

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**



Evaluación de las diferencias en la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en huertas de aguacate (*Persea americana* Mill.) orgánicas de 50 y 25 años, establecidas en Uruapan, Michoacán

Por:

**Inocencio Ricardo Lucio**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre de 2019.

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**

**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

Evaluación de las diferencias en la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en huertas de aguacate (*Persea americana* Mill.) orgánicos de 50 y 25 años, establecidas en Uruapan, Michoacán

Por:

**Inocencio Ricardo Lucio**

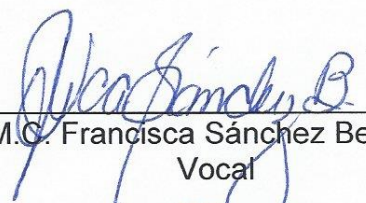
TESIS


Que se somete a la consideración de H. Jurado Examinador como requisito para obtener el título de:

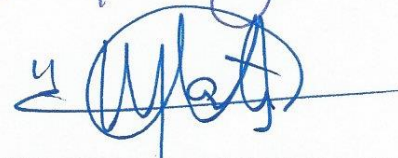
**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por:

  
M.C. Genoveva Hernández Zamudio  
Presidente

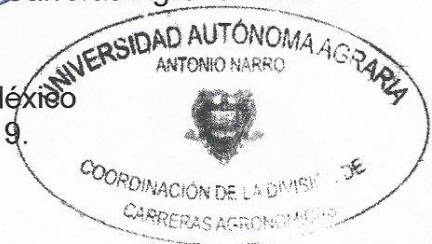
  
M.C. Francisca Sánchez Bernal  
Vocal

  
Dr. Alfredo Ogaz  
Vocal

  
M.E. Víctor Martínez Cueto  
Vocal Suplente

  
Dr. Isaías de la Cruz Álvarez  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre de 2019.



**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA**

Evaluación de las diferencias en la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en huertas de aguacate (*Persea americana* Mill.) orgánicos de 50 y 25 años, establecidas en Uruapan, Michoacán

Por:


**Inocencio Ricardo Lucio**

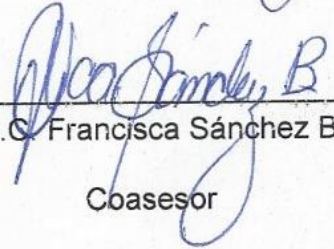
TESIS

Tesis presentada como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada por el Comité de Asesoría:

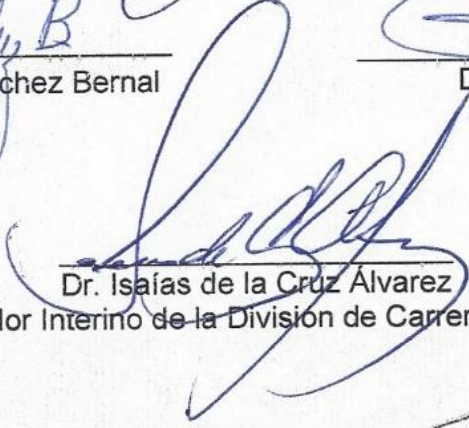
  
M.C. Genoveva Hernández Zamudio  
Asesor Principal

  
M.C. Francisca Sánchez Bernal

Coasesor

  
Dr. Alfredo Ogaz

Coasesor

  
Dr. Isaías de la Cruz Álvarez  
Coordinador Interino de la División de Carreras Agronómicas

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre de 2019



## AGRADECIMIENTOS

**Agradezco a Dios** por haberme acompañado y guiado durante mi carrera, por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida de experiencias y felicidad.

**A mi Alma Mater** por ser mi casa durante cuatros años y recibir formación profesional dentro de esta institución tan querida.

**A mis padres Marcelino Ricardo Luisa y Micaela Lucio Aurelia** por todo el esfuerzo que hicieron para poder cumplir uno de mis objetivos, por los valores que me han inculcado para ser mejor persona en la vida y por haberme dado la vida, la cual constituye la herencia más valiosa que pudiera recibir.

**A mis hermanos Alejo Ricardo, Antonino Ricardo y Marina Ricardo** por ser parte importante de mi vida, por apoyarme en aquellos momentos de necesidad, por llenar mi vida de alegrías y estar siempre para mí.

**A mi tía Victoria Ricardo** por su cariño y apoyo para lograr este objetivo.

**A mis sobrinos Antonio, Samuel, Isaías y David** por demostrarme siempre su cariño y saber que son los primeros en recibirme regresando a casa.

**A mi asesora M.C Genoveva Hernández Zamudio** por su conocimiento, enseñanza y colaboración para la realización de este proyecto.

**A la M.C. Francisca Sánchez Bernal, M.E. Víctor Martínez Cueto, Dr. Alfredo Ogaz** por sus apoyos en la realización de este proyecto.

**A mis amigos Edna Yolanda, Carmi Leticia, María Ortiz, Keila Casanova, Julissa Gómez, Fernando Cruz, Abdel Gabriel, Antonio Gallegos, Enehemias Gutiérrez, Santiago Cárdenas y Abimael Leal** por la amistad, cariño y confianza que me han dado, por todos los momentos vividos durante esta etapa de mi vida.

**A todas las personas** a quienes con su ayuda, apoyo y comprensión, me alentaron a lograr este objetivo.

## DEDICATORIAS

*A Dios por iluminarme en el camino y a nunca rendirme en la vida.*

*A mis padres con todo el amor y cariño, a quienes me han heredado el tesoro más valioso que puede dársele a un hijo, a quienes sin escatimar esfuerzo alguno, han sacrificado una gran parte de su vida para formarme y educarme.*

*A mi hermano Alejo por su amistad, cariño y confianza, por ser parte importante de mi vida.*

*A mi hermano Antonino por su comprensión y confianza, por su amistad incondicional, porque sin su apoyo no hubiera sido posible la culminación de la carrera profesional.*

*A mi hermana Marina a quien quiero con todo mi corazón, quien ha sido una persona muy especial para mí, quien siempre está para alegrarme la vida, quien ha sido una guerrera y que ha sabido enfrentar la vida.*

## RESUMEN

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una especie perteneciente familia de las Lauráceas. Las micorrizas se encuentran presentes en los hábitats naturales de donde el aguacate es nativo. La raíz del aguacate carece de pelos radicales, es probable que esta carencia se deba a la abundancia de humedad y materia orgánica en los bosques tropicales en los que evolucionó este frutal, por lo cual la simbiosis con los hongos micorrízicos es esencial. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos rizósferico simbióticos de más del 80 % de las plantas. El efecto benéfico de los HMA (definido como efectividad) en la promoción del crecimiento y/o nutrición de las plantas parece estar definido por la diversidad de especies y por la procedencia de su aislamiento. El objetivo fue determinar la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en dos huertos de aguacate orgánico, ubicados en Uruapan, Michoacán. Se determinó el porcentaje de micorrización y la obtención de morfotipos. Se encontraron 5 morfotipos de HMA y un mayor porcentaje de micorrización.

**Palabras clave:** Aguacate (*Persea americana* Mill), Hongos micorrízicos, Diversidad, Producción orgánica y Morfotipos.

## ABSTRACT

The avocado (*Persea americana* Mill.) is a species belonging to the Lauraceae family. Mycorrhizae are present in natural habitats where avocado is native. The root of the avocado lacks radical hair, it is likely that this lack is due to the abundance of moisture and organic matter in the tropical forests in which this fruit evolved, so the symbiosis with mycorrhizal fungi is essential. Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are symbiotic rhizosphere microorganisms of more than 80% of plants. The beneficial effect of AMF (defined as effectiveness) in the promotion of plant growth and / or nutrition seems to be defined by the diversity of species and the origin of their isolation. The objective was to determine the diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in two organic avocado orchards, located in Uruapan, Michoacán. The percentage of mycorrhization and the obtaining of morphotypes were determined. 5 HMA morphotypes and a higher percentage of mycorrhization were found.

Keywords: Avocado (*Persea americana* Mill.), Mycorrhizal fungi, Diversity, Organic Production and Morphotypes.

## INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS .....	i
DEDICATORIAS .....	ii
RESUMEN .....	iii
ABSTRACT.....	iv
INDICE GENERAL .....	v
INDICE DE CUADROS.....	vii
INDICE DE FIGURAS .....	viii
I. INTRODUCCION .....	1
1.1 Objetivo general .....	4
<b>1.1.2 Objetivos específicos</b> .....	4
1.2 Hipótesis .....	4
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	5
2.1 Origen del aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill.).....	5
2.1.1 Historia .....	5
2.2 Clasificación taxonómica del aguacate .....	6
2.3 Producción .....	7
2.3.1 Importancia económica .....	8
2.3.2 Características de la floración en aguacate.....	9
2.4 Micorrizas .....	10
2.4.1 Las micorrizas arbusculares .....	11
2.4.2 Hongos formadores de MVA .....	11
2.4.3 Clasificación de las de micorrizas .....	12
2.5 Estructura de los HMA .....	13
2.5.1 Esporas .....	13
2.5.2 Vesículas .....	14
2.5.3 Arbúsculos .....	14
2.5.4 Hifas .....	14
2.6 Importancia de las micorrizas .....	15
2.6.1 Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares .....	16
2.6.2 El uso de los HMA en los agroecosistemas.....	16
2.6.3 Ventajas de las micorrizas en los agroecosistemas.....	17



2.6.4 Factores que afectan la colonización de micorrizas en campo .....	18
2.6.5 Aportaciones de la micorriza a los cultivos agrícolas .....	19
2.7 Agricultura orgánica .....	20
2.7.1 Agricultura orgánica en México .....	20
2.7.2 Importancia de la agricultura orgánica .....	21
III. MATERIALES Y METODOS .....	22
3.1 Localización del área de estudio .....	22
3.2 Muestreos .....	22
3.2.1 Raíces .....	22
3.2.2 Suelos rizósferico .....	23
3.3 Porcentaje de micorrización .....	24
3.4 Aislamiento de esporas .....	25
3.5 Análisis estadísticos .....	25
IV. RESULTADO Y DISCUSIÓN .....	26
V. CONCLUSION .....	28
VI. REFERENCIAS .....	29

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 1 .Clasificación taxonómica del aguacate ( <i>Persea americana</i> Mill.)...7	
Cuadro 2. Porcentaje de micorrización entre los dos huertos de aguacate orgánico. ....26	
Cuadro 3. Promedio de los morfotipos de 5 muestras obtenidas en dos huertos. ....26	

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución del aguacate después de la conquista en el mundo hasta antes de 1915 Modificado de Smith <i>et al.</i> (2018).....	6
Figura 2 Ubicación de las áreas de muestreos. ....	22
Figura 3. Muestras de raíces de la rizósfera de aguacate. ....	23
Figura 4. Recolección de muestras. ....	23
Figura 5. Muestras de suelo de la rizósfera de aguacate. ....	24

## I. INTRODUCCION

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una especie perteneciente familia de las Lauráceas (Kubitzki *et al.*, 2013). Se reconocen actualmente alrededor de 190 especies del género *Persea*, siendo casi exclusivamente americano y considerándose a México como el centro de origen del mismo (van der Werff, 2002).

Datos de la SAGARPA indican que hasta diciembre de 2018 los estados con mayor superficie sembrada son: Michoacán (166 512 hectáreas), Jalisco con 22, 534 ha y Nayarit (22, 534 ha) en cuanto a producción también Michoacán es el estado mexicano numero con 1, con 668, 356 toneladas producidas seguido por Jalisco y el estado de México con 202, 180 y 105, 208 toneladas producidas durante el 2018 respectivamente.

La raíz del aguacate carece de pelos radicales, es probable que esta carencia se deba a la abundancia de humedad y materia orgánica en los bosques tropicales en los que evolucionó este frutal (Salazar-García, 2002). Sus raíces son superficiales, lo que determina la susceptibilidad que posee el árbol al exceso de humedad que induce asfixia y ataque de hongos que pudren los tejidos (Hernández Montiel y Escalona Aguilar, 2003).

Existen microorganismos que favorecen la nutrición y productividad de los cultivos sin afectar el ecosistema. Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son biótrosos obligados de plantas que favorecen el crecimiento radical, con un consecuente aumento en la absorción de agua y nutrientes (Gañán *et al.*, 2011).

Las micorrizas se encuentran presentes en los hábitats naturales de donde el aguacate es nativo (Bárcenas *et al.*, 2006; Ginsburg y Avizohar-Hershenson, 1965; Haas y Menge, 1990). Favorecen el contenido de clorofila y de elementos en el tejido foliar (Díaz Franco *et al.*, 2016). Los HMA confieren tolerancia a salinidad (Medina-García, 2016) y sequía mediante la alteración de los perfiles hormonales de las plantas.

La diversidad de los HMA influye en la productividad de las comunidades vegetales de los ecosistemas naturales y agrícolas (Lovera y Cuenca, 2007). En la producción de frutales, la fertilización mineral puede reducirse hasta 25% al utilizar microorganismos benéficos (Ramos *et al.*, 2013; Simó González *et al.*, 2015). Aparentemente, no existe especificidad taxonómica en la simbiosis (Lovera y Cuenca, 2007); sin embargo, mediante estudios de biología molecular se ha demostrado que algunas plantas son colonizadas preferencialmente por ciertas especies de HMA (Vandenkoornhuyse *et al.*, 2002). Es por ello que conocer la diversidad de estos hongos es importante y si existe diferencias entre huertos jóvenes y viejos.

Los hongos que forman micorriza arbuscular tradicionalmente se habían clasificado dentro de la clase Zygomycetes; en (Morton, 1990), incluyeron estos hongos en el orden Glomales con seis géneros en tres familias y dos subórdenes. (Schüßler y Walker, 2010) propusieron una nueva clasificación para los HMA, esta propuesta estuvo basada en características morfológicas, moleculares y evolutivas de las esporas de estos hongos, por las que tanto los HMA como el hongo endocitobiótico *Geosiphon pyriforme*, fueron separados del Phylum Zygomycota, para ubicarse en un nuevo

Phylum denominado Glomeromycota, más relacionado con Basidiomycota y Ascomycota que con Zygomycota (Schüßler y Walker, 2010).

Por lo que los HMA son un apoyo importante para la producción agrícola con enfoque sustentable. En huertos de aguacate es necesario conocer la diversidad de este tipo de microorganismos, conocimiento que podría contribuir a la generación de estrategias adecuadas para su conservación, manejo y utilización (Chimal-Sánchez *et al.*, 2016).

## **1.1 Objetivo general**

Determinar la diferencia en la diversidad de hongos micorrízicos arbusculares en dos huertos de aguacates orgánicos de diferentes edades, ubicados en Uruapan, Michoacán.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar el porcentaje de micorrización en raíces de aguacate orgánico.
- Determinar la diversidad de esporas de hongos micorrízicos arbusculares en aguacate orgánico.

## **1.2 Hipótesis**

Existe un alto porcentaje de micorrización y diversidad de hongos micorrízicos arbusculares entre dos huertos de aguacate orgánico.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1 Origen del aguacate (*Persea americana* Mill.)

El aguacate es originario de las áreas montañosas del centro y este de México, y de las partes altas de Guatemala (Williams, 1977), de donde se ha distribuido al resto del mundo (Gutiérrez-Díez *et al.*, 2015). En la actualidad se reconocen tres razas: la Mexicana (*Persea americana* var. *drymifolia*), la Guatemalteca (*P. americana* var. *guatemalensis*) y la Antillana (*P. americana* var. *americana*). Estas tres razas se pueden diferenciar sobre la base de sus características morfológicas, fisiológicas y de cultivo (Janick y Moore, 1996; Smartt y Simmonds, 1995).

La raza Mexicana incluye variedades nativas con nombres locales, las cuales producen frutos que se consumen y comercializan localmente; también se utilizan como pie de injerto para el cultivar 'Hass', que es el más distribuido en el mundo y México es el principal exportador a nivel mundial (SAGARPA, 2007).

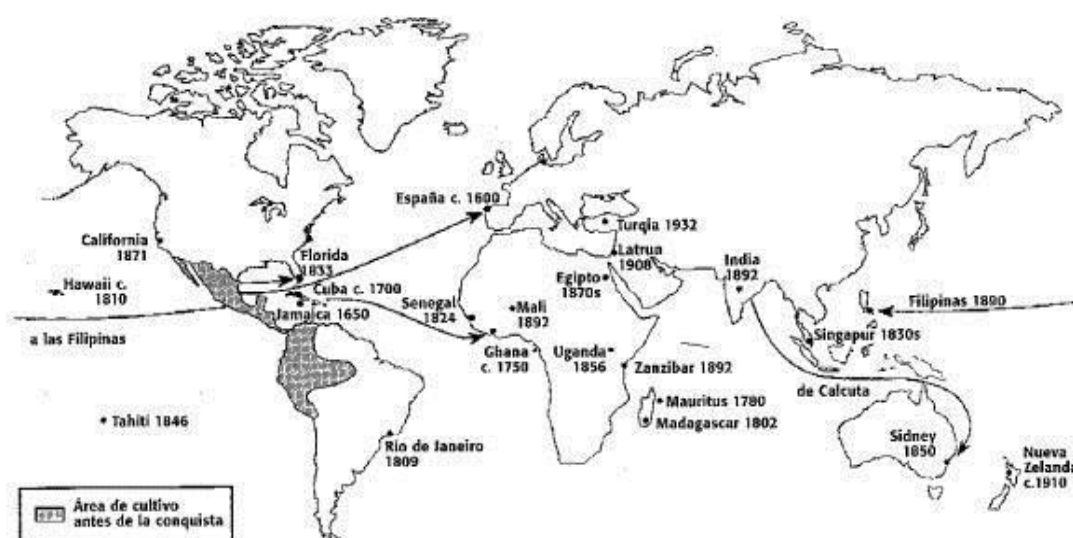
#### 2.1.1 Historia

El aguacate era bien conocido por el hombre desde tiempo atrás, ya que la evidencia más antigua del consumo de aguacate fueron encontrados en una cueva en Coxcatlán, región de Tehuacán, Puebla, México, datados entre los años 8,000-7,000 B.C. (Smith, 1966).

Después de la conquista los Españoles llevaron el aguacate a España en 1600 y posteriormente comenzó la distribución del aguacate a nivel mundial México es uno de los países con amplia diversidad de tipos de aguacate y existen en el país al menos 20 diferentes especies relacionadas con el



aguacate. Esta gran variabilidad puede ser debida a diferentes condiciones ambientales presentes a lo largo y ancho del territorio nacional y a la naturaleza que le ha conferido al aguacate, mecanismos que hacen maximizar el cruzamiento con otros tipos, y por lo tanto incrementa la variabilidad genética y por ende ampliar la adaptación a un mayor número de ambientes (Bergh, 1992).



**Figura 1.** Distribución del aguacate después de la conquista en el mundo hasta antes de 1915 Modificado de Smith *et al.* (2018).

## 2.2 Clasificación taxonómica del aguacate

El aguacate pertenece a la familia Lauraceae y en la actualidad el género *Persea* contiene alrededor de 85 especies, y la mayoría se encuentran desde el sur de los Estados Unidos de Norteamérica (*Persea borbonia*) hasta Chile (*Persea lingue*) (Barrientos-Priego y López-López, 2000).

### **Cuadro 1** .Clasificación taxonómica del aguacate (*Persea americana* Mill.)

---

<b>Reino:</b>	Plantae
<b>División:</b>	Magnoliophyta
<b>Clase:</b>	Magnoliopsida
<b>Orden:</b>	Lurales
<b>Familia:</b>	<i>Lauraceae</i>
<b>Género:</b>	<i>Persea</i>
<b>Especie:</b>	<i>Persea americana</i>

---

**Fuente:** [www.ecured.cu](http://www.ecured.cu) › Aguacate

En México existen 26 especies del género *Persea* Mill., las cuales tienen como principal zona de distribución el sureste del país (Campos *et al.*, 2008), y Chiapas es el estado con mayor diversidad de especies, tanto del subgénero *Persea* como *Eriodaphne*, seguido de Oaxaca y Veracruz (Martínez *et al.*, 2016).

### **2.3 Producción**

La producción nacional de aguacate ha mostrado una tendencia creciente en cuanto a superficie cultivada y volumen de producción. En 2010, se reportó una superficie de 122,348 hectáreas plantadas con un predominio superior al 90% de la variedad Hass, la cual destaca por su demanda a nivel mundial (Naamani, 2007).

La variedad Hass es el principal cultivo comercial en el mundo, es el aguacate mayor demandado a nivel mundial; actualmente representa cerca del 80 % de toda esta fruta que se produce en el mundo y la que más se cultiva en México. El cultivo comercial de aguacate Hass representa una

oportunidad atractiva de negocio, siempre que se considere el manejo técnico adecuado en relación al paquete tecnológico propicio a cada zona de producción y, que el mercado del consumidor final esté asegurado. Adicionalmente, cualquier productor comercial debe saber que durante los primeros tres años y medio de inicio de la plantación, solo se incurre en egresos (costos y gastos), pues hasta entonces ocurre la primera producción comercial (Almanza, 2010).

### **2.3.1 Importancia económica**

Los últimos 25 años de la economía mundial, se han caracterizado por numerosos avances científicos y tecnológicos, que han modificado los patrones de consumo, producción y comercialización, creándose una fuerte interdependencia que engloba al total de actividades de un sector económico, ya sea en lo local o mundial (Gómez, 2006). En México, la producción y comercio de frutas y hortalizas se ha convertido en el subsector más dinámico de la agricultura, como resultado de cambios en la oferta y la demanda nacional e internacional. En el periodo 2000 a 2011, las exportaciones de frutas y hortalizas mexicanas crecieron 9.6% como promedio anual, mientras que la producción de frutales ha mostrado un crecimiento de 3.3% de 2000 a 2012 (Cruz Delgado *et al.*, 2012; Macías, 2010).

Las condiciones ambientales en las que el cultivo se desarrolla son ideales para esta especie, clima templado a semicálido, precipitación superior a 1000 mm anuales y suelos de origen volcánico muy permeables (Ruiz *et al.*, 1999).

La producción y el comercio de aguacate en el mundo se basan, principalmente, en su utilización como alimento, pues su pulpa es una valiosa fuente de energía, proteínas y minerales (Palacios Serrano, 2010).

A lo largo de su cadena agroalimentaria, este cultivo genera alrededor de 47 mil empleos directos, 70 mil empleos estacionales y 187 mil empleos indirectos. Los beneficios económicos y sociales de esta industria contrastan con los problemas ambientales derivados del uso excesivo de agroquímicos que se utilizan desde vivero hasta la etapa productiva (De la Tejera Hernández *et al.*, 2013), además de que la naturaleza volcánica de los suelos donde se cultiva este frutal favorece la lixiviación de los fertilizantes y la contaminación de los mantos freáticos, con el consecuente daño ambiental y a la salud humana (TAPIA VARGAS *et al.*, 2012).

### **2.3.2 Características de la floración en aguacate**

La fisiología de la producción se ha convertido en el principal soporte para entender el comportamiento productivo del aguacate. En otras especies frutales, como por ejemplo los cítricos, este enfoque ha permitido el desarrollo de prácticas de manejo de la producción, a través de la manipulación exógena de la floración y cuajado del fruto con el uso de reguladores de crecimiento para mejorar la calidad comercial del fruto (Guardiola, 2000).

El aguacate es una especie alternante que presenta variaciones en la intensidad de floración entre un ciclo de producción y el siguiente. Independientemente del nivel de floración, se ha planteado que para condiciones del subtrópico el factor inductor de este evento son las bajas

temperaturas (Salazar-García, 2002; Whiley *et al.*, 2007). Las flores de aguacate son perfectas y están agrupadas en racimos subterminales que pueden llegar a contener hasta 450 flores (Bernal *et al.*, 2008; Whiley *et al.*, 2007).

Cada flor realiza dos aperturas, una como estado femenino y otra en estado masculino. Entre ambas fases, se produce un cierre intermedio y por último, el cierre definitivo de la flor. Durante la fase femenina los tépalos se abren y el pistilo se muestra erecto con el estigma receptivo al polen, los estambres se encuentran apoyados y protegidos sobre los tépalos con las anteras no dehiscentes. Este proceso puede durar entre una y dos horas según las condiciones ambientales, luego la flor inicia su primer cierre en donde los estambres se levantan e inclinan hacia el centro de la flor hasta tocar el pistilo, el cual continúa erecto (Cabezas *et al.*, 2003; Davenport, 1986; Sedgley y Annells, 1981; Whiley *et al.*, 2007).

El proceso de sincronía en la floración es altamente sensible a la temperatura (Calabrese, 1992), temperaturas superiores a 20°C son favorables para el proceso de polinización, mientras que noches frías retrasan e inhiben la fase femenina, e incluso se puede afectar la sincronía de las fases (Dixon y Sher, 2002). La apertura floral también puede ser retrasada desde minutos hasta varias horas debido a bajas temperaturas (Davenport, 1986).

## **2.4 Micorrizas**

El término “micorriza “ fue utilizado, por primera vez, por el fitopatólogo alemán A. B. Frank, en 1885, para describir las estructuras modificadas de

las raíces de especies forestales y, desde entonces, se ha extendido para referirse a un rango de asociaciones simbióticas mutualistas, entre hongos y raíces de plantas (Finlay, 2008).

#### **2.4.1 Las micorrizas arbusculares**

La micorriza arbuscular es la forma más antigua y extendida, dado que la mayoría de las especies vegetales tienen la capacidad de formar esta asociación simbiótica (Read, 2002; Redecker *et al.*, 2000).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) son microorganismos rizosférico simbióticos de más del 80 % de las plantas (Smith y Read, 2010). El efecto benéfico de los HMA (definido como efectividad) en la promoción del crecimiento y/o nutrición de las plantas parece estar definido por la riqueza de especies y por la procedencia de su aislamiento (Klironomos *et al.*, 2000; Van Der Heijden *et al.*, 1998b).

Las micorrizas son tan antiguas como las propias plantas y se conoce su existencia desde hace más de 400 millones de años (Remy *et al.*, 1994). Estimándose que aproximadamente el 95% de las especies vegetales conocidas establecen de forma natural y constante este tipo de simbiosis con hongos del suelo (Cornwell *et al.*, 2001; Miransari *et al.*, 2009; Strullu-Derrien y Strullu, 2007; Tang *et al.*, 2001).

#### **2.4.2 Hongos formadores de MVA**

Las micorrizas son asociaciones entre la mayoría de las plantas existentes y los hongos benéficos, que incrementan el volumen de la raíz y, por tanto, permiten una mayor exploración de la rizósfera. Son considerados los

componentes más activos de los órganos de absorción de los nutrientes de la planta, la que a su vez provee al hongo simbionte de nutrientes orgánicos y de un nicho protector (Corredor y Gloria, 2001).

La mayoría de las plantas terrestres establecen en sus raíces al menos uno de los tres tipos de asociaciones micorrízicas; de ellas, la del tipo arbuscular es la simbiosis más extendida sobre el Planeta, no solo por el número de plantas hospederas que son capaces de colonizar, sino también por su amplia distribución geográfica (Rivas, 1997).

Su nombre está asociado con estructuras especializadas denominadas arbusculos, que se forman en las células corticales de la raíz como resultado de la interacción planta-hongo. Estas estructuras constituyen el punto de intercambio de metabolitos entre los dos participantes de la simbiosis (Ayling *et al.*, 1997; Bago *et al.*, 1998).

Hasta hace pocos años, el uso de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) se encontraba restringido a aquellos cultivos que necesitan de una fase inicial de establecimiento y crecimiento antes de quedar definitivamente establecidos en el campo, tales como los semilleros de hortalizas, los viveros en frutales y la fase de adaptación en vitroplantas. En esos casos, los volúmenes de inóculos eran aceptables; sin embargo; no se recomendaban para los cultivos de siembra directa aun cuando los efectos eran positivos (Blanco y Salas, 1997; Fernández *et al.*, 1997).

### **2.4.3 Clasificación de las de micorrizas**

Las micorrizas se han clasificado con base en su estructura, morfología y modo de infección en dos tipos principales: ectomicorrizas y endomicorrizas.

Este último se divide en varios subtipos: Ectendomicorriza, Arbutoides, Monotropoides, Ericoides, Orquidaceas y las Arbusculares que son las más comunes (Sieverding *et al.*, 1991).

Las micorrizas arbusculares (MA) pertenece al orden Glomales. El suborden Glomineae tiene 2 familias: Glomaceae que comprende los géneros *Glomus* y *Sclerocystis*, y *Acaulosporaceae*, que incluye 2 géneros: *Acaulospora* y *Entrophospora*. El suborden Gigasporineae, tiene una sola familia: Gigasporeaceae con 2 géneros: *Gigaspora* y *Scutellospora* (Bentivenga y Morton, 1994).

## **2.5 Estructura de los HMA**

Los MA son microorganismos del suelo que forman simbiosis con plantas terrestres formando esporas, arbusculos, vesículas (en algunas especies) e hifas, dentro de las células corticales de las plantas que colonizan.

Su distribución además de amplia, ya que se encuentran en todos los ecosistemas y suelos, pueden ser muy heterogénea en un mismo sitio en cuanto a variedad y cantidad, lo que es un requisito importante para que la planta obtenga el máximo beneficio de la asociación (Berdugo, 2009).

### **2.5.1 Esporas**

Las esporas de las endomicorrizas son de tamaño grande (20 a 500µm); su forma puede ser globosa, elíptica, ovoide, reniforme, claviforme o irregular, además de poseer una gran gama de colores que ayuda también su identificación. Algunas especies forman esporocarpios, mientras que otras



forman esporas solas, ya sea en el interior o exterior de la rizósfera, las esporas extra radicales son producidas por las hifas gruesas del micelio exterior (Tena Sagrero, 2002).

### **2.5.2 Vesículas**

Las vesículas son llenas de lípidos como el saco de las estructuras formadas dentro de las raíces. Sus funciones como medios de propagación, se forman únicamente por miembros de las familias *Acaulosporaceae* y *Glomeraceae*, en las *Glomeraceae* las vesículas son generalmente ovoidea elipsoide, mientras que más *Acaulosporaceae* a menudo son elipsoides a irregulares o nudosas (Souza, 2005).

### **2.5.3 Arbúsculos**

Los arbúsculos son generalmente de corta duración (1 a 3 semanas), estas se encuentran en las raíces jóvenes y delgadas. La formación de los arbúsculos es controlada por la planta huésped y los números de arbúsculos dependen de la especie de la planta y la disponibilidad de nutrientes (Souza, 2005).

### **2.5.4 Hifas**

Durante el desarrollo de las hifas de los HMA crecen fuera de la raíz desarrollando una compleja red que se ramifica, en el suelo circundante, la cual puede alcanzar hasta 30 m de hifas por gramo de suelo. El crecimiento de las hifas favorece la formación o unión de los agregados del suelo, y la relativa persistencia de las hifas y sus productos (glomalina, etc.), hacen a los importantes estabilizadores de los agregados a largo plazo (Morell *et al.*, 2009).

## 2.6 Importancia de las micorrizas

El 80% de las plantas en el planeta Tierra se benefician de la influencia productiva que les otorgan las micorrizas (Berruti *et al.*, 2016). Esto es porque las micorrizas son reguladores dinámicos que almacenan minerales, como el carbono, por la descomposición de materia orgánica, luego las reserva en sus cavidades, bajo tierra y se las provee al ecosistema a través de rizomas, hifas de hongo o redes micorrízicas, específicamente en terrenos o áreas agrícolas donde la tierra es pobre en minerales nutritivos (Van Der Heijden *et al.*, 2015).

Los hongos micorrízicos tienen otras funciones y factores que pueden aportar al ecosistema y a la agricultura. Por ejemplo, aportan al establecimiento de las plántulas; se pueden utilizar como biofertilizante porque descomponen la materia orgánica muerta y reciclan los minerales nutritivos; crean productividad del suelo, y les proveen a las plantas resistencia a enfermedades, a la sequía, al estrés y a patógenos (Van Der Heijden *et al.*, 2015).

La mutua dependencia de las plantas y los microorganismos en el suelo es de suma importancia para la agricultura sustentable. Además, de atribuir nutrientes a las plantas, así mismo estos microorganismos como micorrizas ayudan a mitigar los efectos de erosión, y a estabilizar el agregado de suelo (Gianinazzi *et al.*, 2010).

Dada la importancia funcional de los HMA, es fundamental conocer la riqueza de especies en los ecosistemas áridos y semiáridos de México, los cuales, cubren aproximadamente el 60 % del territorio (Rzedowski y Huerta,

1994; Valiente-Banuet, 1996), y en donde el conocimiento de la riqueza de los Glomeromycota requiere de mayores esfuerzos de exploración (Montaño *et al.*, 2012).

### **2.6.1 Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares**

Las plantas han desarrollado numerosas estrategias desde que colonizaron los ecosistemas terrestres, para hacer frente a los diversos retos bióticos y abióticos. Una de las más eficaces es la capacidad de los sistemas de raíces, para establecer relaciones simbióticas mutualistas benéficas con los microorganismos. La micorriza, una forma intrincada de asociación de las raíces con algunos grupos de hongos, es la más frecuente y representa a los órganos de absorción de la mayoría de las plantas en la naturaleza (Gianinazzi-Pearson, 1984).

Esta asociación cumple una función muy importante en la explotación eficaz de los recursos minerales del suelo y en la protección de las raíces contra una serie de patógenos. Por ello, las micorrizas son fundamentales para la supervivencia de muchos taxones de plantas en diversos ecosistemas, incluyendo muchas especies de cultivo (Bethlenfalvay, 1992).

### **2.6.2 El uso de los HMA en los agroecosistemas**

En la agricultura, el uso de HMA tiene un gran potencial biotecnológico debido a que facilitan la disponibilidad de nutrientes para las plantas. Por lo tanto, plantas micorrizadas poseen una ventaja importante con respecto a las plantas no micorrizadas (da Silva Junior y Cardoso, 2006). Sin embargo, el conocimiento sobre las interacciones entre las condiciones edáficas y la

ecología de los HMA nativos y la efectiva asociación simbiótica entre las plantas y estos microorganismos es limitado (Serralde y Ramírez, 2004). Por esta razón, el análisis de poblaciones de HMA nativos y su ambiente edáfico, pueden conducir a su uso eficiente en la agricultura (Serralde y Ramírez, 2004) especialmente, de países en vías de desarrollo.

La importancia de los HMA en la agricultura radica en que por su extenso micelio extra radical, se forma un vínculo entre la planta y el suelo debido a que al darse la asociación planta-hongo, las plantas micorrizadas presentan ventajas en cuanto a la absorción de nutrientes de poca movilidad (como el P) con respecto a las plantas no micorrizadas, ya que en las primeras el micelio externo se extiende a una mayor distancia en el suelo que los pelos radicales de las plantas no micorrizadas (Blanco y Salas, 1997).

Hoy se considera que la sostenibilidad, tanto de ecosistemas naturales como de agroecosistemas, depende principalmente del equilibrio entre los componentes biológicos del suelo; de hecho se acepta que la tendencia actual de investigación en microbiología es el estudio de los microorganismos desde punto de vista de diversidad, ecológico, genético, bioquímico y fisiológico con relación a la nutrición y protección de las plantas (Barea, 2002).

### **2.6.3 Ventajas de las micorrizas en los agroecosistemas**

En los ecosistemas y agroecosistemas, los HMA, son de gran importancia debido a que mediante la simbiosis las plantas pueden obtener nutrientes minerales del suelo, mejorar su tolerancia a estreses bióticos y abióticos, reducir competencia entre plantas mediante la transferencia de carbono a

través de la red de hifas extraradical (Simard y Durall, 2004; Simard *et al.*, 1997), y modular la diversidad y productividad de plantas (Van der Heijden *et al.*, 1998a). Dado que la simbiosis es un proceso recíproco planta-hongo, es importante conocer también el papel de la comunidad de plantas en la estructura y diversidad de la comunidad de HFMA (Burrows y Pflieger, 2002).

La fisiología de la planta micorrizada cambia completamente cuando se asocia al hongo. Mediante el micelio externo, el contacto entre las raíces y el medio se incrementa considerablemente. Es atribuido un incremento en la toma de nutrientes, especialmente los de difusión limitada tales como: P, Zn, Cu, etc.; producción de sustancias promotoras de crecimientos, tolerancia a estrés hídricos; salinidad, estrés por trasplante; resistencia a plantas por fitopatógenos e interacción sinérgica con otros microorganismos benéficos del suelo (Azcón-Aguilar y Barea, 1997; Boby *et al.*, 2008).

#### **2.6.4 Factores que afectan la colonización de micorrizas en campo**

Dentro de los factores abióticos que afectan negativamente la asociación micorrícica se encuentran las prácticas intensivas de manejo agrícola (Bethlenfalvay, 1993), consistentes en el uso excesivo de fertilizantes y agroquímicos que inhiben el establecimiento de la simbiosis y la efectividad de los HMA en la planta (Baum y Makeschin, 2000; Kjølner y Rosendahl, 2000). Adicionalmente, la excesiva mecanización agrícola y la ausencia de cobertura vegetal favorecen la erosión del suelo y, en consecuencia, reducen el número de propágulos, la biodiversidad y la funcionalidad de dichos simbioses (Barea y Jeffries, 1995).

Entre los múltiples factores bióticos y abióticos que afectan la composición de las comunidades de HMA, la estructura de la comunidad de plantas es determinante debido a su preferencia por HMA (Kernaghan, 2005).

Entre los factores abióticos, las condiciones del suelo han mostrado ejercer un control en las comunidades de (Johnson *et al.*, 1992). Los cambios permanentes en el ambiente edáfico son un reflejo del dinamismo existente y se observa en parámetros como humedad, temperatura y disponibilidad de nutrientes, debido a condiciones naturales o al efecto de las prácticas culturales para mejorar la productividad de cultivos; adicionalmente el suelo puede sufrir procesos de degradación y contaminación con sustancias químicas tóxicas para plantas y micro-organismos (Entry *et al.*, 2002).

### **2.6.5 Aportaciones de la micorriza a los cultivos agrícolas**

Los hongos micorrízicos tienen otras funciones y factores que pueden aportar al ecosistema y a la agricultura. Por ejemplo, aportan al establecimiento de las plántulas; se pueden utilizar como biofertilizante porque descomponen la materia orgánica muerta y reciclan los minerales nutritivos; crean productividad del suelo, y les proveen a las plantas resistencia a enfermedades, a la sequía, al estrés y a patógenos (Van Der Heijden *et al.*, 2015).

En otro estudio del Instituto Smithsonian Environmental Research Center en Maryland se documentó el efecto que tiene la abundancia del hongo micorrízico en la distribución, la persistencia y el tamaño de la orquídea Showy orchid. Como resultado se observó que había una relación positiva entre el número de plantas en las parcelas y la abundancia de micorrizas.

Además, se descubrió que las plantas con más abundancia de hongos micorrízicos en el suelo pueden sobrevivir en condiciones estresantes debido a los nutrientes proporcionados por el hongo. Por último, se descubrió una relación positiva entre el tamaño de la planta y la abundancia de micorrizas en la tierra (McCormick *et al.*, 2018).

## **2.7 Agricultura orgánica**

Existen distintas definiciones de agricultura orgánica, entre las cuales se presentan las siguientes: la agricultura orgánica proscrib el empleo total de plaguicidas y se basa en la aplicación de abonos orgánicos y prácticas agrícolas que están diseñadas para restablecer y mantener un balance ecológico de la biodiversidad (Pérez Vázquez y Landeros Sánchez, 2009).

La agricultura orgánica se define mejor como aquellos sistemas holísticos de producción que promueven y mejoran la salud del agroecosistemas, incluyendo la biodiversidad, los ciclos biológicos y la actividad biológica del suelo, prefiere el uso de prácticas de manejo dentro de la finca al uso de insumos externos a la finca, toma en cuenta las condiciones regionales que requieren de sistemas adaptados a las condiciones locales, lo que se logra al utilizar en lo posible métodos culturales, biológicos y mecánicos en oposición a materiales sintéticos para satisfacer cualquier función específica dentro del sistema (Gómez, 2000; Randell, 2010).

### **2.7.1 Agricultura orgánica en México**

La producción orgánica en México, ha cobrado una importancia creciente por el aumento constante en la superficie de producción en los últimos 10 años,

en los cuales se pasó de 23, 265 ha en 1996 a poco más de 400,000 ha en 2005; hoy día genera cerca de 300 millones de dólares por concepto de exportación ya que en promedio 85% de la producción es destinada al mercado exterior (Gómez *et al.*, 2005).

El desarrollo de la agricultura ecológica en México ha sido sorprendente; surgió desde la década de los años ochenta en solo algunos lugares y en pocos años se ha extendido a muchos otros multiplicando su superficie e incursionando cada vez más en nuevos productos, constituyéndose en una opción económicamente viable para miles de productores campesinos e indígenas de escasos recursos (Pérez Calderón, 2004).

México se ha ubicado en el ámbito internacional como productor exportador de productos ecológicos más que como consumidor (Gómez *et al.*, 2003).

### **2.7.2 Importancia de la agricultura orgánica**

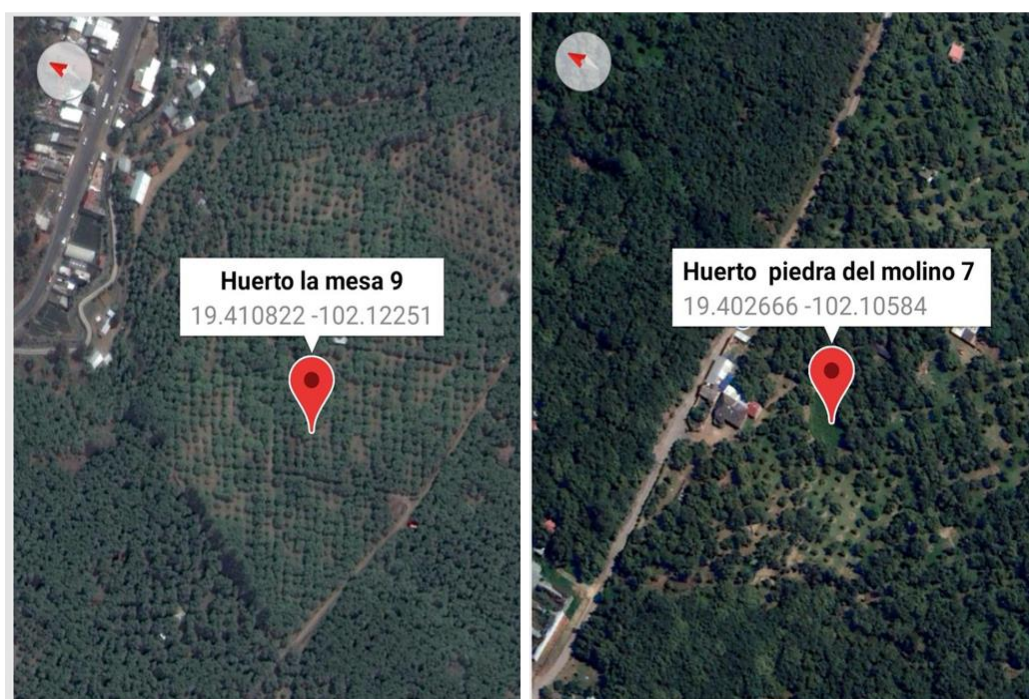
La agricultura orgánica no implica solo el hecho de fertilizar con abonos orgánicos, tales como composta, fermento, lombricomposta, entre otros, el suelo, sino conlleva un cambio de conciencia, un camino con muchos pasos, donde el primero está en la cabeza de cada uno, el querer creer y cambiar. Este movimiento está regido por cuatro principios básicos: 1) maximizar los recursos que la gente posee, 2) buscar al máximo la dependencia de insumos externos, 3) provocar el menor impacto posible dentro de las modificaciones que se hagan al lugar y al entorno y 4) no poner en riesgo la salud del productor ni del consumidor (Herrán *et al.*, 2008).



### III. MATERIALES Y METODOS

#### 3.1 Localización del área de estudio

El muestreo de suelo rizósferico para obtener las esporas y el porcentaje de micorrización de HMA, se efectuó en dos huertos de aguacate del municipio de Uruapan, Michoacán, México, que se localiza a  $19^{\circ} 22' 41.79''$  latitud norte y  $102^{\circ} 02' 19.11''$  longitud oeste, a 1 592 m de altitud.



**Figura 2.** Ubicación de las áreas de muestreos.

#### 3.2 Muestreos

##### 3.2.1 Raíces

Las muestras de raíces fueron tomadas en el área del cultivo, se tomaron diez muestras al azar en cada uno de los huertos a una profundidad de 10 cm, posteriormente se colocaron en frascos con solución formaldehído (FAA) hasta su procesamiento.



**Figura 3.** Muestras de raíces de la rizósfera de aguacate.

### 3.2.2 Suelos rizósferico

Se tomaron 5 muestras de cada huerta a una profundidad de 10 a 30 cm, obteniendo aproximadamente 500 g por planta, colocándolas en bolsas de polietileno, posteriormente se llevó al laboratorio para su procesamiento.



**Figura 4.**Recolección de muestras.



**Figura 5.** Muestras de suelo de la rizósfera de aguacate.

### **3.3 Porcentaje de micorrización**

Las raíces frescas se lavaron con agua corriente para eliminar cualquier residuo de suelo. Luego fueron clareadas usando KOH al 10% y tenidas con azul de tripano. Se examinaron 10 segmentos de aproximadamente 1 cm de largo. Para realizar la evaluación de las estructuras morfológicas características de los HMA, se realizaron observaciones en el microscopio óptico a través del objetivo de 40x empleando el método de (Phillips y Hayman, 1970). Para ello se efectuaron 3 pasajes equidistantes por laminilla. Al revisar un campo óptico, se le otorgó el valor de 1 para la evaluación total toda vez que se encontró alguna estructura de los HMA (hifas, vesículas o arbusculos), independientemente de la intensidad de micorrización (Brundrett *et al.*, 1996).

### **3.4 Aislamiento de esporas**

Las esporas de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) se extrajeron de 100 g de suelo de la rizósfera de aguacate (*Persea americana* Mill.). Se utilizó el método de tamizado en húmedo y decantación (Gerdemann y Nicolson, 1963), seguido por centrifugación en gradiente de sacarosa de 20% y 60%, a 3500 rpm (Sieverding, 1983). Las esporas sanas se colocaron en una placa de Petri para la observación directa bajo un microscopio estereoscópico. Donde se separaron en base a sus características morfo-anatómicas. Para la identificación, cada tipo de esporas se montó en polivinílico-ácido láctico-glicerina (PVLG) (Koskey, 1983) y PVLG 1: 1 (v / v) mezcla de reactivo de Melzer (Brundrett *et al.*, 1999). La identificación como morfotipos se basó en los criterios taxonómicos aceptados actualmente para la estructura de tamaño, color, ornamentación superficial y la pared de la espora, siguiendo las claves de (Schenck y Perez, 1990).

### **3.5 Análisis estadísticos**

Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y cuando fue apropiado, se realizó la prueba de Tukey, ambas a un nivel de significancia menor al 5%, para lo cual se utilizara el software estadístico SPSS versión 17.0 (SPSS, 2008).

## IV.RESULTADO Y DISCUSIÓN

**Cuadro 2.** Porcentaje de micorrización entre los dos huertos de aguacate orgánico.

Huerta	Total	Hifas	Arbúsculos	Vesículas
Piedra del Molino (50 años)	90.17 a	62.56 a	2.47 a	88.29 a
La Mesa (25 años)	91.87 a	42.39 a	0.08 a	90.85 a

Las letras diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ , Tukey)

En el cuadro 1. Se observa que no existieron diferencias significativa en los porcentajes de las estructuras de los HMA en las raíces de las dos huertas, se muestra que el % de hifas fue mayor en la huerta de más años 62.56 % y se observaron un número pequeños de arbúsculos pero mayor en esta huerta con 2.47, mientras que las vesículas fue mayor en la huerta de menos años con 90.85 %. Estos resultados son mayores a los obtenidos por Montañez Orozco *et al.* (2010) en su estudio de colonización micorrízica en plantas de aguacate (*Persea americana L.*) en tres huertas en Colombia donde el mayor porcentaje fue el 75%.

**Cuadro 3.** Promedio de los morfotipos de 5 muestras obtenidas en dos huertos.

Huerta	Total	M1	M2	M3	M4	M5
Piedra del Molino (50 años)	480.80 a	14.40 a	186.40 a	244.80 a	13.60 a	21.60 a
La Mesa (25 años)	368.80 a	9.60 a	172.80 a	150.40 b	12.00 a	24.00 a

Las letras diferentes indican diferencias significativas ( $p \leq 0.05$ , Tukey)

En el cuadro 2. se observa que no existieron diferencias significativas en el % totales de morfotipos entre dos huertos de aguacate Piedra del Molino (50 años) y La mesa (25 años), en el M1 se observa que fue mayor el % en la huerta de mayor edad, al igual que en los M2, M3, M4, mientras que en el M5 fue mayor el % en la huerta de menor edad, se encontraron 5 morfotipos

asociados a la rizósfera del aguacate con respecto a las especies de HMA que se han reportado para el estado de Michoacán, Montaña *et al.* (2019) menciona que se encontraron 15 morfo-tipos de HMA en la rizósfera de huertos de aguacate (*Persea americana*) mientras que Bárcenas *et al.* (2007) menciona que se identificaron 22 morfoespecies correspondientes a cinco géneros, de tres familias y dos órdenes; siete de ellas no se habían reportado en este cultivo, lo cuales no coinciden con los resultados obtenidos en esta investigación.

## V. CONCLUSION

No existe diferencia en el número de morfotipos en las dos huertas de aguacate con diferente edad, por lo cual al parecer la diversidad de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en estos árboles permanecen constante a través del tiempo.

No existe diferencia en el porcentaje de micorrización de hongos micorrízicos arbusculares en las dos huertas.

La edad en los árboles, no es un factor que determina la diferencia en el porcentaje de micorrización en huertos de aguacate.

## VI. REFERENCIAS

- Almanza, L. 2010. Bioplaguicida para el control del barrenador del hueso de aguacate. *Revista Claridades Agropecuarias* 21624-31.
- Ayling, S., S. Smith, F. Smith y P. Kolesik. 1997. Transport processes at the plant-fungus interface in mycorrhizal associations: Physiological studies. *Plant and Soil* 196(2):305-310.
- Azcón-Aguilar, C. y J. Barea. 1997. Arbuscular mycorrhizas and biological control of soil-borne plant pathogens—an overview of the mechanisms involved. *Mycorrhiza* 6(6):457-464.
- Bago, B., C. Azcón-Aguilar, A. Goulet y Y. Piché. 1998. Branched absorbing structures (bas): A feature of the extraradical mycelium of symbiotic arbuscular mycorrhizal fungi. *The New Phytologist* 139(2):375-388.
- Bárcenas, A., C. Almaraz, L. Reyes, L. Varela, B. Lara, A. Guillén, Y. Carreón, S. Aguirre y A. Chávez. 2007. Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en huertos de aguacate de michoacán. In: *Proceedings VI World Avocado Congress, Viña del Mar, Chile*
- Bárcenas, O., F. Varela, A. Carreón, C. Lara, C. González y P. Aguirre. 2006. Estudios sobre hongos micorrizógenos arbusculares en huertos de aguacate persea americana mill.(ranales: Lauraceas). In: *Memoria del XXIX Congreso Nacional de Control Biológico. SMCB. Manzanillo, Col. p 1-5.*
- Barea, J. 2002. Rhizosphere and mycorrhizal of frield crops: Biological resource management connecting. *Connecting Science and Policy*. Balázs E, Galante E, Lynch JM, Schepers JS, Toutant JP, Werner D, Werry PA Th J, eds. Berlin, Heidelberg, New York: INRA Editions, Springer-Verlag.
- Barea, J. M. y P. Jeffries. 1995. Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems *Mycorrhiza*. p 521-560. Springer.
- Barrientos-Priego, A. F. y L. López-López. 2000. Historia y genética del aguacate. *el aguacate y su manejo integrado*. Téliz, D.; González, H19-31.
- Baum, C. y F. Makeschin. 2000. Effects of nitrogen and phosphorus fertilization on mycorrhizal formation of two poplar clones (*populus*



- trichocarpa and p. Tremula x tremuloides). Journal of Plant Nutrition and Soil Science 163(5):491-497.
- Bentivenga, S. P. y J. B. Morton. 1994. Systematics of glomalean endomycorrhizal fungi: Current views and future directions. Mycorrhizae and plant health 283-308.
- Berdugo, S. E. B. 2009. El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. INGRESAR A LA REVISTA 7(1):123-132.
- Bergh, B. 1992. The origin, nature, and genetic improvement of the avocado. California Avocado society yearbook 7661-75.
- Bernal, E., D. Díaz, V. Tamayo, G. Cordoba, Z. Londoño, M. Tamayo y B. Londoño. 2008. Tecnología para el cultivo del aguacate. 9588311748, Corporacion Colombiana de Investigacion Agropecuaria, Antioquia (Colombia).
- Berruti, A., E. Lumini, R. Balestrini y V. Bianciotto. 2016. Arbuscular mycorrhizal fungi as natural biofertilizers: Let's benefit from past successes. Frontiers in microbiology 61559.
- Bethlenfalvy, G. J. 1992. Mycorrhizae and crop productivity 1. Mycorrhizae in sustainable agriculture(mycorrhizaeinsu):1-27.
- Bethlenfalvy, G. J. 1993. Mycorrhizae in the agricultural plant-soil system. Symbiosis.
- Blanco, F. y E. Salas. 1997. Micorrizas en la agricultura: Contexto mundial e investigación realizada en costa rica. Agronomía costarricense 21(1):55-67.
- Boby, V., A. Balakrishna y D. Bagyaraj. 2008. Interaction between glomus mosseae and soil yeasts on growth and nutrition of cowpea. Microbiological Research 163(6):693-700.
- Brundrett, M., L. Abbott y D. Jasper. 1999. Glomalean mycorrhizal fungi from tropical australia. Mycorrhiza 8(6):305-314.
- Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove y N. Malajczuk. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture, Australian Centre for International Agricultural Research Canberra.
- Burrows, R. L. y F. L. Pflieger. 2002. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to increasing plant diversity. Canadian Journal of Botany 80(2):120-130.

- Cabezas, C., J. Hueso y J. Cuevas. 2003. Identificación y descripción de los estados fenológicos-tipo del aguacate (*persea americana* mill.). In: Proceedings V World Avocado Congress (Actas V Congreso Mundial del Aguacate). p 237-242.
- Calabrese, F. 1992. El aguacate. Madrid: Institute di coltivazioni arboree; universidad de palermo; ediciones mundi-prensa; edicion espanola.
- Campos, R., B. Espíndola y O. Mijares. 2008. Diversidad del género *persea* y sus usos. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX, SC Coatepec, Harinas. México.
- Chimal-Sánchez, E., N. M. Montaña, S. L. Camargo-Ricalde, R. García-Sánchez y L. V. Hernández-Cuevas. 2016. Nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares para México. *Revista mexicana de biodiversidad* 87(1):242-247.
- Cornwell, W. K., B. L. Bedford y C. T. Chapin. 2001. Occurrence of arbuscular mycorrhizal fungi in a phosphorus-poor wetland and mycorrhizal response to phosphorus fertilization. *American Journal of Botany* 88(10):1824-1829.
- Corredor, H. y A. Gloria. 2001. Micorrizas arbusculares: Aplicación para el manejo sostenible de los agroecosistemas.
- Cruz Delgado, D., J. A. Leos Rodríguez y J. R. Altamirano Cárdenas. 2012. La evolución del patrón de cultivos de México en el marco de la integración económica, 1980 a 2009. *Revista mexicana de ciencias agrícolas* 3(5):893-906.
- da Silva Junior, J. P. y E. J. B. N. Cardoso. 2006. Micorriza arbuscular em cupuaçu e pupunha cultivados em sistema agroflorestal e em monocultivo na Amazônia central. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 41(5):819-825.
- Davenport, T. 1986. Avocado flowering. *Horticultural reviews* 8(257):89.
- De la Tejera Hernández, B., Á. Santos, H. Santamaría, T. Gómez y C. Olivares. 2013. El oro verde en Michoacán: ¿ un crecimiento sin fronteras? *Crecimiento económico y políticas públicas* 15.
- Díaz Franco, A., M. Alvarado Carrillo, F. Alejandro Allende y F. E. Ortiz Cháirez. 2016. Crecimiento, nutrición y rendimiento de calabacita con

- fertilización biológica y mineral. *Revista internacional de contaminación ambiental* 32(4):445-453.
- Dixon, J. y D. Sher. 2002. Pollination of avocados, Annual Research Report of New Zealand Avocado Growers Association. 2, 31-40.
- Entry, J. A., P. T. Rygielwicz, L. S. Watrud y P. K. Donnelly. 2002. Influence of adverse soil conditions on the formation and function of arbuscular mycorrhizas. *Advances in Environmental Research* 7(1):123-138.
- Fernández, F., R. Gómez, M. Martínez y L. Pijeira. 1997. Tecnología de recubrimiento de semilla con biofertilizantes micorrizógenos. Alternativa sostenible de bajo costo. III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Programa y resúmenes. Villa Clara, Cuba76.
- Finlay, R. D. 2008. Ecological aspects of mycorrhizal symbiosis: With special emphasis on the functional diversity of interactions involving the extraradical mycelium. *Journal of experimental botany* 59(5):1115-1126.
- Gañán, L., M. M. Bolaños-Benavides y N. Asakawa. 2011. Efecto de la micorrización sobre el crecimiento de plántulas de plátano en sustrato con y sin la presencia de nematodos fitoparásitos. *Acta Agronómica* 60(4):297-305.
- Gerdemann, J. y T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological society* 46(2):235-244.
- Gianinazzi-Pearson, V. 1984. Host-fungus specificity, recognition and compatibility in mycorrhizae Genes involved in microbe-plant interactions. p 225-253. Springer.
- Gianinazzi, S., A. Golotte, M.-N. Binet, D. van Tuinen, D. Redecker y D. Wipf. 2010. Agroecology: The key role of arbuscular mycorrhizas in ecosystem services. *Mycorrhiza* 20(8):519-530.
- Ginsburg, O. y Z. Avizohar-Hershenson. 1965. Observations on vesicular-arbuscular mycorrhiza associated with avocado roots in israel. *Transactions of the British Mycological Society* 48(1):101-IN114.
- Gómez, A. 2000. Agricultura orgánica en el codex alimentarius. Seminario Protección del Consumidor desde las ONGs y el Codex Alimentarius.

- Gómez, A. R. 2006. Globalización, competitividad y comercio exterior. *Análisis Económico* 21(47):131-178.
- Gómez, C., T. Gómez y R. Schwentesius. 2003. Agricultura orgánica, mercado internacional y propuesta para su desarrollo en México. *Reporte de Investigación* 62.
- Gómez, M., R. Schwentesius y L. Gómez. 2005. Agricultura, apicultura y ganadería orgánica en México 2005: Situación, retos y tendencias
- Guardiola, J. L. 2000. Regulation of flowering and fruit development: Endogenous factors and exogenous manipulation. *Proc. Int. Soc. Citriculture* (2: 2000)342-346.
- Gutiérrez-Díez, A., A. Barrientos-Priego y E. Campos-Rojas. 2015. Caracterización molecular y análisis filogenético de los subgéneros *Persea* y *Eriodaphne* (Lauraceae). In: *Actas del VIII Congreso Mundial de la Palta*. p 88-94.
- Haas, J. H. y J. A. Menge. 1990. Va-mycorrhizal fungi and soil characteristics in avocado (*Persea americana* Mill.) orchard soils. *Plant and Soil* 127(2):207-212.
- Hernández Montiel, L. G. y M. Á. Escalona Aguilar. 2003. Microorganismos que benefician a las plantas: Las bacterias PGPR.
- Herrán, J. A. F., R. R. S. Torres, G. E. R. Martínez, R. M. Ruiz y V. O. Portugal. 2008. Importancia de los abonos orgánicos. *Ra Ximhai: revista científica de sociedad, cultura y desarrollo sostenible* 4(1):57-68.
- Janick, J. y J. N. Moore. 1996. *Fruit breeding, tree and tropical fruits*. John Wiley & Sons.
- Johnson, N. C., D. Tilman y D. Wedin. 1992. Plant and soil controls on mycorrhizal fungal communities. *Ecology* 73(6):2034-2042.
- Kernaghan, G. 2005. Mycorrhizal diversity: Cause and effect? *Pedobiologia* 49(6):511-520.
- Kjøller, R. y S. Rosendahl. 2000. Effects of fungicides on arbuscular mycorrhizal fungi: Differential responses in alkaline phosphatase activity of external and internal hyphae. *Biology and Fertility of Soils* 31(5):361-365.

- Klironomos, J. N., J. McCune, M. Hart y J. Neville. 2000. The influence of arbuscular mycorrhizae on the relationship between plant diversity and productivity. *Ecology letters* 3(2):137-141.
- Koskey, R. 1983. A convenient, permanent slide mounting medium. *Newsletter Mycol. Soc. Amer.* 3459.
- Kubitzki, K., J. G. Rohwer y V. Bittrich. 2013. Flowering plants- dicotyledons: Magnoliid, hamamelid and caryophyllid families. Springer Science & Business Media.
- Lovera, M. y G. Cuenca. 2007. Diversidad de hongos micorrízicos arbusculares (hma) y potencial micorrízico del suelo de una sabana natural y una sabana perturbada de la gran sabana, venezuela. *Interciencia* 32(2):108-114.
- Macías, A. M. 2010. Zonas hortofrutícolas emergentes en México. ¿viabilidad de largo plazo o coyuntura de corto plazo?. La producción de aguacate en el sur de Jalisco. *Estudios Sociales. Revista de alimentación contemporánea y desarrollo regional* 18(36):204-235.
- Martínez, V., R. Campos, A. Ayala, P. Barrientos y B. Espíndola. 2016. Diversidad y distribución del género *Persea* Mill. México. In: *Agroproductividad* 9(4):72-77.
- McCormick, M. K., D. F. Whigham y A. Canchani-Viruet. 2018. Mycorrhizal fungi affect orchid distribution and population dynamics. *New Phytologist* 219(4):1207-1215.
- Medina-García, L. R. 2016. La agricultura, la salinidad y los hongos micorrízicos arbusculares: una necesidad, un problema y una alternativa. *Cultivos Tropicales* 37(3):42-49.
- Miransari, M., H. Bahrami, F. Rejali y M. Malakouti. 2009. Effects of soil compaction and arbuscular mycorrhiza on corn (*Zea mays* L.) nutrient uptake. *Soil and Tillage Research* 103(2):282-290.
- Montañez Orozco, I., C. Vargas Sarmiento, M. Cabezas Gutiérrez y J. Cuervo Andrade. 2010. Colonización micorrízica en plantas de aguacate (*Persea americana* L.).
- Montaño, N. M., A. Alarcón, S. L. Camargo-Ricalde, L. V. Hernández-Cuevas, J. Álvarez-Sánchez, M. d. C. A. González-Chávez, M. E. Gavito, I. Sánchez-Gallen, J. Ramos-Zapata y P. Guadarrama. 2012.

- Research on arbuscular mycorrhizae in Mexico: An historical synthesis and future prospects. *Symbiosis* 57(3):111-126.
- Montaño, Y. A. R., P. A. Barrios, S. A. Paleo, M. V. Sandoval, R. P. Da Silva y M. B. N. Lara-Chávez. 2019. Identificación de hongos micorrizógenos arbusculares en huertos de aguacate de Uruapan, Michoacán. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*(23):267-276.
- Morell, F., A. Hernández, Y. Borges y F. L. Marentes. 2009. La actividad de los hongos micorrízicos arbusculares en la estructura del suelo. *Cultivos Tropicales* 30(4):00-00.
- Morton, J. 1990. A new order, Glomales, two new suborders, Glomineae and Gigasporineae, and two new families, Aculosporaceae and Gigasporaceae, with an emendation of Glomaceae. *Mycotaxon* 37471-491.
- Naamani, G. 2007. Developments in the avocado world. *California Avocado Society* 200771-76.
- Palacios Serrano, M. B. 2010. El aguacate y sus diferentes aplicaciones en 25 recetas.
- Pérez Calderón, J. 2004. Agricultura ecológica: Una alternativa al desarrollo sustentable en el campo mexicano. Universidad Autónoma Metropolitana-Azcapotzalco. *El Cotidiano*.
- Pérez Vázquez, A. y C. Landeros Sánchez. 2009. Agricultura y deterioro ambiental.
- Phillips, J. M. y D. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society* 55(1):158-118.
- Ramos, H., G. Reyna, A. Lescaille, C. Telo, D. Arozarena, P. Ramírez y A. Martín. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi, Azotobacter chroococcum, Bacillus megatherium and Fitomas-E: An effective alternative for the reduction of the consumption of mineral fertilizers in Psidium guajava, L. Var. Enana roja cubana. *Cultivos Tropicales* 34(1):5-10.
- Randell, A. W. 2010. The Codex Alimentarius and food labelling: Delivering consumer protection innovations in food labelling. p 5-16. Elsevier.

- Read, D. 2002. An ecological point of view on arbuscular mycorrhiza research Mycorrhizal technology in agriculture. p 129-136. Springer.
- Redecker, D., R. Kodner y L. E. Graham. 2000. Glomalean fungi from the ordovician. *Science* 289(5486):1920-1921.
- Remy, W., T. N. Taylor, H. Hass y H. Kerp. 1994. Four hundred-million-year-old vesicular arbuscular mycorrhizae. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 91(25):11841-11843.
- Rivas, G. 1997. Micorrizas: Manejo integrado de plagas. *Hoja Técnica* 20(1).
- Ruiz, C., G. Medina, C. Ortiz, R. Martínez, I. González, H. Flores y K. Byerly. 1999. Requerimientos agroecológicos de los cultivos. Libro técnico 3. Inifap. Guadalajara. Jal.
- Rzedowski, J. y L. Huerta. 1994. *Vegetación de México*, Limusa, Noriega Editores México.
- SAGARPA, S. 2007. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación; servicio de información agroalimentaria y pesquera.
- Salazar-García, S. 2002. *Nutrición del aguacate: Principios y aplicaciones*.
- Schenck, N. C. y Y. Perez. 1990. *Manual for the identification of va mycorrhizal fungi*. Synergistic Publications Gainesville.
- Schüßler, A. y C. Walker. 2010. *The glomeromycota: A species list with new families and new genera*. The Royal Botanic Garden Kew, Botanische Staatssammlung Munich, and Oregon State University 19.
- Sedgley, M. y C. Annells. 1981. Flowering and fruit-set response to temperature in the avocado cultivar 'hass'. *Scientia Horticulturae* 14(1):27-33.
- Serralde, A. M. y M. M. Ramírez. 2004. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria* 5(1):31-40.
- Sieverding, E. 1983. *Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio*.
- Sieverding, E., J. Friedrichsen y W. Suden. 1991. *Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems*. Sonderpublikation der GTZ (Germany).

- Simard, S. W. y D. M. Durall. 2004. Mycorrhizal networks: A review of their extent, function, and importance. *Canadian Journal of Botany* 82(8):1140-1165.
- Simard, S. W., D. A. Perry, M. D. Jones, D. D. Myrold, D. M. Durall y R. Molina. 1997. Net transfer of carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature* 388(6642):579.
- Simó González, J. E., L. A. Ruiz Martínez y R. Rivera Espinosa. 2015. Manejo de la simbiosis micorrízica arbuscular y el suministro de nutrientes en plantaciones de banano cv. Fhia-18 (musa aab) en suelo pardo mullido carbonatado. *Cultivos Tropicales* 36(4):43-54.
- Smartt, J. y N. W. Simmonds. 1995. Evolution of crop plants.
- Smith, C. E. 1966. Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany* 20(2):169-175.
- Smith, N. J., J. T. Williams, D. L. Plucknett y J. P. Talbot. 2018. Tropical forests and their crops. Cornell University Press.
- Smith, S. E. y D. J. Read. 2010. Mycorrhizal symbiosis. Academic press.
- Souza, F. A. d. 2005. Biology, ecology and evolution of the family gigasporaceae, arbuscular mycorrhizal fungi (glomeromycota), Institute of Biology, Faculty of Mathematics & Natural Sciences, Leiden ....
- SPSS, I. 2008. Spssbase 17.0 for windows. Chicago, IL: IBM SPSS.
- Strullu-Derrien, C. y D.-G. Strullu. 2007. Mycorrhization of fossil and living plants. *Comptes Rendus Palevol* 6(6-7):483-494.
- Tang, F., J. A. White y I. Charvat. 2001. The effect of phosphorus availability on arbuscular mycorrhizal colonization of typha angustifolia. *Mycologia* 93(6):1042-1047.
- TAPIA VARGAS, L. M., A. LARIOS GUZMÁN, J. A. CONTRERAS, I. VIDALES FERNÁNDEZ y V. L. BARRADAS. 2012. Lixiviación de nitratos y condición nutrimental en dos sistemas de manejo de riego y nutricional de aguacate (persea americana mill.). *Revista internacional de contaminación ambiental* 28(3):251-258.
- Tena Sagrero, A. 2002. Presencia de hongos micorrízicos arbusculares en plantas silvestres de suelos salinos en el estado de colima.



- Valiente-Banuet, A. 1996. La conservación de los desiertos: Un desafío. *Ocelot-Revista Mexicana de la Conservación PRONATURA* 434-37.
- Van der Heijden, M. G., T. Boller, A. Wiemken y I. R. Sanders. 1998a. Different arbuscular mycorrhizal fungal species are potential determinants of plant community structure. *Ecology* 79(6):2082-2091.
- Van Der Heijden, M. G., J. N. Klironomos, M. Ursic, P. Moutoglis, R. Streitwolf-Engel, T. Boller, A. Wiemken y I. R. Sanders. 1998b. Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity, ecosystem variability and productivity. *Nature* 396(6706):69.
- Van Der Heijden, M. G., F. M. Martin, M. A. Selosse y I. R. Sanders. 2015. Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future. *New Phytologist* 205(4):1406-1423.
- van der Werff, H. 2002. A synopsis of perseae (lauraceae) in central america. *Novon* 575-586.
- Vandenkoornhuyse, P., R. Husband, T. Daniell, I. Watson, J. Duck, A. Fitter y J. Young. 2002. Arbuscular mycorrhizal community composition associated with two plant species in a grassland ecosystem. *Molecular Ecology* 11(8):1555-1564.
- Whiley, A., B. Schaffer y B. Wolstenholme. 2007. El palto. Botánica, producción y usos. Ediciones universitarias valparaíso. Pontificia universidad católica de valparaíso. Cap. 5. 364pp. VIII. ANEXOS.
- Williams, L. O. 1977. The avocados, a synopsis of the genus perseae, subg. Persea. *Economic Botany* 31(3):315-320.