos y los porcentajes de xilema y floema, en tallos principales de frutales, son importantes para definir la cantidad de agua que pueda transportarse, ya que a medida que los porcentajes de estos tejidos son mayores y el diámetro de vasos menores, la cantidad de agua transportada será mayor, por lo tanto, habrá mejor adaptación de las plantas a condiciones de alta humedad (García, 2015).

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

El transporte de agua en las plantas, a través de los vasos del xilema, ocurre a favor del gradiente de potencial hídrico existente entre el suelo y la atmósfera. De

acuerdo a la teoría de la tensión-cohesión, la evaporación en las hojas genera tensiones en las zonas más cercanas a los lugares de evaporación. La elevada cohesión entre las moléculas de agua permite que estas tensiones sean transmitidas a través de toda la planta y, por lo tanto, hace posible el transporte (García, 2015).

La eficiencia fisiológica de la planta de aguacate es de gran importancia y puede estar relacionada con la anatomía de la hoja. Los espacios de aire de la hoja y los arreglos internos de las células, se asocian a la eficacia con la cual las plantas pueden asimilar el CO₂ o intercambiar otros gases (Black *et al*, 1975).

En México la propagación comercial de portainjertos de aguacate es exclusivamente por semilla botánica, lo que trae grandes problemas en plantaciones comerciales establecidas sobre este tipo de portainjertos, debido a su alto grado de heterocigosis que se refleja en un comportamiento desigual de las plantas injertadas. La propagación clonal de portainjertos, sobre los cuales se injerta el cultivar deseado, es la única posibilidad de tener una plantación constituida por plantas genéticamente uniformes en su totalidad. Esta es la tendencia mundial, en lo que respecta a la propagación de aguacate, sin embargo la marcada dificultad congénita del aguacate para formar raíces adventicias complica el proceso y resta eficiencia a las sofisticadas y costosas tecnologías que se siguen ensayando en diversas partes del mundo para la producción comercial de portainjertos clonales. La necesidad de superar dichas dificultades obliga a seguir buscando y adecuando tecnologías que reduzcan el costo y vuelvan más eficientes este tipo de propagación (Espindola *et al* 2012).

2. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

2.1. Objetivo general

Determinar cuál es la mejor combinación de cultivar-portainjerto con base en sus características fisiológicas y morfo-anatómicas

2.1.1. Objetivos específicos

- Determinar la relación entre la clorofila, tasa de asimilación, transpiración, conductancia estomática de hoja en los seis tratamientos Hass/Martín Grande, Hass/Thomas, Hass/Duke 7, Fuerte/Martín Grande, Fuerte/Thomas y Fuerte/Duke 7.
- Caracterizar los seis tratamientos Hass/Martín Grande, Hass/Thomas, Hass/Duke 7, Fuerte/Martín Grande, Fuerte/Thomas y Fuerte/Duke 7. morfo-anatómicamente.
- Determinar cuál es la mejor combinación de los seis tratamientos Hass/Martín Grande, Hass/Thomas, Hass/Duke 7 y Fuerte/Martín Grande, Fuerte/Thomas y Fuerte/Duke 7. con base a las características fisiológicas.

2.2. Hipótesis general

La mejor combinación de cultivar/portainjerto tiene las mejores características fisiológicas y morfo-anatómicas.

2.2.1. Hipótesis específicas

- Los tres portainjertos comerciales de aguacate injertados con Hass y Fuerte presentan valores similares de clorofila, tasa de asimilación, transpiración y conductancia estomática de hoja.
- Los seis tratamientos Hass/Martín Grande, Hass/Thomas, Hass/Duke 7, Fuerte/Martín Grande, Fuerte/Thomas y Fuerte/Duke 7, presentan similares características morfo-anatómicas.
- La mejor combinación de cultivar/portainjerto es el que presenta mejores características morfo-anatómicas y fisiológicas.

3. REVISIÓN DE LITERATURA

3.1. Propagación vegetativa

La propagación vegetativa se refiere a la obtención de una planta completa (raíz y parte aérea), o sólo una nueva copa (injerto). En ambos casos el genotipo derivado será idéntico a la planta madre de donde se obtuvo el material vegetativo para la propagación. Este proceso biológico es conocido como clonación y las plantas resultantes son llamadas clones y pueden ser usadas como portainjertos. En numerosas especies frutales de importancia económica como los vides y manzanos, es una práctica común el empleo de portainjertos clonales (Espindola *et al.*, 2012).

Para descartar la variabilidad, que resulta de utilizar portainjertos de aguacate producidos por semilla, se debe de utilizar la producción de portainjertos clonales, sobre los cuales se injerta el cultivar deseado. Así podemos asegurar que la plantación comercial sea genéticamente idénticas entre sí, tanto en patrón como en copa. En aguacate como en varias especies frutales existe la necesidad de seleccionar portainjertos de acuerdo a las necesidades que se requieran en suelo como la tolerancia a la pudrición radical, salinidad, exceso de calcio, falta de aireación, sequía, etc., así como para modificar algunas características hortícolas del cultivar injertado como vigor, precocidad en la entrada de producción, incremento de rendimiento y calidad, etc. Incluso se usan para reducir la susceptibilidad de los frutos a desórdenes fisiológicos (Espindola *et al.*, 2012).

Sin embargo por las características del aguacate como especie, los portainjertos con algunos atributos deben ser propagados vegetativamente para mantenerlas intactas, es decir, el mejoramiento genético de portainjertos de aguacate solo es

viable si existe la posibilidad técnica y económica para propagar vegetativamente los genotipos mejorados (Alves de Oliveira *et al.*, 1999).

Aun cuando existen reportes que indican que desde las primeras décadas del siglo pasado ya existía interés por la propagación vegetativa de portainjertos de aguacate, la necesidad de contar con portainjertos clonales, se volvió mucho más apremiante a partir del año 1942 cuando se aisló el patógeno *Phytophthora cinnamomi* Rands como causante de la pudrición de raíz (Zentmyer, 1980; Zentmyer *et al.*, 1998), y la búsqueda de patrones tolerantes al patógeno se convirtió en una prioridad mundial en la investigación sobre el cultivo del aguacate (Gallo *et al.*, 1999).

Desde entonces muchos portainjertos con esas características, como los cultivares Duke 7, Thomas, Barr Duke, Toro Canyon, Dusa y Latas, han sido seleccionados en California (Estados Unidos de América), Israel y Sudáfrica. La propagación vegetativa de estos y otros con similares aptitudes resulta indispensable para conservar íntegramente todas sus características, la heredabilidad de los caracteres de resistencia en el aguacate es generalmente baja, menos del 1%. Por lo tanto, las plantas producidas a partir de semillas colectadas de árboles resistentes generalmente muestran poca resistencia (Menge, 1999).

La búsqueda de nuevos portainjertos, y la necesidad de propagarlos clonalmente, también se ha orientado en otras direcciones que, como ya se ha mencionado, constituyen objetivos generales del mejoramiento de los portainjertos de aguacate (Ben-Ya'acov, 1985). Entre los que merecen destacarse, podemos indicar por ejemplo que en Israel la investigación se ha centrado en la tolerancia a la salinidad

(Ben-Ya'acov *et al.*, 1992), para la que los aguacates de raza antillana están mejor adaptados. De los seleccionados, los más representativos hasta el momento son: Maoz, Tsrifin 99, Degania 117, Ashdot 17 (Homsy, 2000). Otra metodología que puede ponerse en práctica gracias a la propagación vegetativa, es la que se conoce como la “copia” de árboles. Por algunas características superiores deseables, sobresalen en una plantación comercial. De lo que se trata es de replicar estos árboles propagando clonalmente tanto el portainjerto (a través del enraizamiento de acodos o esquejes) como la copa (a través del injerto). De este modo, la descendencia obtenida a partir de ellos, será una copia exacta de la planta que le dio origen (Castro *et al.*, 2003).

A pesar de ello, la producción comercial de portainjertos clonales se ha incrementado en muchos países que son importantes productores. Así, por el año 2000, un estudio en California (EUA.), indicó que de los más de 370,000 árboles de aguacate vendidos por los viveros, cerca de 50% fueron árboles sobre patrones clonales. Por la misma época, en Sudáfrica el más grande vivero de aguacates, Westfalia Nursery, tenía una capacidad anual de producir 140,000 plantas sobre patrones clonales (Whiley *et al.*, 2002).

3.2. Importancia del uso de portainjertos

Los portainjertos son la otra mitad del árbol que se le ha denominado “la mitad escondida”, y esta aseveración es derivada por la poca importancia que se le da a las raíces a pesar de ser una parte fundamental del sistema de la planta. (Barrientos *et al.*, 2007)

A principios de 1950 la explotación comercial del aguacate no se le daba importancia al origen del portainjerto, solo bastaba que la planta fuera fuerte y sana para poderse injertar (Barrientos *et al.*, 2007)

Al conseguir árboles genéticamente homogéneos se obtienen mejores rendimientos de fruta así como mayor efectividad en las labores de poda, fertirrigación, aplicación de fitosanitarios y recolección, además se consigue uniformidad en la tolerancia a hongos de suelo siempre que se elijan patrones clonados tolerantes, las semillas de aguacate tienen alta variabilidad genética, así la variedad frutal que este injertada sobre estas tendrá un comportamiento diferente y esto se traduce en árboles de diferente tamaño, algunos amarillos, otros con baja productividad y sin tolerancia a características negativas del suelo como salinidad (puntas de las hojas quemadas), niveles altos de carbonato (árboles amarillos), presencia de hongos en el suelo (podrición de raíces y árboles muertos). (Barrientos *et al.*, 2007).

3.3. Portainjertos tolerantes a *Phytophthora cinnamomi* Rands

A principios de 1940 en California, E.U.A. se descubrió que el hongo *Phytophthora cinnamomi* Rands pudría las raíces, y provocaba lo que se conocía como tristeza del aguacatero y comenzó la búsqueda de portainjertos que toleran dicha enfermedad. Los esfuerzos iniciales fueron realizados por el Dr. C. Arthur Schroeder y posteriormente por el Dr. George A. Zentmyer de la Universidad de California en los Ángeles y Riverside, donde concluyeron que existe resistencia a *P. cinnamomi* en algunas especies del subgénero *Eriodaphne* pero son incompatibles vegetativamente con el aguacate. Otro logro del programa de

Riverside es la tolerancia que se encontró en el cv. "Duke", que ha dado progenie superior bajo condiciones de esta enfermedad como Duke 7, que en la actualidad es de los portainjertos estándar a nivel mundial. También se encontró cierta tolerancia en la especie *Persea steyermarkii* (Zentmyer y Schieber, 1987). A su retiro, el Dr. Zentmyer dejó varios candidatos con tolerancia a *P. cinnamomi* entre los que se encuentran "Thomas", "P1", "Toro Canyon", "Barr Duke", "G61", "Duke S", "Duke Grace", "G22" y "Parida". Después del retiro del Dr. Zentmyer se realizó la liberación prematura a productores del portainjerto Martín Grande, proveniente de una colecta de Chinini del mercado de Cobán, Guatemala, que después se determinó que se trataron de híbridos interespecíficos entre *Persea americana* y *Persea schiedeana* (Ellstrand et al., 1986). Posteriormente se comprobó tanto en Sudáfrica como en California (E.U.A) que este portainjerto induce baja productividad al injertarse con el cv. Hass. En ese momento el programa de Riverside estaba a cargo del Dr. J. A. Menge y la evaluación de portainjertos derivados del mismo programa y de importaciones de Guatemala, Sudáfrica, Israel, Australia, y España, señalan a los portainjertos Merensky 2 (Dusa) de Sudáfrica y Duke 7 como sobresalientes. Otros programas de selección de portainjertos tolerantes a *P. cinnamomi* son los de Islas Canarias, España, Israel, Sudáfrica y México. Se ha encontrado que la raza Antillana resistió a pruebas de selección, resultando 29.3% de sobrevivientes y en progenie del portainjerto Israelí "Maoz" (también de la raza antillana) sobrevivieron 28.7% (Gallo Lobet, 1992). La enfermedad causada por *P. cinnamomi* es la principal limitante de la producción comercial de aguacate en Sudáfrica y se ha sugerido que es el mejor lugar para seleccionar portainjertos resistentes a esta enfermedad (Ben-Ya'acov, 1985). Los

portainjertos de raza Mexicana y Antillana son los más tolerantes, entre ellos se encuentran Duke 6, Duke 7, G 6, G 755, D 9, Thomas y Barr Duke.

3.4. Proceso de enraizamiento

El enraizamiento es un proceso regenerativo a través del cual se forman raíces adventicias. Se denomina raíz adventicia a cualquier raíz que se constituye a partir de un tejido que no es la radícula del embrión. A pesar de haber sido estudiado e investigado ampliamente, la biología fundamental y el factor que desencadena la formación de raíces adventicias aún son desconocidos (Castro *et al.*, 2007). En aguacate, el tiempo que toma el enraizamiento de los tejidos del tallo suele ser variable y depende del método utilizado, las condiciones ambientales y las características del genotipo estudiado (Espindola *et al.*, 2012). Al enraizar esquejes con hojas, y con riego nebulizado, se encontró correlación positiva entre la supervivencia de hojas y el éxito del enraizamiento. (Castro *et al.*, 2007) En efecto, la presencia de las hojas es fundamental en la formación de raíces adventicias. Las hojas y los brotes jóvenes son fuente de la auxina ácido indolacético (AIA) y almidón, entre otras sustancias que serían activadoras del enraizamiento a través de procesos que como ya se mencionó, aún no son del todo claros (Espindola *et al.*, 2012).

Reuveni y Raviv (1980) determinaron el contenido de once elementos en hojas de esquejes de aguacate y sólo encontraron correlación entre el manganeso y la formación de raíces. En hojas de cultivares de difícil enraizamiento hallaron altos contenidos de Mn, mientras que en aquellos de fácil enraizamiento el contenido del microelemento fue menor. Se sabe que el Mn es un activador de la enzima

oxidasa AIA, que destruye las auxinas naturales en la base del esqueje o estaca, ocasionando condiciones adversas al enraizamiento, (Téliz *et al.*, 2007). Una vez, que un esqueje es colocado en condiciones favorables para su enraizamiento. En aguacate, no hay certeza que exista una relación entre la formación de callo y el enraizamiento. A veces las raíces aparecen directamente del tejido de la rama, con o sin desarrollo de callo en el esqueje (Téliz *et al.*, 2007). Otro factor que se considera directamente involucrado en el proceso de enraizamiento, es la auxina endógena, una hormona que se encuentra en forma natural en las plantas, y su forma más común es el ácido indol-3-acético (AIA). De manera general, las auxinas son reconocidas como sustancias que estimulan la división celular y frecuentemente fomentan el desarrollo de callos y raíces en varias especies vegetales. Taiz y Zeiger (2002), indican que las raíces se forman porque el AIA se tiende a acumular inmediatamente sobre cualquier herida, en brotes o raíces, como resultado del transporte de auxinas. En aguacate, como en otras especies que son difíciles de enraizar, la edad de la planta madre de la que se toman los esquejes, es un factor de mucha importancia. Se ha reportado que la capacidad de enraizamiento en el aguacate disminuye al aumentar la edad de la planta madre, comportamiento que se relacionó con el llamado factor de juvenilidad. Kadman (1976) trabajando con el cultivar Mexicola, logró 100% de enraizamiento de esquejes que provenían de plántulas de 6 meses y solo 30% cuando estas ya tenían 12 meses. Esta alta capacidad de enraizamiento de estacas de plántulas de aguacate también fue reportada por Krezdom y Marte (1976) en varios cultivares.

3.5. Efecto del portainjerto sobre el cultivar

En diversos frutales, existen características fenotípicas y fisiológicas que los portainjertos pueden transmitir a los cultivares injertados sobre ellos, como son: control del crecimiento y desarrollo del cultivar, fotosíntesis, consumo de agua y nutrimentos, producción de reguladores del crecimiento, época y densidad de floración, producción de chupones basales, precocidad, peso, forma, maduración, firmeza y color del fruto, longevidad del cultivar y tolerancia a plagas y enfermedades del suelo (Castañeda. 2009).

La selección de la combinación injerto/portainjerto más productiva en aguacate se ha hecho mediante experimentos dirigidos por el Dr. Avraham Ben-Ya'acov en Israel. En uno de estos trabajos se registró la producción por 10 años del cv. Hass injertado en cuatro portainjertos de la raza Mexicana, donde se obtuvo 297. 292. 262. 223 kg por árbol. Se encontraron combinaciones injerto/portainjerto con mayor producción en Fuerte y Hass.

Los portainjertos de aguacate tienen la capacidad de traslocar diferentes niveles de nutrimentos, lo cual puede influir sobre la calidad interna del fruto. Un ejemplo de esto es la evaluación de Kremer-Khone y Khone (1992) quienes observaron variación de algunos nutrimentos en la pulpa de aguacate por efecto del portainjerto. Además, la fruta obtenida en el portainjerto "Duke 7" fue significativamente más redonda que en los otros dos portainjertos G6 y G755. Otro ejemplo muy contrastante es el encontrado por Avilán *et al.* (1999), donde al utilizar portainjertos de aguacate Ceniap-3 (derivado de semilla de Topa Topa; probable híbrido Mexicano x Guatemalteco), "Duke" (raza Mexicana) y Booth 1 (híbrido de Guatemalteco x Antillano); y como interinjerto "Calidad" (Híbrido de

Guatemalteco x Antillano); e injertado con el cv. Nelan (Guatemalteco x Antillano), encontraron modificaciones en el peso de fruto y semilla, cambios en forma de fruto y semilla, así como en la proporción de la pulpa. La combinación “Nelan”/Calidad”/”Duke” fue la que presentó cambios más drásticos como forma redonda de fruto, semilla más grande y de forma redonda en comparación con el fenotipo típico del cv. Nelan que es forma de fruto romboidal y semilla elipsoide.

Recientemente Willingham *et al.* (2001) encontraron que el portainjerto tiene un impacto significativo en la susceptibilidad postcosecha hacia antracnosis. La susceptibilidad a antracnosis fue menor cuando se usó a Hass injertado en el portainjerto Velvick (actualmente clasificado como un híbrido Guatemalteco x Antillano) comparado con el portainjerto Duke 6 (Raza Mexicana), esta susceptibilidad fue relacionada con la concentración de compuestos antifungosos y a la concentración de nutrimentos en hoja y fruto. El contenido de aceite en fruto también varía dependiendo del portainjerto. Kadman y Ben-Ya’acov (1976) encontraron que el porcentaje de aceite acumulado en el fruto es mayor cuando se utilizan portainjertos de la raza Guatemalteca e híbridos que cuando se utilizan portainjertos de la raza Mexicana. Por otra parte, Gregoriou (1992) encontró una menor concentración de aceite al utilizar el portainjerto “Topa Topa” (raza Mexicana) que cuando se utilizaba uno de la raza Antillana en cuatro años continuos de evaluación del cv. Ettinger injertada en portainjertos de la raza Mexicana alcanza más rápido su madurez en comparación con “Nabal” (raza Guatemalteca) como portainjerto (Ben-Ya’acov y Michelson, 1995). Con todo lo que se ha tratado sobre portainjertos se tiene idea de la gran importancia que tienen estos sobre el cultivar y la adaptación del árbol a las condiciones del suelo.

A nivel mundial se está tomando cada día más conciencia acerca de la importancia que tiene el portainjerto, donde definitivamente los recursos genéticos del aguacatero son la fuente de genes y que algunos de estos se buscan combinar en un portainjerto élite. (Téliz *et al.*, 2007).

3.6. Efecto de portainjerto en la productividad

La selección de la combinación injerto-portainjerto más productiva se ha hecho mediante experimentos dirigidos por el Dr. Avraham Ben-Ya'acov en Israel. El portainjerto Benjamina resultó más eficiente ya que tuvo 16.3 kilogramos por m² en comparación con 10 a 12 kilogramos por m² de los restantes (Ben-Ya'acov, *et al.*, 1993). Se encontraron combinaciones injerto-portainjerto con 100% de mayor producción en Fuerte y Hass, para el caso de Ettinger un 40% (Ben-Ya'acov y Michelson, 1995).

En California, E.U.A. se realizó una evaluación de diferentes portainjertos injertados con el cultivar Hass, sobresaliendo el portainjerto Duke 7 y Borchard, resultados similares obtuvo Khone (1992) en Sudáfrica. Otro ejemplo, es el de Gregoriou (1992) quien en Chipre evaluó cuatro portainjertos en dos cultivares, encontrando diferencias por efecto de la combinación injerto-portainjerto, lo que denota que los portainjertos parecen no tener un efecto universal en productividad, sino que también depende del cultivar, sobre el efecto del interinjerto o intermedio sobre la productividad. En Sudáfrica se ha encontrado que la combinación Hass/Colín V33/Duke 7 (cultivar/intermedio/portainjerto) de injerto intermedio corto produjo en su primer año de producción (cuarto año) 5.20 toneladas por hectárea, mientras que la de una pieza larga produjo 3.85 toneladas por hectárea y la

combinación de Hass/Duke 7 produjo 2.91 toneladas por hectárea (Roe y Morudu, 1998).

3.7. Martín Grande

Hibrido entre *Persea schiedeana* y *Persea americana* de raza mexicana y su origen es Guatemala. Con buena resistencia a *Phytophthora cinnamomi*. (Téliz *et al.*, 2007)

3.8. Thomas

Es un clon de raza mexicana su origen es de California USA. Resistencia a *Phytophthora cinnamomi*. (Téliz *et al.*, 2007).

3.9. Duke 7

Proviene de la raza mexicana, originado en California, propagado por estaca, fue seleccionado en los años 50 por Dr. G. Zentmyer, pero se comercializó hasta mediados de los 70. Es el primer patrón disponible para luchar contra la podredumbre de raíz producida por *Phytophthora cinnamomi* y actualmente se sigue recomendando como portainjerto en California y Sudáfrica por su alta productividad. Es un patrón vigoroso, con buena tolerancia al frío, tolerancia moderada a *Phytophthora cinnamomi*, pero es más tolerante a *Phytophthora citrícola*, produce precozmente fruta de buen calibre presentando la tendencia a permanecer verde en suelos fríos durante el invierno cuando se presenta la clorosis, además, induce una menor alternancia (fuertes cosechas un año y pésimas cosechas otros años) en Hass que otros patrones. No es recomendable

utilizarlo cuando se presenten problemas de salinidad ni en replantaciones. (Téliz *et al.*, 2007).

3.10. Cultivares

Los arboles de aguacate se adaptan de acuerdo a su ascendencia de las distintas razas. En el subtrópico dominan los cultivares con genes de la raza Mexicana y Guatemalteca, mientras que en los tropicales dominan los cultivares con combinaciones entre la raza Antillana y Guatemalteca, entre los cultivares más desarrollados comercialmente encontramos a los subtropicales Hass, Fuerte, Bacon, Colín V-33, Reed, Pinkerton, Whitsell, Gwen, Lamb Hass y los tropicales Booth 8, Choquette, Lula. (Téliz *et al.*, 2007).

3.11. Hass

Es el principal cultivar comercial en el mundo. Originado en la Habra, Heights, California, por Rudolph G. Hass, de una semilla establecida a principios de 1920. Patentado en 1935. De progenitores desconocidos (pero más cercano a Guatemalteco) y se piensa que proviene del antiguo cultivar Lyon. Fruto de 170 a 350 gramos, aunque en varios países tiende a ser de poco peso, pulpa cremosa de sabor excelente, sin fibra, contenido de aceite de 23.7%, cascara algo coriácea, rugosa, color purpura oscuro al madurar, semilla pequeña, y adherida a la cavidad, fuerte productor y su fruta se puede mantener en el árbol por algunos meses después de madurez fisiológica. El tipo floral es "A", el cual tiene su primera apertura como hembra en la mañana y su segunda apertura como macho por la tarde del siguiente día a contrario del tipo "B", que tiene su primera apertura

como hembra por la tarde y su segunda apertura como macho por la mañana. Los cultivares modernos casi en su mayoría provienen de la combinación de dos y en ocasiones de las tres razas de aguacate, en el caso de Hass cuenta con 10 a 15% de genes de la raza Mexicana y el resto de la raza Guatemalteca (Bergh y Ellstrand, 1986). La raza Mexicana le da una mejor adaptación a climas más templados, por lo que les confiere la característica de ubicarse en una gran amplitud de altitudes. En Michoacán el cultivar Hass se ubica desde 1500 hasta 2500 metros sobre el nivel del mar, esta gran variación permite cosechar fruta todo el año con este cultivar (Gallegos, 1983). En Israel y Sudáfrica el cultivar Hass tiende a ser pequeño y no alcanza un tamaño comercial aun cuando se hace raleo de frutos, lo cual ha causado que no se cultive extensivamente en estos países.

Martínez y González (1986) realizaron una caracterización de la adaptación del cultivar Hass en Michoacán, México, donde delimitaron por zonas de acuerdo a condiciones de altitud, climática y suelo; se encontraron grandes diferencias en la fenología y la calidad de fruta obtenida. Aguacate Hass obtenidos de zonas de 2100 m de altitud pierden mayor cantidad de electrolitos después de almacenamiento en refrigeración, lo cual está directamente relacionado con daños por frío, por lo que frutos de esta altitud están propensos a daños durante refrigeración que es de gran importante para exportación.

3.12. Fuerte

Originada en Atlixco, Puebla, colectada en 1911 por Carl Schmidt en el patio del Sr. Alejandro Leblanc (Noriega, 1948) y Liberada en 1912. Se supone que es un Híbrido entre la raza Mexicana y Guatemalteca. Este cultivar fue el estándar por

varias décadas hasta que en los años de 1960 se dio paulatinamente el cambio de Fuerte a Hass. El fruto de 227 a 295 gramos, piriforme, con cascara verde, de grosor mediano, y casi lisa. Tiene muy buen sabor, pulpa de color amarillo verde pálido, y alto contenido de aceite. El árbol es ligeramente abierto; presenta alternancia en la producción, lo cual es uno de los grandes inconvenientes de este cultivar. Es de tipo floral B. Este cultivar puede tener amarre de frutos llamados dedos y son producto del aborto del embrión o estenospermocarpia (frecuentemente confundida con la partenocarpia) (Blumenfeld y Gazit, 1974), causada probablemente por bajas temperaturas durante el desarrollo del embrión.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización geográfica del experimento

El presente trabajo se llevó a cabo en el Vivero Cazonos ubicado en el municipio de Cazonos de Herrera, Veracruz, México, localizado geográficamente con las coordenadas 20°42' latitud norte y 97°18' longitud oeste, con 10 metros de altitud.

4.2. Colecta de material vegetal

La colecta de la semilla de aguacate criollo se realizó en los municipios de Pilcaya y Tetipac Guerrero. Los portainjertos clonales y los cultivares para injertarse se colectaron en el banco de Germoplasma de aguacate de la fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX S.C., ubicado en Coatepec Harinas, Estado de México.

4.3. Obtención de plantas y manejo agronómico

En el estudio se utilizaron los portainjertos clonales Martín Grande, Thomas y Duke 7, así como los cultivares: Hass y Fuerte. Se colectaron semillas criollas en el mes de marzo de 2017, A principios de abril de 2017 las semillas se pusieron a germinar en agrolita cortando 1/3 parte a los cotiledones para una germinación más pronta. A principios de mayo de 2017 se trasplantaron a macetas en una mezcla (2:1:1 corteza de pino, tepecil y lombricomposta), A finales de mayo de 2017, cuando las plantas tenían de 4 a 6 hojas, se hicieron los injertos. Las varetas de los portainjertos clonales (Martín Grande, Thomas y Duke 7) estas se lavaron con agua y jabón durante 30 a 40 segundos, y luego se colocaron en una mezcla de fungicidas sistémico (Previcur 2 mL L⁻¹) y de contacto (Captan 3 g L⁻¹) por 5 minutos, para posteriormente mantenerse en el refrigerador a una temperatura de 5°C durante 4 días. Se hicieron los injertos en los patrones de

semilla, estos fueron de púa, enchapado lateral y yema. A mediados de junio de 2017 ya estaban la mayoría brotando. A principios de julio de 2017, las plantas injertadas se metieron a un cuarto oscuro por 15 días para favorecer el alargamiento y blanqueado de tallos. Como lo indica la técnica de Frolich modificada (Frolich *et al.*, 1971). Al sacarse del cuarto oscuro se le puso un tubo de pvc de 4" y 20 cm de largo con mezcla 3:1:1 (corteza de pino, vermiculita y turba) para que el tallo permaneciera blanco y fuera más fácil estimularlo para que emitiera raíces. Se esperó a que la planta engrosara para hacer el segundo injerto pero ya poner la variedad (Hass y Fuerte) el cual se hizo en octubre de 2017 y para finales de enero de 2018 se enraizaron los portainjertos clonales con radix 6,000.

4.4. Proceso de muestras en el microscopio electrónico de barrido

En junio del 2018 se tomaron, de las plantas evaluadas, dos hojas completamente desarrolladas y expuestas al sol, en dos plantas de la variedad injertada y de cada combinación portainjerto/injerto (24 muestras en total). Las hojas se cortaron y se utilizó una muestra de 2x5 mm de la parte media de la lámina. las muestras se fijaron en una solución de glutaraldehído por un día, posteriormente se pasaron a diferentes mezclas de alcohol, iniciando en el 30% de alcohol y 70% agua durante 40 minutos, posteriormente se pasó al 40% de alcohol y 60% agua durante 40 minutos, seguido por 50% alcohol y 50% agua, y así sucesivamente hasta llegar al alcohol al 100%, en esta concentración se puso dos ocasiones, Posteriormente, las muestras se pasaron a la secadora de punto crítico (Samdri-780A), y luego a la ionizadora de oro (Fine Coat Ion Sputter JFC-1100) y montadas para poder ser observadas. A partir de estas preparaciones se obtuvieron imágenes digitales de

los estomas con resolución a 150x de objetivo y 40 kv en microscopio electrónico de barrido (JEOL JSM-6390), conectado a un software para poder tomar las capturas de las imágenes para su posterior análisis.

4.5. Tratamientos y diseño experimental

Los tratamientos que se utilizaron fueron los siguientes portainjertos comerciales: Martín Grande, Thomas y Duke 7 y los cultivares Hass y Fuerte, resultando seis combinaciones Hass/Martín Grande (1), Fuerte/Martín Grande (2), Hass/Thomas (3), Fuerte/Thomas (4), Hass/Duke 7 (5) y Fuerte/Duke 7 (6).

El diseño experimental fue un experimento factorial de 3x2 (3 portainjertos, 2 variedades) completamente al azar. La unidad experimental constó de 3 plantas, con 6 repeticiones de cada tratamiento.

4.6. Variables de estudio

4.6.1. Variables agronómicas

4.6.1.1. Altura de planta

Se midió con un metro (cm), a los 7 meses después de haberse injertado el cultivar en el portainjerto, esta se midió desde la base del tubo de pvc hasta el brote del injerto.

4.6.1.2. Número de hojas

Se contó el número de hojas, a los 7 meses después de haberse injertado el cultivar en el portainjerto.

4.6.1.3. Diámetro de tallo

Se midió el diámetro de tallo con un vernier, en la unión de portainjerto-injerto, a los 7 meses después de haberse injertado el cultivar en el portainjerto.

4.6.1.4. Número de brotes

Se contaron los brotes de los cultivares a los 7 meses después de haberse injertado el cultivar en el portainjerto.

4.6.1.5. Área foliar

Se determinó el área foliar de dos plantas por combinación de cultivar/portainjerto al final del experimento con un integrador de área foliar LI-3000 (Licor, Lincoln, NE, USA)

4.6.2. Variables fisiológicas

4.6.2.1. Lecturas SPAD

Se midió en hojas jóvenes completamente maduras con un SPAD 502, (Minolta) a los seis meses de haberse injertado el cultivar en el portainjerto.

4.6.2.2. Intercambio de gases

A los 6 meses de haberse injertado el cultivar en el portainjerto, se determinaron la asimilación de CO₂, la conductancia estomática y la transpiración con un equipo para cuantificar la asimilación de CO₂ LI-6400 (LI-cor, Lincoln, NE), entre las 11:00 y 13:30 horas)

4.6.3. Variables morfo anatómicas

Este grupo de variables se registró a partir de imágenes de hojas obtenidas con el microscopio electrónico de barrido (MEB). Las variables listadas se midieron con el programa de Imagej™ (<https://imagej.nih.gov/ij/index.html>).

4.6.3.1. Frecuencia y tipos de tricomas

Se contaron en cinco imágenes obtenidas con el MEB de los seis tratamientos. El número de tricomas se reportó por mm².

4.6.3.2. Frecuencia y tamaño de estomas

Se contaron y midieron los estomas en 5 imágenes de los seis tratamientos estudiados. La frecuencia se reporta como estomas por mm² y el tamaño en μm.

4.6.3.3. Cutícula

Se midió el grosor de la cutícula con el programa imagej para 6 imágenes que se obtuvieron de microscopía electrónica de barrido en cada uno de los tratamientos.

4.6.3.4. Sistema vascular

Se realizaron cortes transversales de hoja del cultivar/portainjerto. Se midió el ancho de la banda externa de vasos del floema y por separado los del xilema, así como el diámetro de los vasos del xilema.

4.6.3.5. Cristales

Con el analizador de rayos X se determinó la composición química de los cristales encontrados.

4.7. Análisis de resultados y modelo estadístico

Se realizó un análisis de varianza para todas las variables evaluadas utilizando SAS versión 9.0, y comparación de medias por la prueba de Tukey al nivel $\alpha=0.05$ de probabilidad. El experimento fue factorial 3x2 (3 portainjertos, 2 variedades) completamente al azar.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1 Variables agronómicas

El análisis de varianza indica que las variables agronómicas fueron afectadas significativamente por el portainjerto y por la interacción cultivar/portainjerto (Cuadro 1). La interacción cultivar/portainjerto afectó todas las variables, excepto altura de planta y diámetro de tallo.

Cuadro 1. Suma de cuadrados y significancia de variables agronómicas medidas en plantas de aguacate en vivero.

Variable	Fuente de variación			CV	Media
	Portainjerto	Cultivar	Interacción		
Altura de planta	735 **	0.50 ns	165.25 ns	11.9	50.3
Número de hojas	56.10 **	0.50 ns	143.58 **	17.5	10.8
Diámetro de tallo	4.75 *	0.06 ns	6.69 ns	9.92	8.4
Número de brotes ^z	0.91 **	0.02 ns	0.41 *	15.04	1.6
Área foliar	150,302 **	12,680 ns	114,860 *	10.4	873.5

^z $y = \sqrt{(x + 2)}$; n = 72 para todas las variables, excepto área foliar donde n = 12.

*, **. ns: significancia estadística al 0.05, 0.01 y no significativa, respectivamente.

En relación a altura de planta, esta varió entre 45.4 a 54.5 cm a los siete meses después del injerto, Thomas y Duke 7 injertados con Hass y Fuerte fueron

estadísticamente iguales entre sí (Figura 1). Los cvs Hass y Fuerte injertados en Martín Grande tuvieron la misma altura de planta que Hass injertado en Thomas y Fuerte injertado en Duke 7. Lo anterior muestra el efecto de la interacción cultivar/portainjerto en el crecimiento de las plantas. En este sentido, Samaniego *et al.* (1999) al evaluar crecimiento de cuatro cultivares injertados sobre portainjertos criollos de la raza Mexicana y Guatemalteca reportaron diferencias entre cultivares en la altura de planta (60 a 126 cm de altura en el primer año). El cultivar Ensenada fue estadísticamente superior a Fuerte y San Miguel, y estos a su vez fueron superiores a Hass.

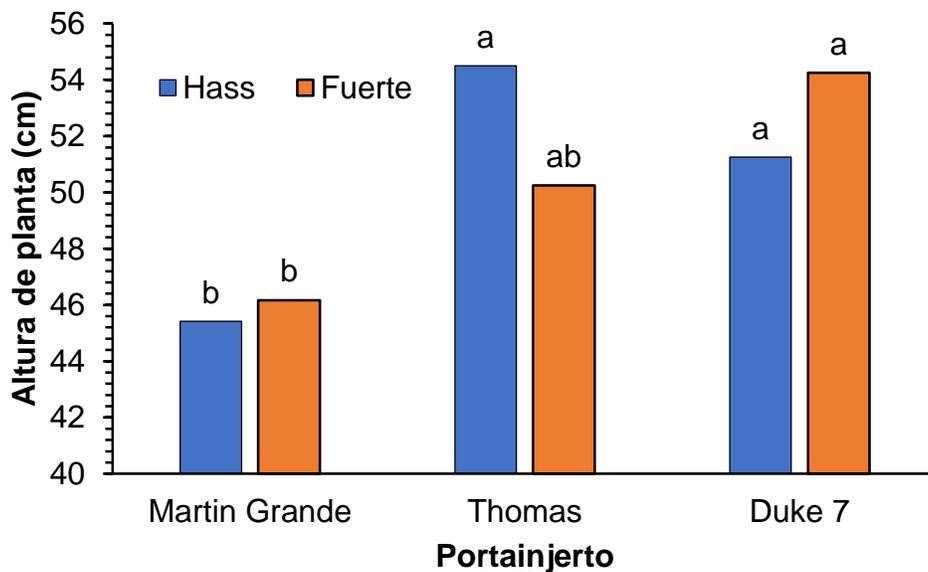


Figura 1. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en altura de planta de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

El número y tamaño de hojas es importante porque las hojas son responsables de realizar la fotosíntesis y producir los fotoasimilados. El número de hojas evaluado fue de 9.33 hasta 13.3 hojas por planta (Figura 2). Al usar Martín Grande como portainjerto, Fuerte presentó mayor número de hojas, en cambio, en Thomas, Hass presentó mayor número de hojas que Fuerte. En Duke 7, no hubo diferencias estadísticas entre cvs. Cabe indicar que Pillajo *et al.* (2013) encontraron 13.3 hojas por brote etiolado de aguacate injertados en Duke 7. Las diferencias observadas, se pueden deber a la edad de la planta, cultivar y portainjerto utilizado, tal como se observó en este trabajo, donde Martín Grande y Thomas producen más hojas en los cultivares injertados que Duke 7.

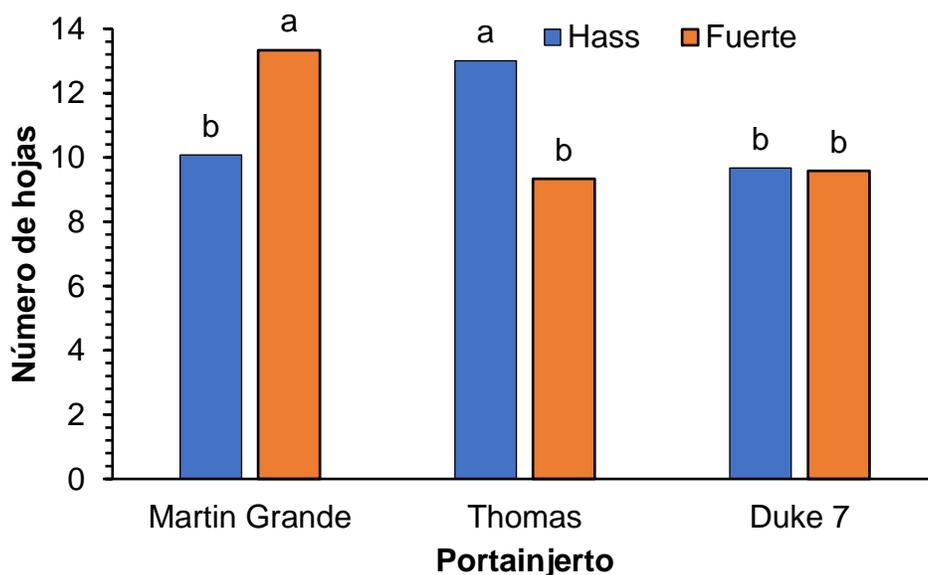


Figura 2. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en número de hojas de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Para diámetro de tallo la variación fue de 7.6 a 8.9 mm, Hass presenta el mismo diámetro de tallo, independientemente del portainjerto. En cambio, Fuerte presentó el mayor diámetro injertado sobre Martín Grande y el menor, cuando fue injertado sobre, Duke 7 (Figura 3). Samaniego *et al.* (1999) al evaluar el crecimiento de Hass y Fuerte injertados sobre portainjertos criollos de la raza Mexicana y Guatemalteca obtuvieron valores desde 4.5 mm hasta 8 mm respectivamente pero no encontraron diferencias estadísticas entre ellos, lo cual indica heterogeneidad alta. Estos valores son inferiores a los reportados en esta investigación y puede estar relacionado con la genética de los portainjertos utilizados.

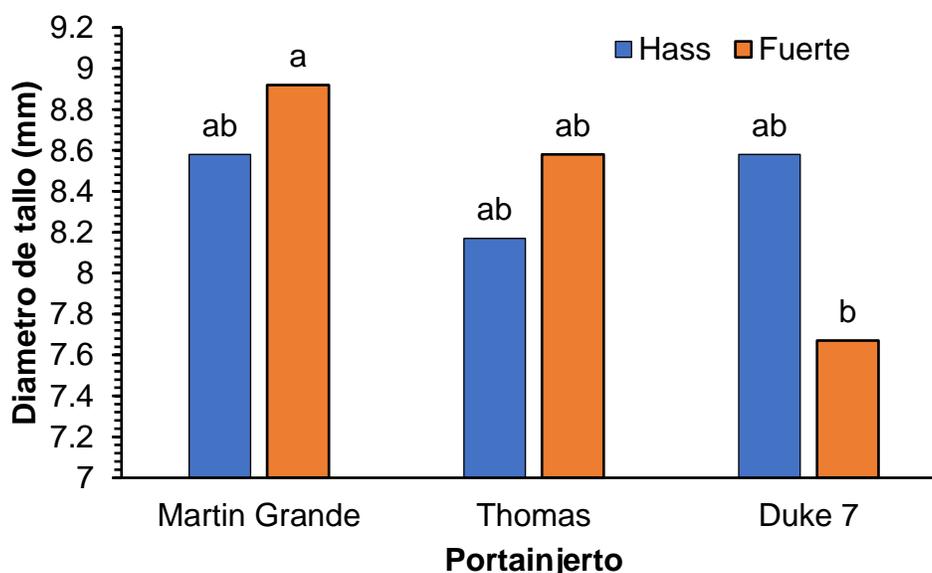


Figura 3. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en diámetro de tallo de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Los cultivares injertados tuvieron de 0 a 2 brotes. Hass el mayor número de brotes se obtuvo cuando fue injertado en Martín Grande y Thomas. Para Fuerte, el mayor número de brotes se obtuvo cuando fue injertado en Martín Grande y Duke 7 (Figura 4), al realizar un contraste ortogonal, Hass presentó mayor número de brotes que Fuerte ($p \leq 0.02$). Pillajo *et al.* (2013), al evaluar la respuesta en la producción de brotes, observaron 1.88 brotes a los 44 días después de injertado, sin embargo, en el presente trabajo se detectaron de 0 a 2 brotes. Estas variaciones se deben a que se evaluaron diferentes materiales y el periodo no fue el mismo.

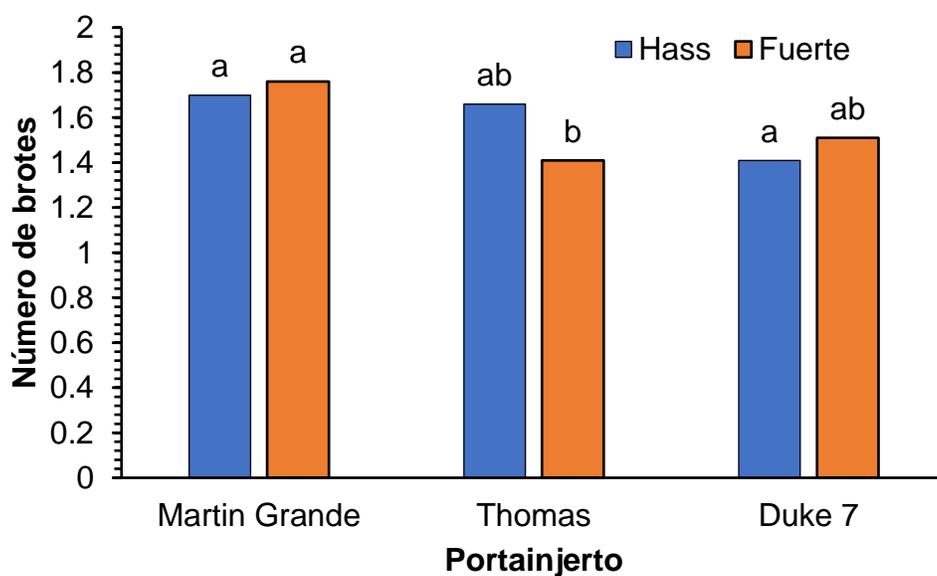


Figura 4. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en número de brotes de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Respecto al área foliar la variación fue de 607.1 a 1108.4 cm², Hass presenta la misma área foliar, independientemente el portainjerto en el que sea injertado. Mientras, el cv Fuerte presentó la mayor área foliar injertado en Martín Grande y la menor área foliar cuando se injertó en Duke 7 (Figura 5). El área foliar tiene mucha influencia en el crecimiento ya que es el órgano que realiza el proceso fotosintético Barrientos *et al.* (2003), al evaluar tres razas de aguacate, registraron 876.6 cm²/ hoja de la raza Antillana, 281 cm²/ hoja en la Guatemalteca y 292 cm²/ hoja en la Mexicana, en la presente investigación se observó en promedio 873.5 cm²/ hoja, debido a que se evaluaron materiales híbridos entre razas como Martín Grande (Mexicana x Guatemalteca) (984.3 cm²/ hoja), Thomas clon de raza Mexicana (842.9 cm²/ hoja) y Duke 7 origen de Raza Mexicana (710.2 cm²/ hoja) la diferencia encontrada puede ser a que el germoplasma son de orígenes diversos y así como las condiciones ambientales.

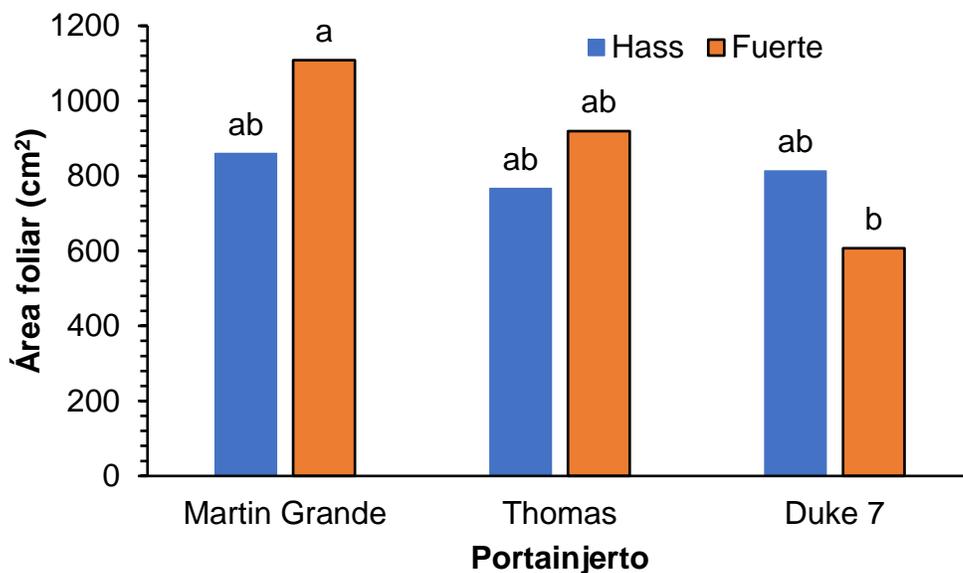


Figura 5. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en área foliar de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

En el Cuadro 2 se observa, la comparación de medias para las variables agronómicas donde todas son estadísticamente iguales a excepción de área foliar donde Fuerte es superior estadísticamente a Hass. En este sentido, Villalva-Morales *et al.* (2015) al evaluar nutrición química y orgánica en aguacate Hass y Fuerte injertado en portainjerto criollo encontraron que el cultivar Fuerte presenta mayor área foliar cuando se le aplica nutrición química más nutrición foliar lo cual coincide con esta investigación en que el cv Fuerte presenta mayor área foliar.

Cuadro 2. Efecto principal de los cultivares sobre algunas características agronómicas de plantas de aguacate a los siete meses después de injertados.

Variable	Hass	Fuerte	DMSH
Altura de planta (cm)	50.39 a	50.22 a	2.82
Número de hojas	10.92 a	10.75 a	0.89
Diámetro de tallo (mm)	8.44 a	8.39 a	0.39
Número de brotes ^z	1.59 a	1.56 a	0.11
Área foliar (cm ²)	860.10 b	1108.42 a	124.21

^z valor retransformado $x = y^2 - 2$. $n = 24$ para todas las variables, excepto área foliar, donde $n = 4$. Valores promedio a través medias con la misma letra por variable son estadísticamente iguales (Tukey. 0.05), DMSH: Diferencia mínima significativa honesta.

5.2 Variables fisiológicas

El análisis de varianza indica que todas las variables fisiológicas fueron afectadas significativamente por el portainjerto excepto en lecturas SPAD (Cuadro 3). Para el caso del cultivar, únicamente existieron diferencias significativas para clorofila, para la interacción cultivar/portainjerto resultaron no significativas todas las variables.

Cuadro 3. Suma de cuadrados y significancia de variables fisiológicas medidas en plantas de aguacate en vivero.

Variable	Fuente de variación			CV	Media
	Portainjerto	Cultivar	Interacción		
Lecturas					
SPAD	102.04 ns	238.35 *	180.57 ns	14.90	46.48
Fotosíntesis	25.597 **	0.244 ns	0.478 ns	33.19	4.67
Conductancia					
estomática	0.034 **	0.0007 ns	0.003 ns	56.89	0.085
Transpiración	26.75 **	0.33 ns	2.05 ns	43.72	2.96

n = 64 para todas las variables, excepto clorofila donde n = 72

*, **. ns: significancia estadística al 0.05, 0.01 y no significativa, respectivamente.

En relación a Lecturas SPAD, esta varió de 43.28 a 51.6 unidades spad, siete meses después del injerto, Hass presentó la misma Lectura SPAD, independientemente del portainjerto usado. A diferencia de Fuerte que presentó mayor Lectura SPAD injertado en Martín Grande y la menor, cuando se injertó, sobre Thomas y Duke 7. (Figura 6). En este sentido Márquez *et al.* (2017) al evaluar plantas juveniles de aguacate Hass en distintas condiciones de luz solar e injertado en portainjertos criollos de la raza antillana no encontraron diferencias significativas y obtuvieron valores desde 15 a 20 unidades spad, lo anterior puede deberse a que se evaluaron diferentes intensidades de luz, edad de la hoja, época del año, entre otras.

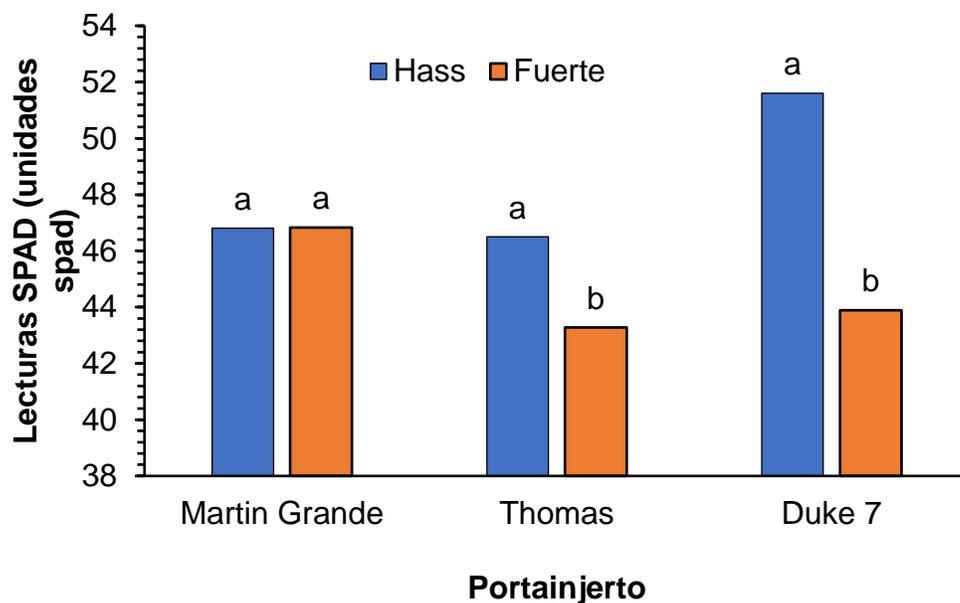


Figura 6. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en Lecturas SPAD de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

La fotosíntesis se puede evaluar de diversas maneras. La mejor forma, es cantidad de materia seca por planta, pero es un método destructivo, por lo que se han evaluado, sistemas que permiten estimar esta, tal es el caso del sistema portátil para medir fotosíntesis basado en un analizador de gases infrarrojo.

La tasa de fotosíntesis varió de $3.59 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ a $5.39 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, la mayor tasa de fotosíntesis se encontró en los cultivares injertados sobre Thomas, en tanto que la menor ocurrió en los cultivares injertados en Duke 7. Ambos cultivares se comportaron igual dentro de cada portainjerto (Figura 7). Ayala *et al.* (2010) evaluaron fotosíntesis en las combinaciones injerto-interinjerto-portainjerto criollo y, encontraron al usar Colín V-33 como interinjerto aumentó la fotosíntesis del cv

Fuerte de 3.13 (testigo sin interinjerto) a 5.53 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ y en Hass aumentó 3.70 a 4.96 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$. Esto, confirma el efecto del portainjerto (incluido interinjerto) en la tasa de fotosíntesis del cv injertado. Sin embargo, en general los datos no coinciden con los reportados por Barrientos-Villaseñor *et al.* (1999), para plantas francas de aguacate de diversas procedencias quienes reportan valores de 5.92 a 6.72 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ las diferencias pueden explicarse por el efecto de las condiciones ambientales prevalecientes en el invernadero.

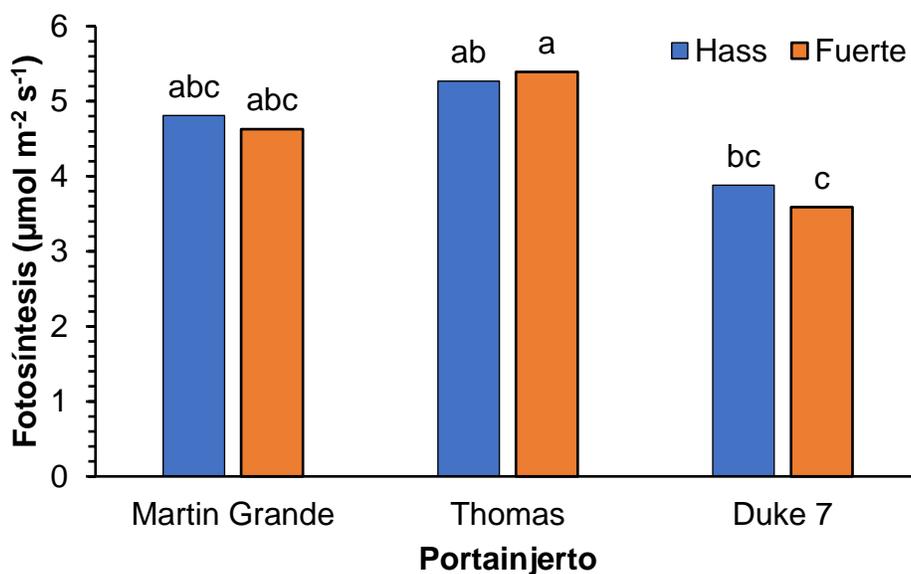


Figura 7. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en fotosíntesis de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Para el caso de conductancia estomática encontramos valores desde 0.04 a 0.11 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, donde Hass injertado con Martín Grande y Thomas obtuvo mayor conductancia estomática e injertado con Duke 7 presentó menor conductancia

estomática. En el cv Fuerte, la mayor conductancia estomática fue injertado con Thomas (Figura 8). Barrientos-Villaseñor *et al.* (1999) al evaluar la influencia del interinjerto Colín V-33 sobre algunos aspectos fisiológicos en aguacatero obtuvieron valores desde 0.03785 a 0.06569 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ sin diferencia estadística entre ellos, estos valores inferiores a los reportados en esta investigación se pueden atribuir principalmente al factor interinjerto, así como las condiciones ambientales.

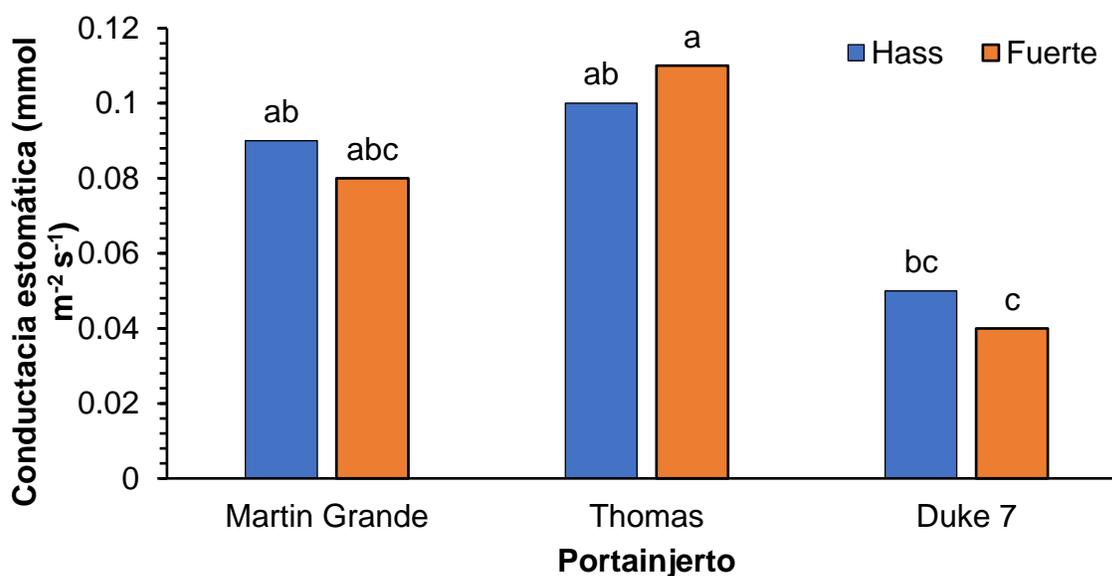


Figura 8. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en conductancia estomática de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

La variable transpiración para los cvs estudiados sobre los tres portainjertos comerciales obtuvimos valores desde 1.69 hasta 3.74 $\text{mmol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, donde encontramos que Hass presentó mayor Transpiración injertado en Martín Grande

y Thomas, la menor transpiración la obtuvo cuando se injerto con Duke 7, mientras el cv Fuerte injertado en Thomas y Martín Grande presentó mayor transpiración y menor cuando se injerto en Duke 7 (Figura 9). Ayala-Arreola *et al.* (2010), al evaluar las relaciones injerto-interinjerto en base a la transpiración en plantas de un año de edad observaron valores desde 1.30 a 1.60 mmol m⁻² s⁻¹, mientras que en esta investigación encontramos valores desde 1.97 a 3.58 mmol m⁻² s⁻¹, estas variaciones se deben principalmente al factor interinjerto evaluado por Ayala-Arreola *et al.* (2010) a diferencia de esta investigación.

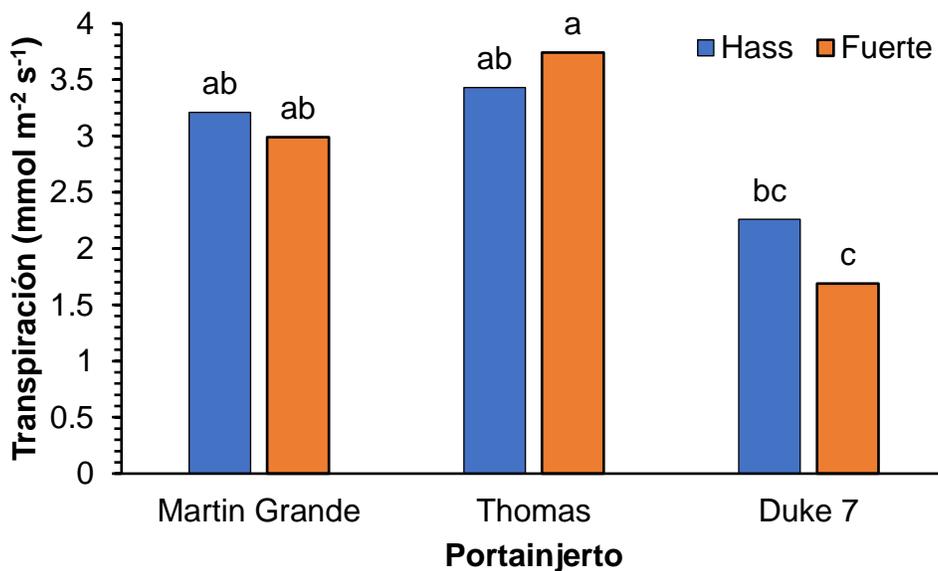


Figura 9. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en transpiración de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

5.3 Variables morfo-anatómicas

El análisis de varianza indica que las variables morfo-anatómicas fueron afectadas significativamente por el portainjerto, cultivar y por la interacción entre el cultivar/portainjerto (Cuadro 4).

Cuadro 4. Suma de cuadrados y significancia de variables morfo-anatómicas medidas en plantas de aguacate en vivero.

Variable	Fuente de variación			CV	Media
	Portainjerto	Cultivar	Interacción		
Frecuencia de estomas	52166.80 **	16203.27 **	27184.93 **	9.82	300.5
Tamaño de estomas	10.80 **	9.82 **	42.10 **	5.17	22.43
Frecuencia de tricomas	117.43 **	96.27 **	1.23 **	40.41	6.03

n = 60 para todas las variables

*, **. ns: significancia estadística al 0.05, 0.01 y no significativa, respectivamente.

Los estomas de aguacate son de forma arriñonada y se clasifican como anomocíticos y se encuentran en la superficie abaxial de las hojas de aguacate (L. del M. Ruiz, comunicación personal, noviembre 2018), en ninguna combinación encontramos estomas en la superficie adaxial (Figura 12). Su distribución es al azar sobre la lámina foliar. En lo que respecta a la frecuencia de estomas esta varió desde 254.2 a 367 estomas/mm² (Figura 10), donde el cv Hass presentó

mayor frecuencia de estomas injertado en Thomas y Duke 7, mientras que la menor frecuencia de estomas la obtuvo injertado en Martín Grande, Cabe decir que el cv. Fuerte presentó mayor frecuencia de estomas injertado en Thomas Duke 7 y menor frecuencia injertado con Martín Grande (Figura 10). Los resultados obtenidos muestran el efecto del portainjerto en la frecuencia estomática de Hass y Fuerte, los estomas tienen efecto en el intercambio gaseoso, es de esperarse que también afecta el transporte de fotoasimilados así como agua y nutrientes entre ambas partes. Barrientos-Priego *et al.* (2003) reportaron el índice y densidad estomática foliar de tres razas de aguacatero encontrando diferencias estadísticas en las tres razas: en la Antillana 287.2, estomas/mm², en la Mexicana, 365.2 estomas/mm² y en la Guatemalteca 307.6 estomas/mm².

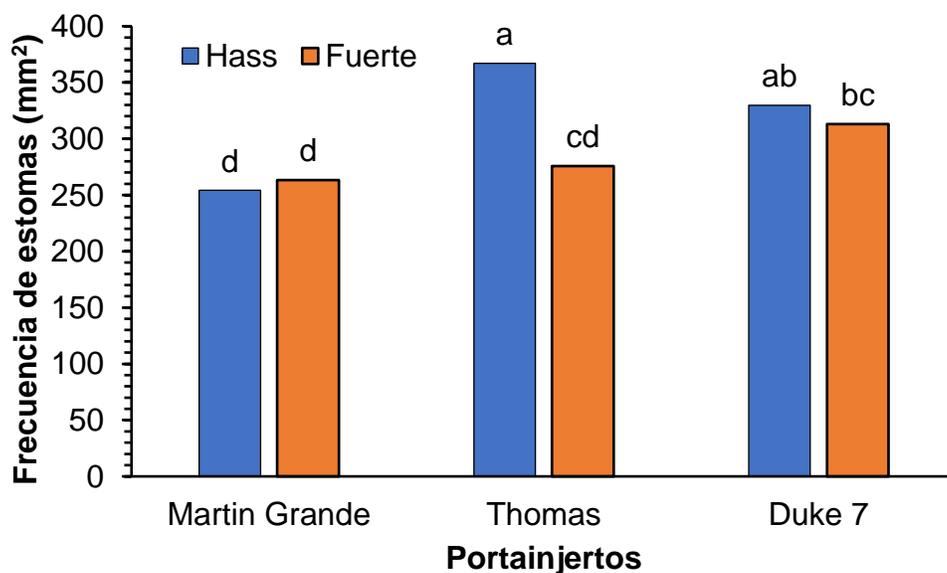


Figura 10. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en frecuencia de estomas de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Los cortes de lámina de hoja de los cultivares/portainjertos de aguacate muestran el estoma de cada combinación. Estos materiales presentan mucha cera epicuticular en ambas superficies (haz y envés) y estos son hipoestomáticas (Figura 12). El tamaño de estomas varió de 20.31 a 22.36 μm , Hass injertado en Martín Grande y Duke 7 presentó el mayor tamaño de estomas y en menor tamaño cuando se injerto en Thomas, mientras el cv Fuerte injertado en los tres portainjertos evaluados presentó el mismo tamaño de estomas (Figura 11). Barrientos-Priego *et al.* (2003) evaluarón el índice y densidad estomática foliar de tres razas de aguacatero encontrando diferencias estadísticas entre las tres razas donde la raza Mexicana (25.5 μm) fue superior a las otras razas (antillana, 22.9 μm y guatemalteca, 20.1 μm).

La respuesta observada, muestra que el portainjerto también afecta el tamaño de estomas y muestra el efecto de la interacción injerto/portainjerto.

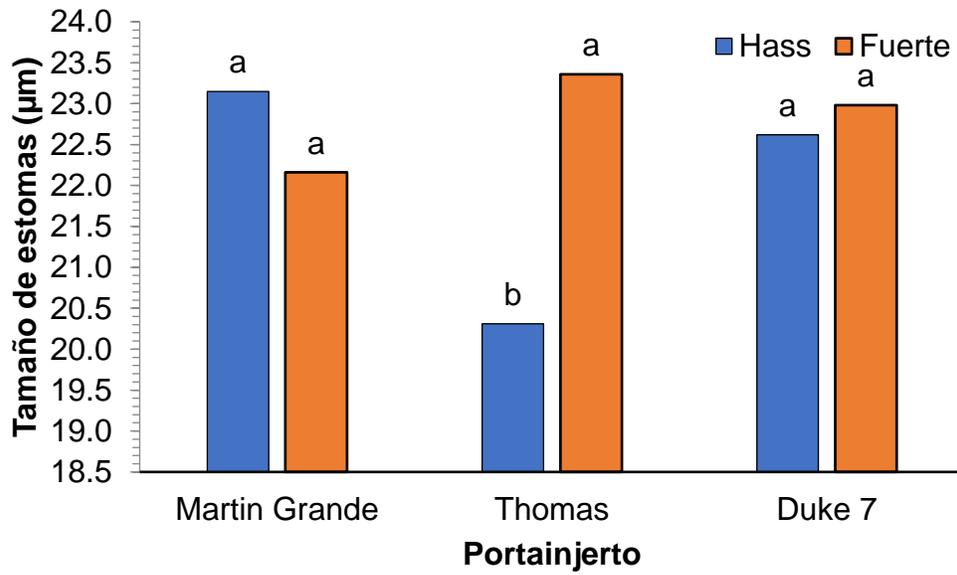


Figura 11. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en tamaño de estomas de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

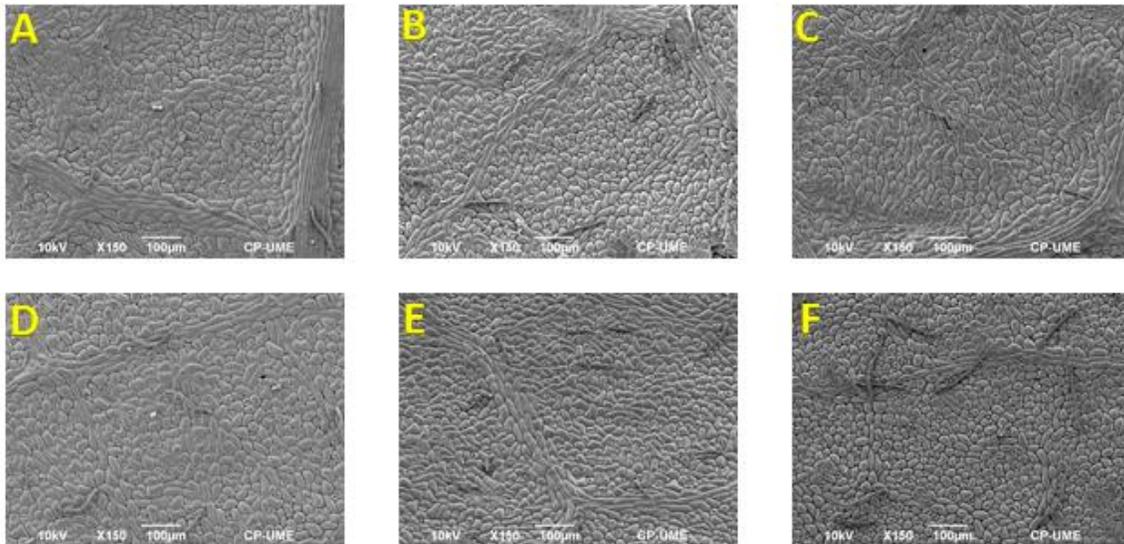


Figura 12. Micrografías de estomas de *Persea americana* obtenidas mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) a 40 kv de las siguientes cultivares/portainjertos, A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.

Para la variable frecuencia de tricomas, esta varió entre 3.4 a 9.4 a los siete meses después del injerto, donde la mayor frecuencia de tricomas en el cv Hass se obtuvo injertado con Thomas y Duke 7 y la menor frecuencia fue injertado en Martín Grande, para el cv Fuerte la mayor frecuencia de tricomas fue injertado en Duke 7 y la menor frecuencia de tricomas es cuando se injerta con Martín Grande y Thomas (Figura 13).

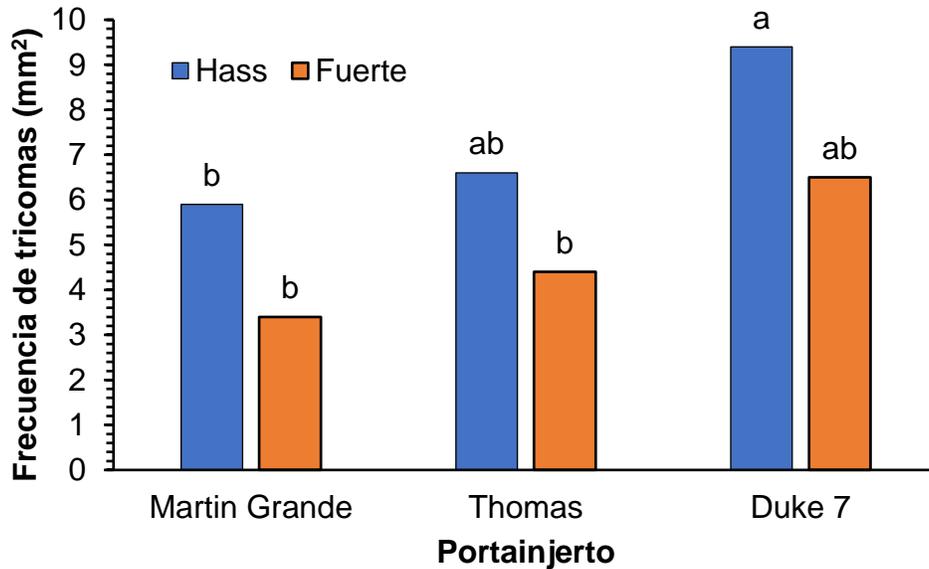


Figura 13. Efecto de la combinación cultivar/portainjerto en frecuencia de tricomas de aguacate a los siete meses de la injertación. Barras con la misma letra son estadísticamente iguales (Tukey, 0.05).

Los tricomas presentes en las hojas de aguacate del tipo unicelular (Figura 14) y en todos los tratamientos se encontraron distribuidos al azar en la superficie abaxial a excepción del tratamiento Hass/Duke 7 donde también se encontraron en la superficie adaxial. Generalmente, los tricomas se presentan en la superficie de la hoja que está más expuesta a la atmosfera. Los tricomas son estructuras que pueden servir como protección de las células epidérmicas contra la radiación solar además de que mantienen la capa frontera ante cambios ambientales lo que reduce la pérdida de agua por evapo-transpiración (González. 2013).

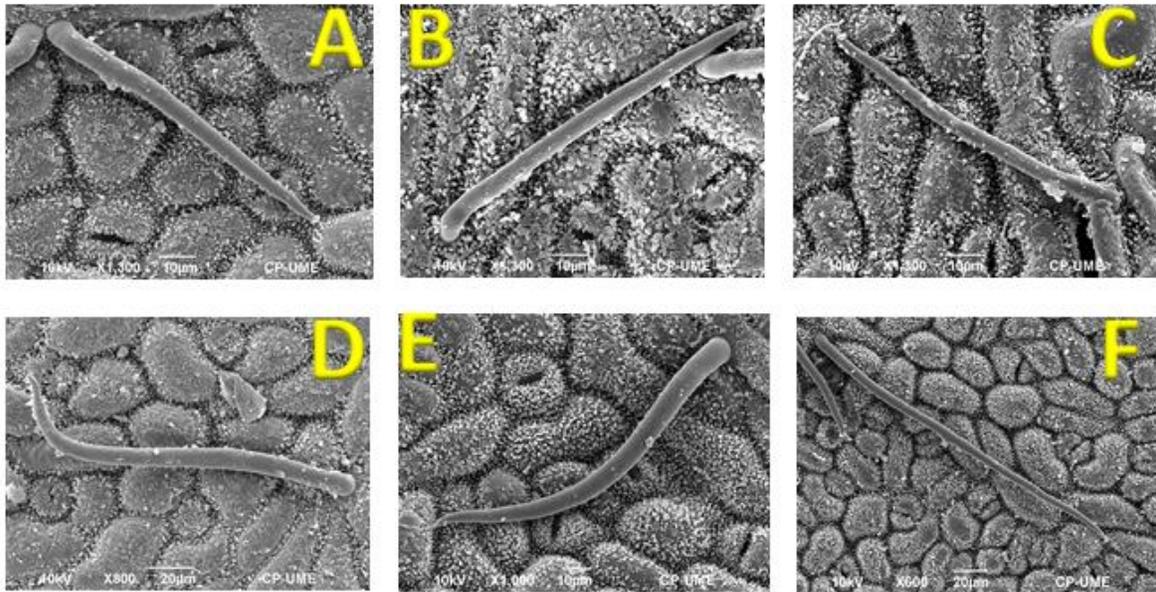


Figura 14. Micrografías de hojas de *Persea americana* obtenidas mediante MEB a 40 kv donde se observaron tricomas unicelulares en las siguientes cultivares/portainjertos A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.

Cuadro 5. Efecto principal del portainjerto sobre algunas características morfo-anatómicas del cultivar injertado de aguacate a los siete meses después de injertación.

Variable	Portainjerto			
	Martin Grande	Thomas	Duke 7	DMSH
Frecuencia de estomas	258.80 b	321.40 a	321.30 a	22.48
Tamaño de estomas	22.65 ab	21.84 b	22.80 a	0.88
Frecuencia de tricomas	4.65 b	5.50 b	7.95 a	1.86

n = 20 para todas las variables. Valores promedio de las variedades Hass y Fuerte en cada portainjerto. DMSH: Diferencia minima significativa honesta.

En frecuencia de estomas encontramos que la variedad Hass estadísticamente fue superior a la variedad Fuerte, en cambio para la variable de tamaño de estomas la variedad Fuerte fue superior estadísticamente a la variedad Hass, en relación a la frecuencia de tricomas la variedad Hass fue superior estadísticamente a la variedad Fuerte (Cuadro 6)

Cuadro 6. Efecto principal de los cultivares sobre algunas características morfo-anatómicas de plantas de aguacate a los siete meses después de injertación

Variable	Cultivares		
	Hass	Fuerte	DMSH
Frecuencia de estomas (#)	316.93 a	284.07 b	15.27
Tamaño de estomas (μm)	22.02 b	22.83 a	0.6
Frecuencia de tricomas (#)	7.30 a	4.77 b	1.26

n = 20 para todas las variables. Valores promedio a través de dos variedades.

DMSH: diferencia mínima significativa honesta

La cutícula es una cubierta formada principalmente por cutina, que aunque no es completamente impermeable, brinda una gran protección a los tejidos vegetales evitando la pérdida de agua por evapo-transpiración, además de ser barrera para la entrada de bacterias y hongos en cuanto su grosor podemos observar que Todos los tratamientos presentaron una capa cerosa externa a la planta que ayuda a la protección de la desecación que es expuesta, además de ser barrera para la entrada de bacterias y hongos en cuanto su grosor podemos observar que Hass/Duke 7 tiene 1.6 μm , mientras que Fuerte/Duke 7 tiene 1.4 μm , Hass/Thomas de 1.31 μm , Fuerte/Martín Grande de 1.3 μm , Fuerte/Thomas de 1.29 μm y Hass/Martín Grande de 1.26 μm (Figura 15). Al comparar los datos obtenidos sobre Hass en el estudio realizado por González *et al.* (2011) con los obtenidos en el presente estudio en grosor de cutícula, se puede apreciar los cultivares injertados en portainjertos de semilla criolla tienen mayor grosor que los injertados en portainjertos clónales, donde González *et al.* (2011) obtuvieron en el

cultivar Hass de 2.9 μm mientras que nosotros tenemos a Hass/Duke 7 un grosor de 1.6 μm .

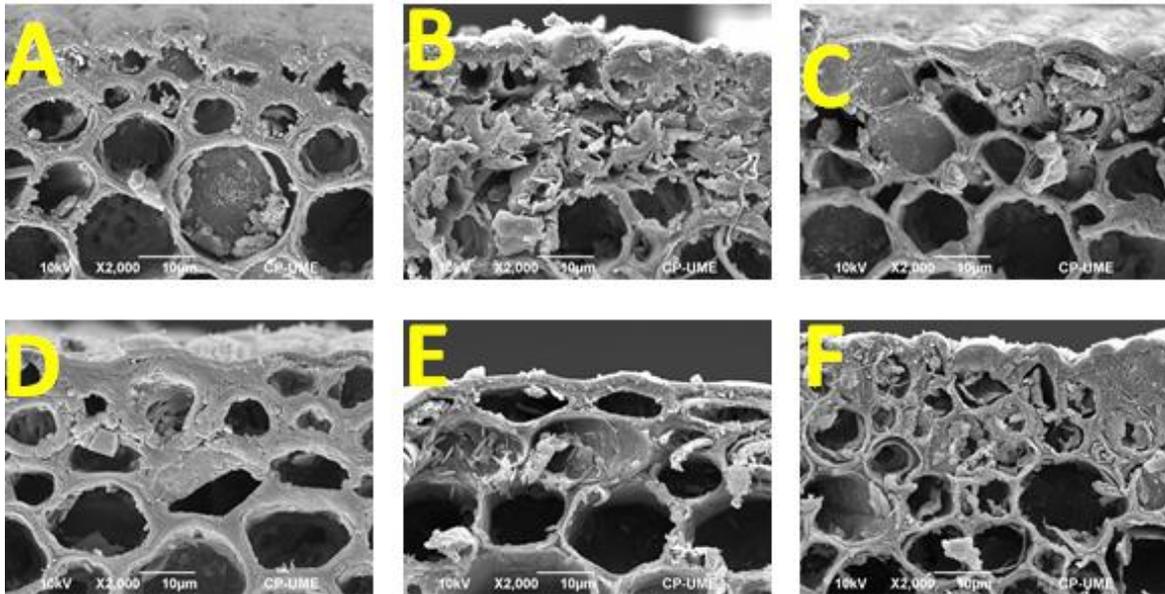


Figura 15. Micrografía de corte transversal de hojas de *Persea americana* obtenidas mediante microscopia de barrido (MEB) a 40 kv de los siguientes cultivares/portainjertos A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.

En la Figura 16 se muestran cortes transversales de hoja de aguacate de los 6 tratamientos estudiados donde se aprecia la forma y distribución de los haces vasculares. Los haces vasculares comunican todos los órganos del cuerpo de la planta, formado por dos tejidos: xilema (1), que conduce mayormente agua, y floema (2), que conduce principalmente sustancias orgánicas en solución. Solo hablamos de verdaderos tejidos conductores en las plantas vasculares. Su tejido presenta parénquima de la médula (3) en este caso la hoja es el órgano que capta la energía solar, realiza la fotosíntesis y es el principal responsable de la

regulación hídrica de toda la planta. Los tratamientos variaron en el tamaño de los vasos como podemos ver Hass/Martín Grande 32.5 μm , Fuerte/Martín Grande 18 μm , Hass/Thomas 34 μm , Fuerte/Thomas 27.8 μm , Hass/Duke 7 20.2 μm , Fuerte/Duke 7 24.3 μm . Los datos obtenidos por Meza-Castillo *et al.* (2018) para tamaño del sistema vascular para portainjertos de aguacate y su resistencia a factores adversos resulto superior a esta investigación ya que encontraron, valores desde 280.36 μm a 480.61 μm esto se atribuye a diferentes condiciones ambientales y materiales usados.

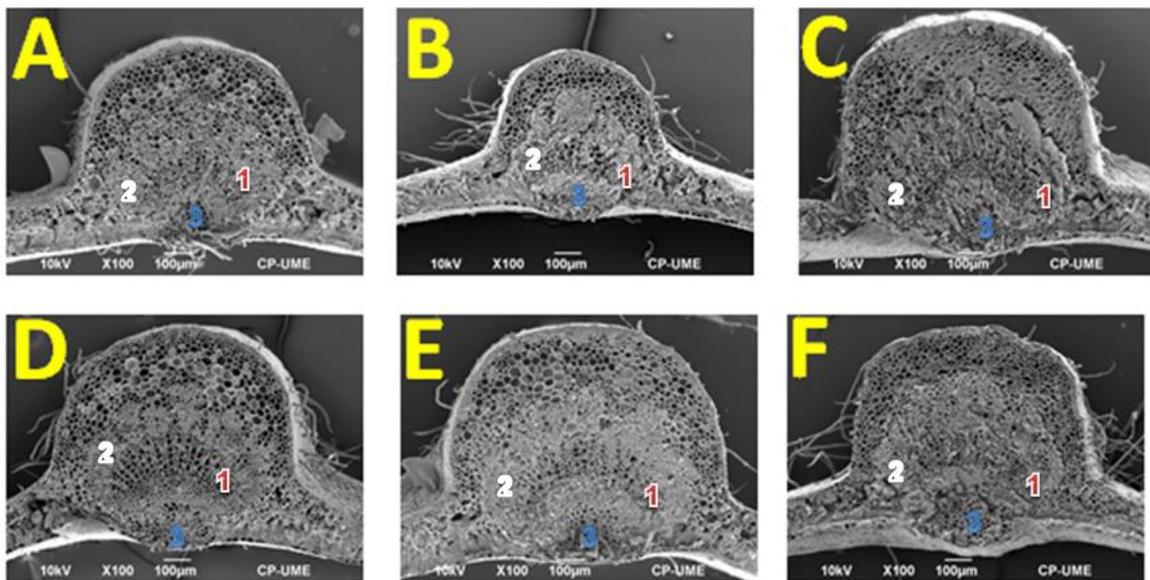


Figura 16. Micrografía de corte transversal de hoja de *Persea americana* obtenidas mediante microscopia de barrido (MEB) a 40 kv donde se aprecian los haces vasculares: 1: Xilema, 2: Floema, 3: parénquima de la médula, de los siguientes cultivares/ portainjertos A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.

Todos los tratamientos presentaron cristales de oxalato de calcio y el tratamiento Hass/Duke 7 también presentó carbonato de calcio, presentaron cristales de diferente forma pero con el contenido semejante. La producción de cristales es una característica genética de algunas plantas, sin embargo su cantidad puede ser afectada por las condiciones ambientales, de tal forma que las células del tejido vegetal no se encuentren expuestas a grandes cantidades que podrían ser tóxicos e interferir en los procesos metabólicos de las plantas. En este caso, los cristales de oxalato de calcio, se producen para evitar que grandes concentraciones de este ion llegue a los estomas interfiriendo con los movimientos estomáticos de apertura y cierre (Figuras 17y 18, Cuadro 7).

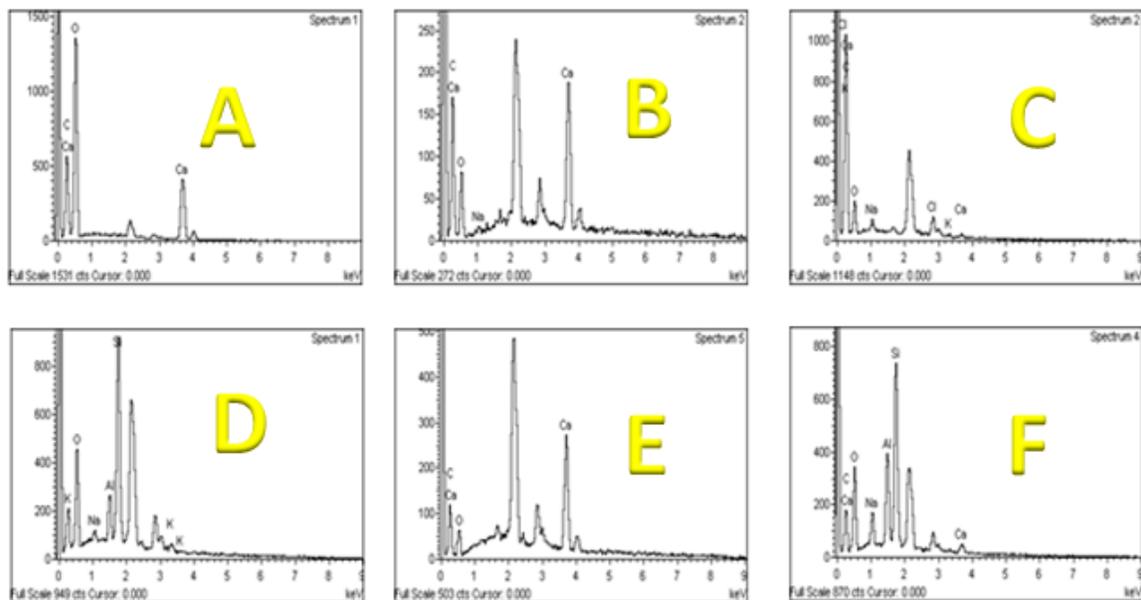


Figura 17. Cristales de *Persea americana* obtenidas mediante microscopia de barrido (MEB) de los siguientes cultivares/portainjertos A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.

Cuadro 7. Elementos minerales presentes en los cristales de los tratamientos.

	CK	O	Ca	Na	Al	Si
Hass/Martín						
Grande	14.66	59.77	25.57			
Fuerte/Martín						
Grande	20.59	27.18	51.53			
Hass/Thomas	60.7	27.61		2.4		
Fuerte/Thomas		40.13		1.91	8.67	44.9
Hass/Duke 7	12.83	21.36	65.81			
Fuerte/Duke 7	24.76	26.95	4.27	4.11	11.32	28.59

CK: niveles de energía de los elementos. O: oxígeno. Ca: calcio. Na: Sodio. Al: aluminio. Si: silicio.

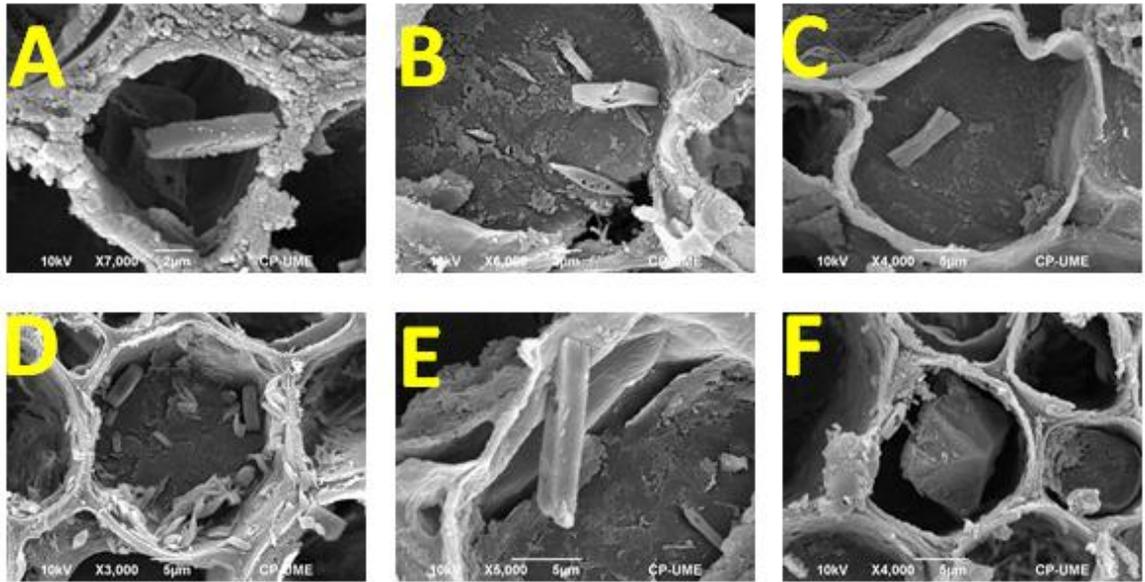


Figura 18. Micrografía de cristales de *Persea americana* obtenidas mediante microscopia de barrido (MEB) a 40 kv de los siguientes cultivares/portainjertos A: Hass/Martín Grande, B: Fuerte/Martín Grande, C: Hass/Thomas, D: Fuerte/Thomas, E: Hass/Duke 7 y F: Fuerte/Duke 7.

Observamos que las combinaciones con mayor vigor fenotípicamente pertenecieron al portainjerto Martín Grande, ya que presentó grosor mayor de tallo y Duke 7 obtuvo menor grosor, y con respecto a la unión podemos darnos cuenta que la unión se da por el sistema vascular, principalmente por el xilema ya que el floema pasa a ser tejido muerto (madera), en la Figura 19 nos podemos dar cuenta sobre las 6 combinaciones estudiadas teniendo la vista panorámica tanto del corte longitudinal y corte transversal donde podemos seguir al xilema y ver como es el que une tanto portainjerto con el injerto mientras que el floema pasa a ser madera, el mayor grosor de la corteza fue la combinación de Hass/Thomas y la de menor resultó para Fuerte/Martín Grande.

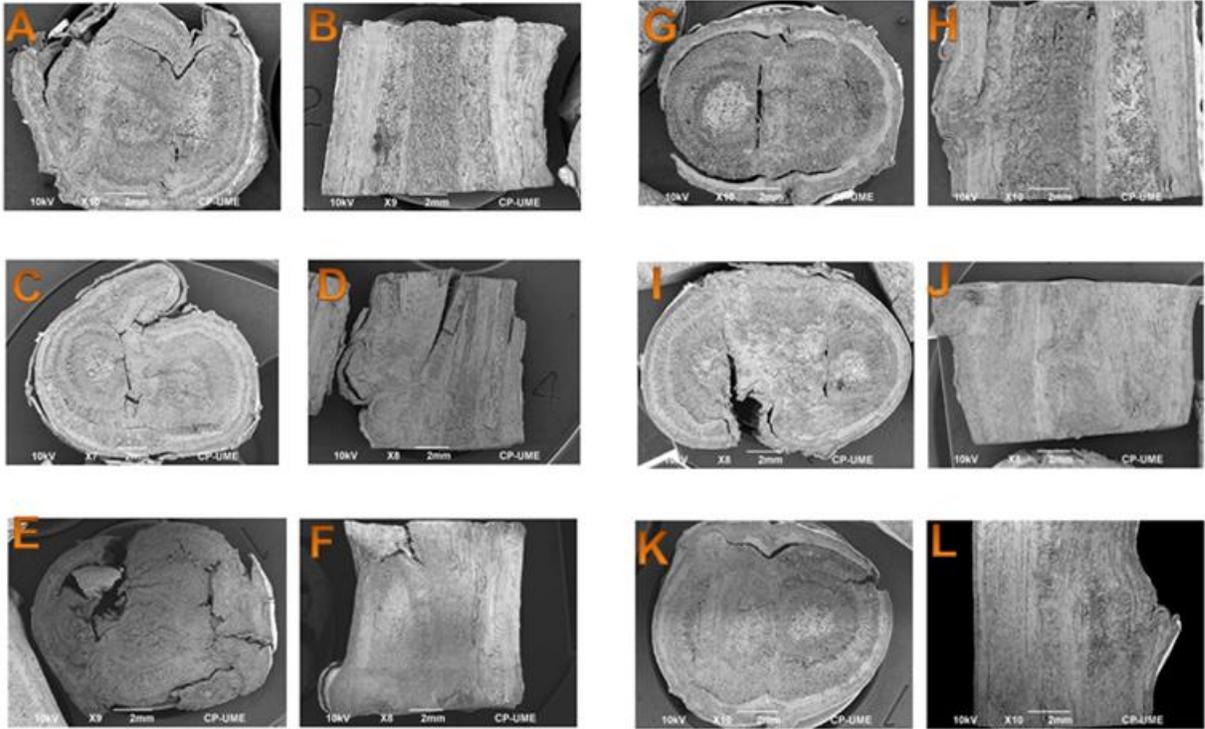


Figura 19. Micrografía de la vista panorámica de la unión de Variedad/Portainjerto de los seis tratamientos, Corte transversal (A (Hass/Martín Grande), C (Fuerte/Martín Grande), E (Hass/Thomas), G (Fuerte/Thomas), I (Hass/Duke7), K (Fuerte/Duke7)) y Corte Longitudinal (B (Hass/Martín Grande), D (Fuerte/Martín Grande), F (Hass/Thomas), H (Fuerte/Thomas), J (Hass/Duke7), L (Fuerte/Duke7)) de la unión de cultivar/portainjerto.

En la Figura 20 se aprecia la unión que se dio entre el portainjerto y el cultivar en el corte transversal. Las micrografías se tomaron a 30x, 50x, 100x y 200x con la médula al centro, seguida por el xilema y posteriormente el ritidoma (1a, 1c, 1e, 1g, 1i y 1k). Sólo madera (floema), xilema y parte de médula en (2a, 2c, 2e, 2g, 2i y 2k), en la Figura 20 (3a, 3c, 3e, 3g, 3i y 3k) vemos el xilema con sus vasos y

radios, así como el anillo de crecimiento, en (4a, 4c, 4e, 4g, 4i y 4k) solo apreciamos el xilema y sus vasos.

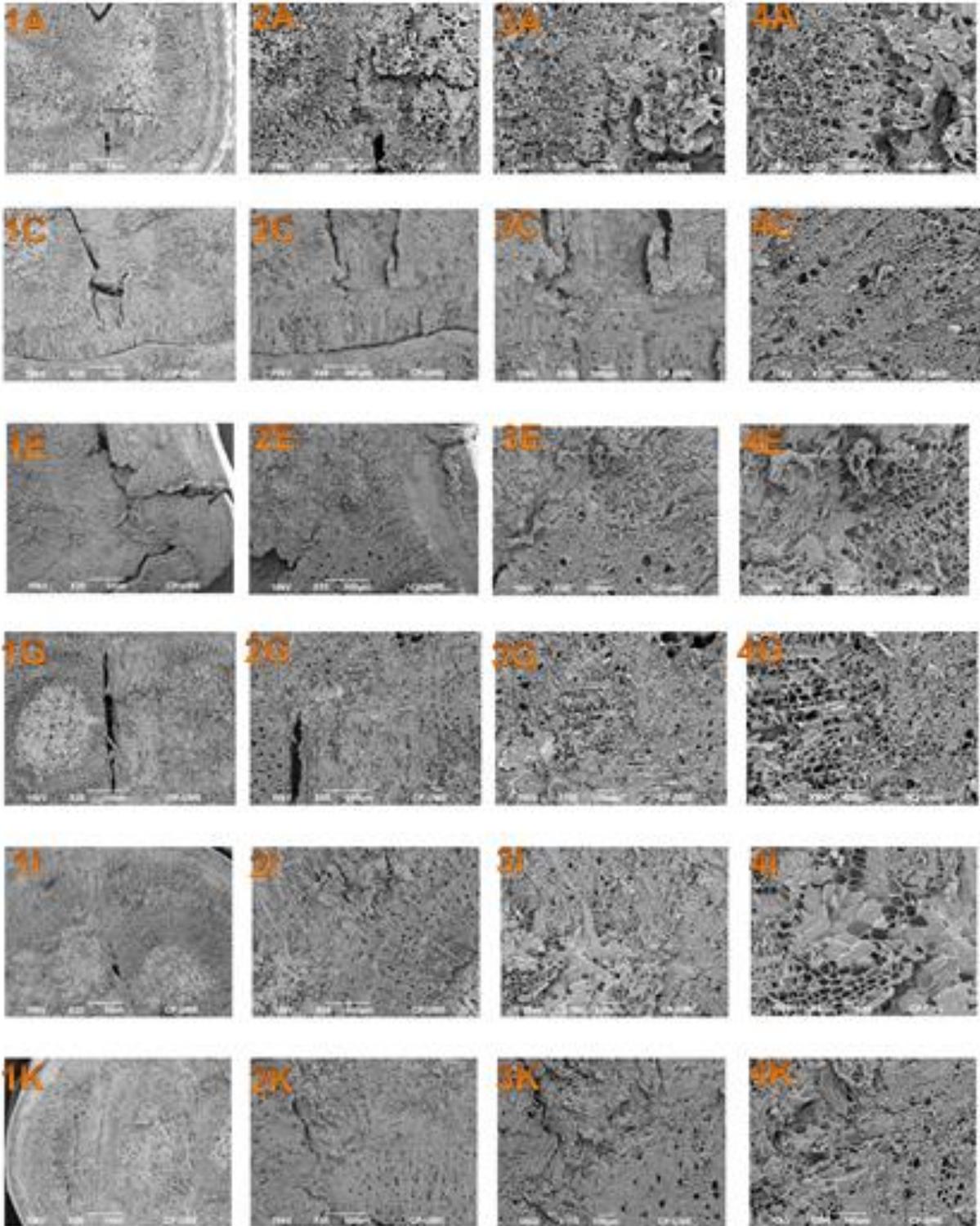


Figura 20. Corte transversal (A (Hass/Martín Grande), C (Fuerte/Martín Grande), E (Hass/Thomas), G (Fuerte/Thomas), I (Hass/Duke7), K (Fuerte/Duke7/))

En la Figura 21 se aprecia la unión entre el portainjerto y el cultivar en el corte longitudinal, podemos ver que las fotografías se tomaron a 30x, 50x, 100x y 200x observando la médula al centro, seguida por el xilema y posteriormente el ritidoma (1b, 1d, 1f, 1h, 1j y 1l), podemos apreciar solo madera o tejido muerto resultado del injerto (floema), xilema y parte de médula en (2b, 2d, 2f, 2h, 2j y 2l), en las figuras (3b, 3d, 3f, 3h, 3j y 3l) vemos el xilema con sus vasos y radios, en (4b, 4d, 4f, 4h, 4j y 4l) solo apreciamos el xilema y sus vasos.

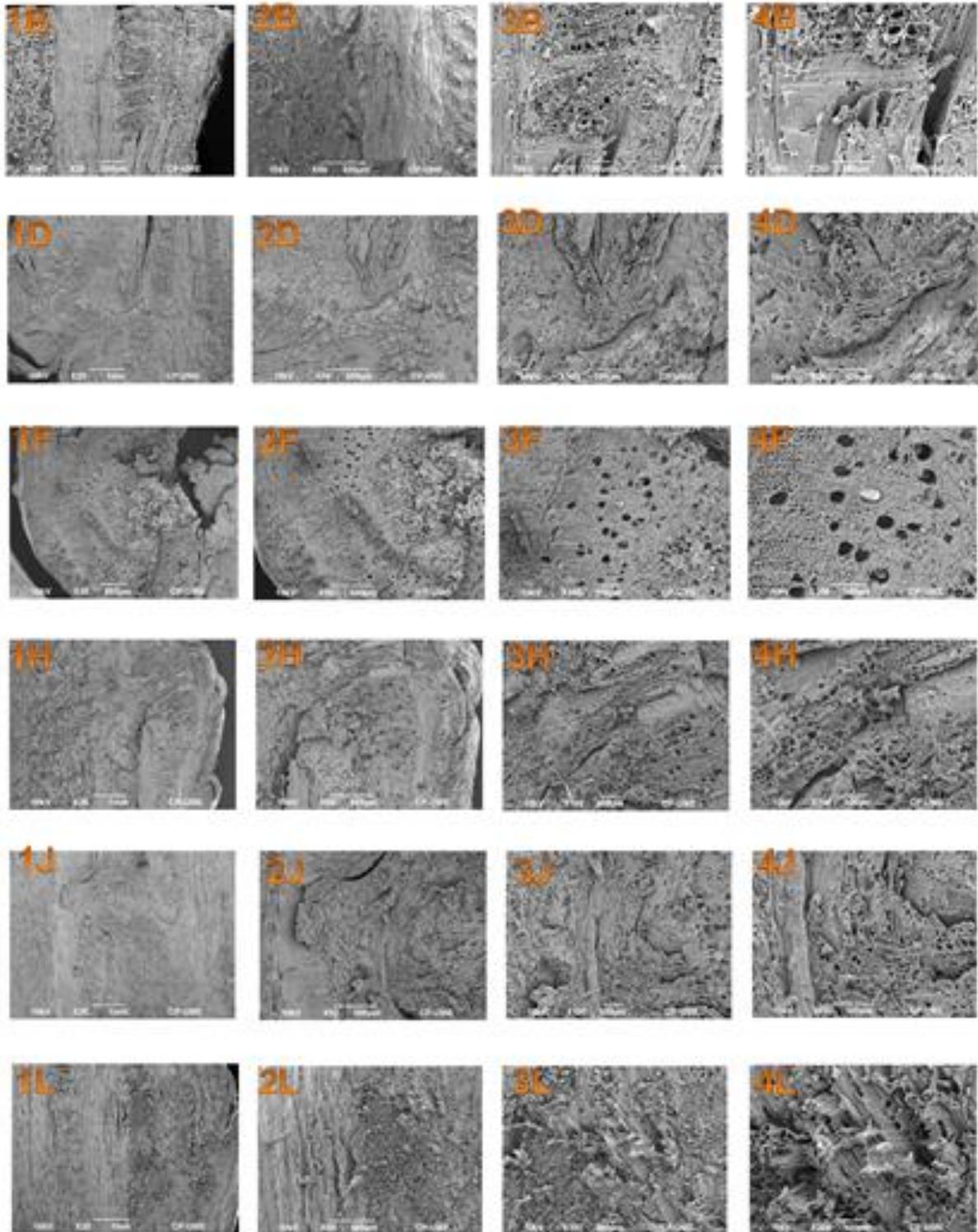


Figura 21. Corte Longitudinal (B (Hass/Martín Grande), D (Hass/Martín Grande), F (Hass/Thomas), H (Fuerte/Thomas), J (Hass/Duke7), L (Fuerte/Duke7))

6 CONCLUSIONES

La mejor combinación cultivar-portainjerto con base en las características agronómicas fue Fuerte injertado en Martín Grande.

La mejor combinación de cultivar-portainjerto con base a sus características fisiológicas fueron Hass injertado en Martín Grande y Thomas y Fuerte injertado en Martín Grande.

La mejor combinación de cultivar-portainjerto con base en sus características morfo-anatómicas fue Fuerte injertado en Duke 7.

La interacción cultivar/portainjerto en las seis combinaciones fue no significativa para lecturas SPAD, asimilación de CO₂, conductancia estomática y transpiración.

Morfo-anatómicamente los tres portainjertos son diferentes.

El portainjerto modificó de manera significativa elementos de vaso de la vena central, grosor de cutícula y ancho del sistema vascular.

En general el cv Hass presentó mayores modificaciones en anatomía y fisiología por efecto de los portainjertos estudiados.

7 LITERATURA CITADA

Aguilera P., M. 2007. Propagación de patrones de palto mediante acodo aéreo y esqueje. Memoria de título. Universidad de Chile, Facultad de Ciencias Agronómicas, Escuela de Agronomía. 16 p.

Alves O., A., Koller, O., C., Villegas M., A. 1999. Propagación vegetativa de aguacate selección 153 (*Persea sp.*) por acodo en contenedor. Revista Chapingo Serie Horticultura 5: 221-225.

Ayala A., J., Barrientos P., A., F., Colinas L., M., T., Sahagún C., J., Reyes A., J., C. 2010. Relaciones injerto-interinjerto y características anatómicas y fisiológicas de la hoja de cuatro genotipos de aguacate. Chapingo Serie Horticultura 18(2): 147-154.

Barrientos P., A., F., Borys M., W., Trejo C., López L., L., 2003. Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. Chapingo Serie Horticultura Vol. 24(4): 285-290.

Campos R., E., Ayala A., J., Andrés A., J., Espindola B., M., C. 2012. Propagación de aguacate.

Castañeda G., E., L. 2009. Búsqueda de portainjertos de aguacate tolerantes-resistentes a *Phytophthora cinnamomi* R.

Castro M., Fassio C., Darrouy N., 2007. Evaluación agronómica y propagación de nuevos portainjertos y variedades de palto en distintas zonas agroclimáticas de Chile.

Fassio C., Castro M., Darrouny N., Mamani J. 2007. Caracterización morfológica y anatómica de raíces de portainjertos de semilla y clonales de palto (*Persea americana* Mill).

Frolich E, F., and R. G. Platt. 1971. Use of the etiolation technique in rooting avocado cuttings. California Avocado Society 1971-72 Yearbook 55: 97-109.

González C., V., M., Barrientos P., A., F., Nuñez C., C., A., Ramírez R., S., P., Hofshi., R., Arpaia M., L. 2011. Anatomía de la lámina de hoja en ocho cultivares de aguacate. Chapingo Serie Horticultura Vol. 2, Núm. 5.

Muñoz P., R.B. y Rogel C., I. 1998. Ensayos sobre propagación clonal de portainjertos de aguacate. Fundación Salvador Sánchez Colín S.C., Coatepec Harinas, Estado de México. México. pp. 132-134.

Salazar G., S., Velasco C., J., J., Medina T., R., y J., R., Gómez A. 2004. Selecciones de aguacate con potencial de uso como portainjertos. II. Respuesta al enraizamiento mediante acodos. Revista Fitotecnia Mexicana 27(2): 183-190.

Téliz O., D., Mora A., A. 2007. El aguacate y su manejo integrado. Segunda edición. 2: 29-58

Zentmyer A., G., B. F. Guillement, K. m Harjun and I. A. Zaki. 1977. Resistance to Phytophthora Root Rot. California Avocado Society Yearbook. 61: 76-80.