



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

# LICENCIATURA EN CIENCIAS AMBIENTALES

CENTRO DE INVESTIGACIONES EN ECOSISTEMAS  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES  
UNIDAD MORELIA

**EVALUACIÓN DE INOCULANTES MICORRÍZICOS  
Y TRATAMIENTOS DE SUELO PARA LA  
PRODUCCIÓN ORGÁNICA DE PLANTA DE  
AGUACATE (*Persea americana Mill.*) EN VIVERO**

# TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
**LICENCIADO EN CIENCIAS AMBIENTALES**

PRESENTA:

**ALFREDO GARCÍARREAL SÁNCHEZ**

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MAYRA ELENA GAVITO PARDO

Morelia, Michoacán.

Octubre del 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS SUPERIORES, UNIDAD MORELIA  
SECRETARÍA GENERAL  
SERVICIOS ESCOLARES

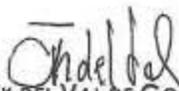
**DR. ISIDRO ÁVILA MARTÍNEZ**  
**DIRECTOR GENERAL DE ADMINISTRACIÓN ESCOLAR, UNAM**  
**PRESENTE.**

Por medio de la presente me permito informar a usted que la Coordinación de la Licenciatura en Ciencias Ambientales, el día 21 de agosto del 2012, acordó poner a su consideración el siguiente jurado para el Examen Profesional del alumno **ALFREDO GARCÍARREAL SÁNCHEZ** con número de cuenta **409071162** con la tesis titulada: "**Evaluación de inoculantes micorrízicos y tratamientos de suelo para la producción orgánica de planta de aguacate (Persea americana Mill.) En vivero**" bajo la dirección de la Tutora.- **Dra. Mayra Elena Gavito Pardo.**

Presidente: Dra. Marta Astier Calderón  
Vocal: Dra. Ana Isabel Moreno Calles  
Secretario: Dra. Mayra Elena Gavito Pardo  
Suplente: Dr. John Larsen  
Suplente: Dr. Carlos Ernesto González Esquivel

Sin otro particular, quedo de usted.

Atentamente  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
Morelia, Michoacán a, 17 de octubre del 2012.

  
**DRA. EK DEL VAL DE GORTARI**  
**COORDINADORA**

---

**CAMPUS MORELIA**  
Apartado Postal 27-3 (Santa Ma. De Guido), 58090, Morelia, Michoacán  
Antigua Carretera a Pátzcuaro N° 8701, Col. Ex Hacienda de San José de la Huerta  
58190, Morelia, Michoacán, México. Tel: (443)322.38.05 y (55)56.23.28.05  
[www.enemorelia.unam.mx](http://www.enemorelia.unam.mx)

**El presente trabajo fue realizado en el Laboratorio de Interacciones Planta-Microbio-Ambiente del Centro de Investigaciones en Ecosistemas de la Universidad Nacional Autónoma de México, como parte del proyecto PROMEP-Redes “Inoculantes Micorrízicos” y FOMIX-Michoacán 115994 “Insumos Biotecnológicos para la Producción Orgánica de Planta de Aguacate”.**

**Agradezco a la Licenciatura en Ciencias Ambientales por la formación que me brindó. A mis sinodales, Marta Astier Calderón, Ana Isabel Moreno Calles, Carlos González Esquivel y John Larsen por su tiempo y sus atinados comentarios.**

**En especial quiero agradecer a mi asesora, la doctora Mayra Gavito Pardo, por servir de guía en este trabajo, por su tiempo, su consejo y por su infinita paciencia, en verdad infinita.**

## RESUMEN

La producción orgánica es el primer paso para lograr una agricultura sustentable, que no sea dañina para el medio ambiente ni para la población y debe empezar desde la etapa de vivero. Este estudio se diseñó para evaluar el efecto de algunos inoculantes de hongos micorrízicos locales y foráneos en el desarrollo y sanidad de plantas de aguacate producidas orgánicamente en vivero y posteriormente comprobar los efectos en campo, con la finalidad de seleccionar los más efectivos y promoverlos como alternativas biotecnológicas para la producción orgánica desde el nivel de planta, bajo la hipótesis de que el uso de inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en combinación con un tratamiento de solarización del suelo, mejora el crecimiento, sanidad y nutrición de las plantas de aguacate y aumenta la tasa de supervivencia al ser trasplantados a campo porque la solarización facilitará el establecimiento de los hongos y reducirá el ataque de patógenos y por los múltiples beneficios nutricionales, fisiológicos y fitosanitarios que los HMA brindan a las plantas.

Se prepararon las camas de vivero con dos tratamientos, uno con suelo de campo convencional y otro con suelo de campo solarizado durante un mes con el fin de reducir los patógenos. Las semillas de aguacate criollo cubiertas con el inoculante micorrízico correspondiente se sembraron en las camas, ambas fertilizadas con gallinaza y divididas en secciones. Se probaron en combinación factorial dos inóculos locales, dos foráneos, un consorcio de Veracruz y un testigo sin micorriza. Adicionalmente se siguió un grupo de plantas bajo producción convencional con agroquímicos como referente. Después de un mes y medio, las plántulas se trasplantaron a bolsas y se realizaron evaluaciones quincenales de altura, diámetro, número de hojas e índices de sanidad y herbivoría. A los cuatro meses se realizó una primer cosecha separando al azar 5 plantas de cada tratamiento, y se midió la biomasa, el área foliar, la colonización micorrízica y el contenido y concentración de Nitrógeno y Fósforo. Cuando las plantas tenían un año de edad se realizó una segunda cosecha donde se midieron las mismas variables y posteriormente se hicieron los análisis estadísticos pertinentes.

Los resultados mostraron en general pocas diferencias entre los tratamientos debido a la gran variación entre plantas aún dentro del mismo tratamiento. Todas las plantas del experimento crecieron fuertes y sanas a pesar de no recibir ningún agroquímico. A los tres meses de la inoculación, aunque se observaron ciertas tendencias de que el suelo solarizado fue mejor que el suelo directo, y que los mejores inóculos fueron el constituido por el consorcio de especies de HMA de Veracruz y uno de los inoculantes foráneos, las diferencias no siempre fueron significativas. En plantas de un año, a pesar de que se observaron diferencias grandes en la captación de P entre los tratamientos, la biomasa de la parte aérea fue similar, incluso a la del testigo fertilizado con agroquímicos. Esto sugiere que en gran parte del primer año se utilizan las reservas de nutrientes contenidas en la semilla y que los HMA empiezan a contribuir a la nutrición hasta consumirse éstas reservas, lo cual puede explicar el que las plantas se colonicen lentamente y no haya diferencias claras entre tratamientos en la etapa de vivero. También fue alta la sobrevivencia de las plantas trasplantadas a campo después de 1 y 2 años independientemente del tratamiento. Estos resultados indican que las plantas de aguacate criollo: 1) responden poco a la inoculación micorrízica, 2) se mantienen sanas, fuertes y bien nutridas a pesar de recibir baja fertilización, 3) tuvieron una sobrevivencia alta al ser trasplantadas a huertas, sobre todo las que pasaron dos años en el vivero, independientemente del tratamiento.

## **ABSTRACT**

Organic production is the first step towards sustainable agriculture, which is not harmful to the environment or the human population and should start from the nursery stage. This study was designed to evaluate the effects of some local and foreign mycorrhizal inoculants, on the development and health of organically grown avocado plants in the nursery and in orchards in order to select the most effective and promote them as biotechnological alternatives for organic production, under the assumption that the use of inoculant arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in combination with a soil solarization treatment improves growth, health and nutrition of avocado plants and increases the survival rate when transplanted to field because solarization will facilitate

and reduce the fungal pathogen attack and by the many nutritional, physiological and plant protection can confer HMA.

Nursery beds were prepared with two soil treatments, fresh soil and field soil solarized for one month to reduce pathogens. Two local inoculants, two foreign inoculants, a consortium from Veracruz and a control without inoculant were tested in factorial combinations with each type of soil. Native criollo avocado seeds, previously coated with the corresponding mycorrhizal inoculant, were planted in six sections of the nursery bed. Additionally, we monitored a group of plants grown conventionally with agrochemicals, as a reference. After 1.5 months, the plants were transplanted into nursery plastic bags with soil and chicken manure and evaluations of height, diameter, leaf number and indices of health and herbivory were made every two weeks. After 4 months, we randomly selected 5 plants of each treatment to measure biomass, leaf area, mycorrhizal colonization and the concentration and content of nitrogen and phosphorus. A second group of 5 plants was harvested when the plants were 1 year old and the same variables were measured, except for leaf area and root biomass as the plants had become too large.

The results showed few significant differences between treatments due to the high variation even within the same treatment. All plants in the experiment grew strong and healthy in the nursery despite not receiving any agrochemicals. Although certain trends were observed suggesting that solarized soil was better than fresh soil and that the best inoculants were the consortium from Veracruz and one of the foreign inoculants, the differences were not always significant after 4 months. One year-old plants showed no significant differences in shoot biomass despite some large differences in P uptake among treatments, including the nursery's reference treatment. This suggests that during the first year, plants use the large reserves of the seed and the HMA start contributing to nutrition only after exhausting these reserves, which may explain the slow process of mycorrhizal colonization and the absence of clear differences between treatments in the nursery stage. All plants showed also high survival after being transplanted to orchards. These results also suggest that criollo avocado plants 1) have low response to mycorrhizal inoculation, 2) stay strong, healthy and well-nourished despite receiving low additions of fertilizer, 3) show high survival after transplanting to orchards, especially in two year-old plants, regardless of the treatment.

**A mi padre y a las personas que como él,  
sueñan con un mundo mejor y hacen algo por verlo realidad.**

## I. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis papás por el amor que me han dado durante 22 años. Por enseñarme a luchar por mis sueños y a tener fe en mí mismo. Por ser el mejor ejemplo de trabajo, responsabilidad, perseverancia y rectitud que pueda haber. Gracias porque gracias a ustedes, a su apoyo, esfuerzo y trabajo he llegado hoy hasta aquí y me he convertido en lo que soy. Es un honor y me llena de orgullo ser su hijo.

Gracias a Pau por ser mi fortaleza y ejemplo, por escucharme y apoyarme siempre y por creer siempre en mí.

Gracias a mi familia y amigos, compañeros de sueños y de vida. De manera especial a Ana Lidia, Margarita, Fabi, Ana, Luis Martín, Yair y Ernesto por la ayuda y compañía que me brindaron durante este trabajo.

Por último quiero agradecer a las personas con las que trabajé en esta tesis, a *mi tocayo* Don Alfredo Ramos, Jesús Chávez, Jesús Tinoco, Juan Sosa, Icpac Escalera e Israel Santillán.

## II. ÍNDICE

RESUMEN/ABSTRACT.....	3
DEDICATORIA.....	6
I. AGRADECIMIENTOS.....	7
II. ÍNDICE.....	8
III. LISTA DE GRÁFICAS Y TABLAS.....	11
IV. DISCUSIÓN GENERAL.....	103
V. CONCLUSIONES GENERALES.....	104
VI. BIBLIOGRAFÍA.....	105

### CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

1. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	14
2. MARCO TEÓRICO.....	15
2.1 Crisis ecológica y su relación con la agricultura.....	15
2.2 Desarrollo sustentable.....	18
2.3 Agroecología y sustentabilidad.....	17
2.4 Transición ecológica.....	19
2.5 Agricultura orgánica.....	21
2.6 Situación de la agricultura orgánica en México y en el mundo.....	22
3. EL AGUACATE EN MÉXICO.....	23
3.1 Historia del aguacate.....	23
3.2 Características botánicas.....	24
3.3 Requerimientos del cultivo.....	25
3.4 Propagación del aguacate en vivero.....	25
3.5 Importancia del aguacate a nivel nacional e internacional.....	27
3.6 Importancia del aguacate en Michoacán.....	28
4. INÓCULOS MICORRÍZICOS.....	29
4.1 Microorganismos del suelo y los hongos micorrízicos arbusculares.....	29
4.2 Morfología de los HMA.....	31
4.3 Formación de la simbiosis.....	31
4.4 Aplicación y uso de los HMA como inoculantes en la fruticultura.....	32
5. JUSTIFICACIÓN.....	34
6. OBJETIVOS.....	36
6.1 Objetivo general.....	36
6.2 Objetivos particulares.....	36
7. HIPÓTESIS.....	37

## **CAPÍTULO 2. EFECTO DEL TRATAMIENTO DEL SUELO Y LOS INOCULANTES EN EL CRECIMIENTO Y NUTRICIÓN DE PLANTAS DE AGUACATE EN LA ETAPA DE VIVERO**

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>39</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>42</b>
2.1 Descripción del experimento.....	42
2.2 Desinfección del suelo.....	43
2.3 Semillas de aguacate.....	44
2.4 Inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA).....	44
2.5 Seguimiento y medición de las plantas en vivero.....	47
2.6 Cálculo de área foliar y peso.....	48
2.7 Determinación del porcentaje de colonización micorrízica.....	49
2.8 Contenido y concentración de Nitrógeno y Fósforo.....	50
2.9 Análisis estadísticos.....	51
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>52</b>
<b>3.1 Crecimiento en vivero.....</b>	<b>52</b>
3.1.1 Altura.....	54
3.1.2 Diámetro.....	54
3.1.3 Número de hojas.....	55
<b>3.2 Primera cosecha.....</b>	<b>55</b>
3.2.1 Altura.....	61
3.2.2 Diámetro.....	61
3.2.3 Número de hojas.....	62
3.2.4 Área foliar.....	62
3.2.5 Biomasa.....	63
3.2.6 Colonización micorrízica.....	64
3.2.7 Concentración de Nitrógeno y Fósforo.....	65
3.2.8 Contenido de Nitrógeno y Fósforo en la parte aérea.....	66
<b>3.3 Segunda cosecha.....</b>	<b>67</b>
3.3.1 Altura.....	70
3.3.2 Diámetro.....	70
3.3.3 Biomasa.....	71
3.3.4 Colonización micorrízica.....	72
3.3.5 Concentración de Nitrógeno y Fósforo.....	73
3.3.6 Contenido de Nitrógeno y Fósforo por planta.....	74
* <i>Resultados del análisis de varianza de una vía para algunas variables medidas en la primera y segunda cosecha.....</i>	<i>75</i>
<b>4. DISCUSIÓN.....</b>	<b>77</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>84</b>

## **CAPÍTULO 3. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE SUELO E INOCULANTES EN EL CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE PLANTAS DE AGUACATE EN HUERTA**

<b>1. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>86</b>
<b>2. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>89</b>
2.1 Descripción del experimento.....	89
2.2 Selección y establecimiento de las plantas en las huertas.....	90
2.3 Seguimiento y medición de las plantas en campo.....	91
2.4 Análisis estadísticos.....	91
<b>3. RESULTADOS.....</b>	<b>92</b>
3.1 Primera Etapa.....	92
<i>Huerta San Juan Tumbio</i>	
3.1.1 Crecimiento.....	92
3.1.2 Supervivencia.....	94
<i>Huerta San Andrés Coru</i>	
3.1.3 Crecimiento.....	95
3.1.4 Supervivencia.....	97
3.2 Segunda Etapa.....	98
3.2.1 Supervivencia en la Huerta de Acuitzio del Canje.....	98
3.2.2 Supervivencia en la Huerta de Los Ángeles Peribán.....	98
<b>4. DISCUSIÓN.....</b>	<b>99</b>
<b>5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>102</b>

### III. LISTA DE TABLAS Y GRÁFICAS

**Tabla 1.** Promedios de las altura, diámetro y número de hojas por tratamiento en cada una de las mediciones quincenales.

**Tabla 2.** Resumen de resultados de ANOVA's de dos vías. Primer Cosecha.

**Tabla 3.** Resumen de resultados de ANOVA's de dos vías. Segunda Cosecha.

**Tabla 4.** Promedios obtenidos en la primera y segunda cosecha para las variables seleccionadas como más representativas del crecimiento y la nutrición de las plantas de aguacate.

**Tabla 5.** Crecimiento en altura y diámetro de las plantas de un año a los 21, 42 y 63 días después del trasplante a campo.

**Tabla 6.** Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de un año trasplantadas a la huerta en San Juan Tumbio.

**Tabla 7.** Crecimiento en altura y diámetro de las plantas de un año a los 21, 42, 63, 84 y 105 días después del trasplante a campo.

**Tabla 8.** Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de un año trasplantadas a la huerta en San Andrés Coru.

**Gráfica 1.** Promedio de altura de la planta por tratamiento respecto al tiempo en vivero.

**Gráfica 2.** Promedio de diámetro del tallo de la planta por tratamiento con respecto al tiempo en vivero.

**Gráfica 3.** Promedio de número de hojas por planta por tratamiento respecto al tiempo en vivero.

**Gráfica 4.** Promedio de altura de las plantas en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa

**Gráfica 5.** Promedio de diámetro del tallo de las plantas en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 6.** Hojas totales, hojas con herbivoría y hojas con patógenos por planta, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 7.** Promedio de área foliar por planta en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa

**Gráfica 8.** Promedio de biomasa total en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 9.** Relación entre la biomasa aérea y radical en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 10.** Promedio del porcentaje de colonización micorrízica en las raíces del aguacate en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 11.** Promedio del porcentaje de colonización micorrízica por tipos de estructuras fúngicas, tres meses después del primer trasplante a bolsa

**Gráfica 12.** Concentración de N en hojas, en la primera cosecha tres meses después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 13.** Concentración de P en hojas en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa

**Gráfica 14.** Contenido de N en la parte aérea, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 15.** Contenido de P en la parte aérea, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 16.** Promedio de altura en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 17.** Promedio de diámetro del tallo en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 18.** Promedio de peso seco total en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 19.** Distribución de la biomasa en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 20.** Promedio de porcentaje de colonización micorrízica en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 21.** Promedio de porcentaje de colonización micorrízica separado por tipo de estructura en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 22.** Promedio de concentración de N en hojas en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 23.** Promedio de concentración de P en las hojas en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 24.** Promedio de contenido de N en la parte aérea en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 25.** Promedio de contenido de P en la parte aérea en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

**Gráfica 26.** Promedio de altura de la planta por tratamiento respecto al tiempo en la de Huerta San Juan Tumbio.

**Gráfica 27.** Promedio de diámetro del tallo de la planta por tratamiento con respecto al tiempo en la de Huerta San Juan Tumbio.

**Gráfica 28.** Promedio de altura de la planta por tratamiento respecto al tiempo en la de Huerta San Andrés Coru.

**Gráfica 29.** Promedio de diámetro del tallo de la planta por tratamiento con respecto al tiempo en la Huerta de San Andrés Coru.

**Gráfica 30.** Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de dos años trasplantadas a la huerta en Acuitzio del Canje

**Gráfica 31.** Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de dos años trasplantadas a la huerta en Peribán.

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

---

## 1. INTRODUCCIÓN GENERAL

El aguacate es una planta originaria de México y Centroamérica, el registro fósil más antiguo que se tiene data de hace aproximadamente 7000 años a.C. y fue encontrado en una cueva de Coxcatlán en la región de Tehuacán, Puebla (Smith, 1966). Desde ese tiempo el aguacate ha sido parte fundamental de la dieta de los pueblos nativos de América y no fue sino hasta mediados del siglo XX, debido a la llamada Revolución Verde y a la industrialización de la agricultura, que su cultivo evolucionó con fines comerciales cambiando por completo la forma en que se produce este fruto.

La forma convencional de intervenir los sistemas agrícolas para la producción de alimentos y materias primas, ha provocado una crisis a nivel mundial debido a la degradación de los recursos naturales con sus consecuentes impactos sociales, económicos y ambientales. Al igual que la mayoría de los sistemas manejados convencionalmente, el aguacate es la causa de una larga lista de problemas ambientales a nivel local y regional como el cambio de uso de suelo de vocación forestal a agrícola, el uso indiscriminado de agroquímicos, erosión, contaminación de suelos y mantos acuíferos, disminución de la biodiversidad, vulnerabilidad de los cultivos a plagas y un largo etcétera (INIFAP, 2009; Bravo-Espinosa et al., 2012).

Como una posible solución a esta problemática es que surge a fines de la década de los ochentas el concepto de desarrollo sustentable o sostenible, el cual trata de conciliar el desarrollo económico con los requerimientos de las generaciones futuras (Altieri, 1999; Reid, 2005; Redclift y Woodgate, 2002). Una forma de alcanzar este desarrollo sustentable en el ámbito de la agricultura es el modelo de la agricultura orgánica, que consiste en combinar los conocimientos tradicionales y los progresos científicos de todas las disciplinas agronómicas, donde se excluye por sus

resultados e impactos negativos a los insumos de síntesis química, así como la alta dependencia tecnológica y energética que éstos representan.

Una de las estrategias que se han implementado en el marco de la agricultura orgánica para sustituir a los agroquímicos en la propagación de árboles frutales, es la aplicación de abonos orgánicos y el uso de hongos micorrízicos arbusculares (González-Chávez, *et al.* 1998). En aguacate, la inoculación con hongos micorrízicos ha favorecido la resistencia al trasplante (Menge, *et al.* 1978), el desarrollo, los parámetros fisiológicos como fotosíntesis, conductancia estomática y absorción nutrimental (Godínez, *et al.* 1986; Reyes Alemán *et al.* 1998), y mayor éxito en la adaptación de plántulas propagadas *in vitro* (Azcón-Aguilar *et al.* 1992).

El presente trabajo consistió en evaluar la efectividad de cinco inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares y de dos tratamientos de suelo en el desarrollo de plantas de aguacate en vivero y posteriormente comprobar los efectos en campo, para seleccionar los más efectivos y promoverlos como alternativas biotecnológicas para la producción orgánica de aguacate desde el nivel de plántula.

## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 Crisis ecológica y su relación con la agricultura**

A lo largo de la historia, el ser humano ha ejercido una presión como ninguna otra especie sobre el planeta, consecuencia directa de la forma en que ha cubierto sus necesidades. Durante los últimos cien años, un lapso que equivale solamente al 0.05% en la historia de la humanidad, la especie humana ha modificado y afectado los ecosistemas del planeta Tierra de forma más extensa y más

rápida que en ningún otro periodo de la historia (Toledo, 1995). Esto se debe, a que en este periodo el poder de transformación adquirido por los seres humanos fue mayor gracias al uso de los combustibles fósiles y a que la lógica o racionalidad que ha dominado durante los últimos cien años, hoy alcanza su máxima expresión: la acumulación, concentración y centralización de capital, es decir, el capitalismo (Pino, 2006).

En el ámbito de la agricultura, la industrialización como motor del desarrollo en base al capital, mercantilizó a muchos de los sistemas agrarios dando origen a un sistema de manejo que se conoce como convencional. Este tipo de intervención de los sistemas agrícolas surge con mayor fuerza a mediados del siglo XX durante la llamada Revolución Verde y consistió en conseguir incrementos espectaculares en la producción de alimentos basados en el uso de semillas mejoradas, agroquímicos, maquinaria y sistemas de regadíos eficaces (Carroll *et al*, 1990). En este tipo de manejo, se considera al hombre como un actor externo, el cual interviene desde fuera al sistema sin considerar el impacto social, cultural y ambiental que esto pueda representar.

En la actualidad es claro que esta *nueva* forma de intervenir los sistemas agrícolas responde a un modelo de desarrollo insostenible que ha conducido a un desequilibrio entre la capacidad de soporte del planeta y el aumento poblacional así como a la explotación de los recursos naturales a una velocidad superior a la natural de regeneración y no podía sino venir ligada a profundos cambios tecnológicos y prácticos, así como alteraciones en las relaciones sociales de la producción agrícola y la distribución de alimentos, teniendo como consecuencia un sinnúmero de problemáticas sociales y económicas que han terminado por provocar una crisis ecológica (Carroll *et al*, 1990). El origen de esta crisis se encuentra en las reglas de funcionamiento de los sistemas de producción, caracterizados por ser monocultivos estandarizados, especializados y

fuertemente dependientes de la intervención del hombre, implicando que cada vez que aumenta el intercambio entre la agricultura y la industria, se empobrece la relación entre la actividad agraria y los ecosistemas (Roselló *et al*, 2000).

El gran progreso que ha tenido a la agricultura de la segunda mitad del siglo XX a la actualidad en términos de productividad, ha sido con base al incremento en el uso de fertilizantes, agua para riego, maquinaria y pesticidas y sería demasiado optimista asumir que esta relación se va a mantener lineal en el futuro (Pretty, 2008). Además, si consideramos las problemáticas sociales y económicas derivadas de la agricultura convencional, como la dominancia del mercado agrícola y tecnológico por un conglomerado de corporaciones, el monopolio de las patentes, la inequidad en el acceso a la tierra, tecnologías inapropiadas, etc; resulta evidente la necesidad de un nuevo modelo de agricultura, que incluya nuevas estrategias de desarrollo para asegurar una producción estable de alimentos, que sea acorde con las condiciones ambientales locales, que garantice la seguridad alimentaria, que conserve y proteja el ambiente y los recursos naturales y que en medida de lo posible erradique la pobreza (Altieri y Nicholls, 2000).

## **2.2 Desarrollo sustentable**

Se entiende por desarrollo sustentable a aquel que es capaz de satisfacer las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades (ONU, 1997). Este concepto se utilizó por primera vez en 1987 en el reporte titulado *Nuestro Futuro Común*, publicado por la Comisión Mundial de Medio Ambiente y Desarrollo de la ONU, debido a que la preocupación sobre el agotamiento de los recursos naturales y la contaminación ambiental llegó hasta las altas esferas políticas mundiales, coincidiendo en la necesidad de articular el desarrollo con el medio ambiente.

Desde esa fecha, el concepto de desarrollo sustentable se estableció como un eje fundamental para el manejo de los recursos naturales, el desarrollo de tecnologías e incluso la creación de políticas públicas y a pesar de que no existe una única definición para el concepto de desarrollo sustentable, todas las que hay coinciden en que hay tres sistemas que componen la sustentabilidad: el económico, el social y el ecológico o natural (Astier y Masera, 2008).

En relación a la agricultura, el desarrollo sustentable propone que no sólo se garantice la seguridad alimentaria mediante una mayor producción, sino también que ayude a las personas a satisfacer sus necesidades socioeconómicas y culturales y que proteja y conserve la base de recursos naturales para atender las necesidades futuras. Esto quiere decir que un sistema agrícola es sustentable cuando respeta el medio ambiente, es viable desde el punto de vista económico, justo desde el punto de vista social, apropiado culturalmente, humano y basado en un enfoque científico integral (Altieri y Nicholls, 2000).

### **2.3 Agroecología y sustentabilidad**

El concepto de agricultura sustentable es una respuesta relativamente reciente a la disminución en la calidad de los recursos naturales o de la base productiva de la agricultura moderna. La cuestión de la producción agrícola ha pasado de ser puramente técnica a convertirse en una cuestión más compleja que se caracteriza por tener dimensiones sociales, culturales, políticas y económicas (Altieri, 1995).

En ese sentido, durante los años setentas surge el concepto de agroecología, que si bien como concepto es más bien reciente, el conocimiento y la práctica de la agroecología son tan antiguos como los orígenes de la agricultura (Martínez, 2002). Según Altieri (1999) la agroecología

es un enfoque transdisciplinario que provee los principios básicos para estudiar, diseñar y manejar los sistemas agrícolas o agroecosistemas desde una perspectiva agronómica, ecológica, socioeconómica y cultural.

La agroecología como enfoque ecológico del proceso agrícola, no solo abarca la producción de alimentos, sino que toma en cuenta los aspectos culturales, sociales y económicos que se relacionan e influyen en la producción. Integra saberes tradicionales con el conocimiento técnico moderno para obtener métodos de producción que respeten el ambiente y la sociedad, de modo de alcanzar no solo metas productivas, sino también la igualdad social, seguridad alimentaria, y la sustentabilidad de los agroecosistemas (Martínez, 2002). Se perfila como la ciencia fundamental para orientar la conversión de sistemas convencionales de producción a sistemas más diversificados y autosuficientes. Para esto la agroecología utiliza principios ecológicos que favorecen procesos naturales e interacciones biológicas que optimizan sinergias de modo tal que la agrobiodiversidad sea capaz de subsidiar por si misma procesos claves tales como la acumulación de materia orgánica, fertilidad del suelo, mecanismos de regulación biológica de plagas y la productividad de los cultivos (Gliessman *et al*, 1998).

## **2.4 Transición ecológica**

Para fomentar la transición de un sistema de producción agrícola convencional a uno sustentable, lo primero que se necesita es un cambio en la visión de los agricultores sobre sus fincas, tienen que ser ellos los que decidan trabajar con procesos naturales y comprendan que se trata de comenzar un sistema de producción nuevo y distinto al convencional, con modelos que están diseñados para optimizar la salud del suelo, de los cultivos y de las personas (Altieri y Nicholls, 2000).

Según Gliessman (2002) el paso desde una agricultura convencional hacia una agricultura sostenible debe ser un proceso organizado y armónico, en el cual la primera etapa sería la sustitución de insumos sintéticos por orgánicos, para luego llegar a una etapa de rediseño y manutención de prácticas sostenibles a través del tiempo. Esta transición se puede entender como un proceso de conversión predial que implica la sustitución de tecnologías contaminantes y altamente dependientes del capital y de técnicas de manejo degradantes, por otras menos demandantes y de mayor accesibilidad para los agricultores, permitiendo mantener la diversidad y la capacidad productiva a largo plazo (Guzmán *et al*, 2000).

Para Gliessman *et al* (1998) el proceso de conversión de sistemas convencionales a sistemas diversificados de baja intensidad de manejo es de carácter transicional y se compone de tres fases:

- Eliminación progresiva de insumos agroquímicos mediante la racionalización y mejoramiento de la eficiencia de los insumos externos a través de estrategias de manejo integrado de plagas, malezas, suelos, etc.
- Sustitución de insumos sintéticos por otros alternativos u orgánicos.
- Rediseño de los agroecosistemas con una infraestructura diversificada y funcional que subsidia el funcionamiento del sistema sin necesidad de insumos externos sintéticos u orgánicos.

## **2.5 Agricultura orgánica**

En la actualidad existe una amplia gama de sistemas de manejo alternativos a la agricultura convencional, entendiéndose por alternativo a aquel enfoque de la agricultura que intenta

proporcionar un medio ambiente balanceado, rendimiento y fertilidad del suelo y control natural de plagas, mediante el diseño de agroecosistemas diversificados y el empleo de tecnologías auto-sostenidas (Altieri y Nicholls, 2000). Uno de los sistemas más populares es el de la agricultura orgánica.

La agricultura orgánica, algunas veces considerada sinónimo de agricultura biológica o ecológica, se define como un sistema de producción que mantiene y mejora la salud de los suelos, los ecosistemas y las personas. Se puede considerar como el primer paso hacia una agricultura sustentable pues se basa fundamentalmente en los procesos ecológicos, la biodiversidad y los ciclos adaptados a las condiciones locales sin usar insumos que tengan efectos adversos. Combina tradición, innovación y ciencia para favorecer el medio ambiente y promover relaciones justas y una buena calidad de vida para todos los que participan en ella (IFOAM). Según la Comisión de Codex Alimentarius del programa conjunto FAO/OMS (1999), esto se consigue aplicando, en forma armónica, métodos agronómicos, biológicos y mecánicos, para desempeñar cualquier función dentro del sistema, buscando remplazar los insumos externos por recursos que se obtienen dentro del mismo predio o de sus alrededores y de esta forma equilibrar la producción obtenida con los insumos utilizados.

En la actualidad, diversos factores de carácter ambiental, social, económico, cultural y político, han motivado el interés por el desarrollo de la agricultura orgánica (Gómez *et al*, 2010), la cual se presenta como una alternativa válida y con grandes ventajas, pues se asegura en el largo plazo la mantención de los recursos naturales para la producción agrícola y la obtención de alimentos sanos y nutritivos al tiempo que se eliminan los impactos negativos atribuidos a la agricultura convencional (Rosset, 1997). Se caracteriza por contar con certificados emitidos por

agencias internacionales, con el fin de indicar al consumidor que para producir un producto, se han utilizado ciertos métodos de producción. En ese sentido, el término orgánico denota un proceso y no un producto.

## **2.6 Situación de la agricultura orgánica en México y en el mundo**

El cuidado de la salud y la protección del medio ambiente son los principales motivos por los cuales los consumidores prefieren los productos orgánicos y aunque algunos de ellos manifiestan una preferencia por alimentos y productos de producción local, la demanda de algunos alimentos durante todo el año hace que para cualquier país, sea imposible obtener la totalidad de los alimentos orgánicos dentro de sus fronteras. Como resultado de ello, muchos países han comenzado a exportar con éxito productos orgánicos provocando que la agricultura orgánica poco a poco vaya adquiriendo una mayor importancia en el sector agrícola (FAO, 1999).

Según el reporte de la IFOAM (2011), en el 2009 cerca del 0.9 % de la superficie agrícola mundial era manejada bajo esquemas de producción orgánica alcanzando 37.2 millones de hectáreas donde Oceanía lideraba con 12.2 millones, seguida por Europa con 9.3 y América Latina con 8.6 millones de hectáreas. Los países con la mayor producción orgánica fueron Australia, Argentina y Estados Unidos y los que presentaron el mayor número de agricultores y ganaderos certificados como orgánicos fueron India, Uganda y México.

Gómez *et al* (2010), reportan que en el ámbito mundial, México está ubicado como país productor-exportador de productos orgánicos. Ocupa la posición 16 respecto a la superficie orgánica con 378,693 hectáreas, el tercero con respecto al número de productores con más de

128,000 y es el país con mayor diversidad de cultivos producidos orgánicamente, con alrededor de 81 cultivos.

El 91.5% de la superficie orgánica cultivada en el país se encuentra en los estados de Michoacán, Chihuahua, Guerrero, Jalisco, Sonora, Sinaloa, Chiapas y Oaxaca, concentrando entre éstos dos últimos el 49.3% de la superficie nacional bajo manejo orgánico y cerca del 85% de la producción orgánica de México que se destina en al mercado de exportación, principalmente a países como Estados Unidos, Alemania, Holanda, Japón, Inglaterra y Suiza. El mercado interno está en una etapa muy incipiente aún pues menos del 5% de la producción orgánica nacional es la que se comercializa y consume en el territorio nacional (Gómez, 2004).

### **3. EL AGUACATE EN MÉXICO**

#### **3.1 Historia del aguacate**

El aguacate (*Persea americana* Mill.) es una planta originaria de la parte central de México, Guatemala y la costa del Pacífico en Centroamérica. Su nombre proviene del vocablo náhuatl “ahuacatl” que significa testículo y la evidencia mas antigua del consumo de aguacate fue encontrada en una cueva de Coxcatlán en la región de Tehuacán, Puebla, data de los años 8000 a 7000 a.C. (Smith, 1966). No se sabe cuándo comenzó una selección consciente del aguacate en busca de mejor calidad de fruto para su propagación, lo que si se sabe es que desde su domesticación, el aguacate ha sido parte fundamental de la dieta de los pueblos nativos de Mesoamérica. Éstos contaban con un buen conocimiento acerca del aguacate y de sus variantes, como se muestra en el Códice Florentino, donde se mencionan tres tipos de aguacate, que de

acuerdo a su descripción son: “aoacatl” que podría tratarse de *Persea americana* var. *drymifolia* (raza Mexicana), “tlacacolaocatl” *Persea americana* var. *americana* (Raza Antillana) y “quillaoacatl” *Persea americana* var. *guatemalensis* (raza Guatemalteca) (Sánchez-Colín, sin fecha).

Después del descubrimiento de América y de la conquista de México, el aguacate se dispersó a otros lugares del mundo y hasta finales del siglo XIX y principios del XX su consumo estuvo basado en la producción de plantas de las razas mexicana y antillana. No fue sino hasta las décadas de los 50 y 60, gracias a técnicas de propagación como el injerto, que se comenzaron a producir nuevas variedades dando lugar al establecimiento de las primeras huertas de la variedad Hass que es la más comercial en la actualidad.

### **3.2 Características botánicas**

El aguacate es una planta dicotiledónea perteneciente al orden de las Ranales y a la familia de las Lauráceas. Fue clasificada por Gaeruiet como *Persea grattissima* y posteriormente como *Persea americana* por Miller. Es un árbol frondoso, de hoja perenne y con un tronco y ramificaciones vigorosas que alcanza hasta los 20 metros de altura. Tiene una floración abundante y en racimos, cada flor abre en dos momentos distintos y separados, es decir los órganos femeninos y masculinos son funcionales en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación. Las flores abren primero como femeninas, cierran por un período fijo y luego abren como masculinas en su segunda apertura. El fruto, que es una baya de una semilla oval, de superficie lisa o rugosa y color verdoso, tiene un rango de peso bastante amplio que en las variedades comerciales oscila entre los 120 a 350 gramos. Cuando está maduro, la pulpa tiene una consistencia como de mantequilla dura y su sabor recuerda levemente al de la nuez, es muy rico en proteínas y en grasas, con un contenido de aceite del 10 al 20 por ciento (Reyes Alemán *et al*, 2007).

### **3.3 Requerimientos del cultivo**

Es difícil definir los requerimientos ecológicos para el aguacate tomando en cuenta la variabilidad de razas y variedades que existen. Las condiciones favorables para el cultivo serán aquellas que permitan la mejor expresión del comportamiento vegetativo, floral y de fructificación del material de acuerdo a sus características (Reyes Alemán *et al*, 2007).

Según la APROAM (2011) para obtener un crecimiento y desarrollo óptimo, el cultivo de la variedad Hass requiere una temperatura mínima de 10°C y de 28 a 33°C como máxima. Se desarrolla favorablemente en áreas con una precipitación anual de 1000 a 1800 milímetros, una humedad relativa del 60 al 80%, un fotoperiodo anual de 980 a 1200 horas luz y un régimen térmico anual de 1750 a 3250 unidades calor acumuladas entre 10 y 30°C. Puede cultivarse desde los 800 hasta los 2500 msnm, en climas templados húmedos y subhúmedos, así como en semiáridos húmedos y subhúmedos. En cuanto a los suelos, el Andosol de la clasificación de la FAO, ha mostrado ser el óptimo, aunque también se puede desarrollar en cualquier otro con textura media con un pH de 5.5 a 6.5, una salinidad menor a 2 mmhos/cm y con un contenido de materia orgánica de 2.5 a 5%. La fertilización del aguacate, depende del tipo de suelo, de la edad de la planta y de la variedad de cultivo.

### **3.4 Propagación del aguacate en vivero**

La propagación de plantas de aguacate puede llevarse a cabo fácilmente por medio de semillas, pero debido a la alta variabilidad que esta técnica representa, los productores han optado por utilizar técnicas como la propagación vegetativa ya que para ellos resulta de suma importancia producir planta de calidad, con características estándares ya definidas (Bautista *et al*, 2002).

En Michoacán, la práctica más común para producir planta de aguacate es la de utilizar semillas de aguacates criollos, producto de reproducción sexual, para obtener patrones que posteriormente se injertan con varetas de árboles de las variedades Hass, obtenidas asexualmente y tener como resultado un producto homogéneo y bien aceptado en el mercado (Bautista *et al*, 2002).

El uso de las semillas criollas garantiza la variedad genética y fortalece a las plantaciones aunque después se injerten. Sin embargo la gran demanda de plantas para establecer nuevas plantaciones y la limitada oferta de semillas criollas ha orillado a los viveristas a usar cada vez más semilla de Hass que después se vuelve a injertar con alguna de las otras variedades de Hass, lo cual reduce su variabilidad genética y puede aumentar su susceptibilidad a patógenos y plagas (*Comunicación personal de viveristas*).

El proceso de propagación de plantas de aguacate consiste en sembrar semillas criollas en almácigos, trasplantar las plántulas a bolsas de plástico pequeñas, injertarlas con la variedad deseada y después trasplantarlas a bolsas de plástico de mayor capacidad para que las plantas terminen su desarrollo hasta que estén listas para su venta.

El INIFAP caracteriza el proceso de propagación de aguacate en las siguientes etapas:

- Construcción del almácigo
- Desinfección del almácigo
- Obtención de la semilla
- Siembra
- Trasplante a bolsas de plástico

- Selección de la varetta
- Injerto
- Trasplante a una segunda bolsa

### **3.5 Importancia del aguacate a nivel nacional e internacional**

Aunque el aguacate es una fruta que se consume generalmente fresca, también tiene una gran variedad de usos en la industria cosmética y farmacéutica, como producto procesado y como complemento de todo tipo de comidas debido a su alto contenido de proteínas, vitaminas y minerales. Debido a esto, ha dejado de ser una fruta exótica para integrarse a la dieta de muchos países, provocando que en los últimos años, el mercado del aguacate haya demostrado una tendencia positiva, es decir, que la cantidad demandada de aguacate en el mundo sea cada vez mayor (APROAM, 2011).

Según datos de la FAO (FAOSTAT, 2010), en el 2010, la producción mundial del aguacate fue de 3.8 millones de toneladas cosechadas en poco más de 459 mil hectáreas. Los principales productores fueron México con el 28% de la producción mundial, Chile con el 8.5%, República Dominicana con 7.1%, Indonesia con 5.8% y Colombia con 5.2%.

En el contexto internacional, México lleva años siendo líder en superficie cultivada y en producción. Según datos del Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP-SAGARPA, 2010), se reportó que para el 2010 había 134,322 hectáreas sembradas de aguacate en el país, de las cuales 123,403 estaban en producción y se cosecharon 1,107,135 toneladas dejando una derrama económica de más de 14 mil millones de pesos. Del total de la producción, el 69% fue

para consumo nacional, el 12% para exportación, siendo los principales destinos Estados Unidos, Japón y Canadá y el 19% para la industria.

A nivel nacional, son 29 los estados donde se produce aguacate, sin embargo, su explotación a nivel comercial se practica solo en 16. En cinco de ellos se concentra alrededor del 86% de la superficie sembrada, el 88% de la superficie cosechada y el 89% de la producción. Los estados de mayor importancia son Michoacán, Nayarit, Estado de México, Puebla y Morelos (Quintero, 2002).

### **3.6 Importancia del aguacate en Michoacán**

El estado de Michoacán es el principal productor de aguacate de México y del mundo. Tiene una superficie cultivada de 103,302 hectáreas con una producción anual de 950,942 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2010) representando el 83.7 % del total de la superficie plantada a nivel nacional y el 28% de la producción mundial, ubicándolo como el principal productor en el mundo, además es el principal exportador con el 22% del total mundial (Anguiano *et al.*, 2006).

De 46 municipios que producen aguacate en Michoacán, 6 representan 80% de la producción total en el estado, éstos son Tacámbaro (16%), Salvador Escalante (15%), Peribán (14%), Ario de Rosales (12%), Tancítaro (11%) y Uruapan (10%).

La principal variedad cultivada es la variedad Hass y se estima que durante el ciclo 2005 generó un ingreso bruto por \$5,5 mil millones de pesos y se crearon empleos a razón de 1.5 personas por cada 10 hectáreas, generando 11,707 empleos directos, 70 mil estacionales, y 187 mil empleos indirectos permanentes (CONAPA-COMA, 2005).

## 4. INÓCULOS MICORRÍZICOS

### 4.1 Microorganismos del suelo y los hongos micorrízicos arbusculares

El funcionamiento de los ecosistemas terrestres depende en gran medida de la actividad microbiana del suelo y de las interacciones que tienen con el ambiente y con los demás componentes de los ecosistemas. Los microorganismos como bacterias, actinomicetos, hongos, algas y protozoarios juegan un papel fundamental no sólo en los ciclos biogeoquímicos de los nutrientes, sino que además, protagonizan diversas acciones que producen beneficios para las plantas con las que se asocian. Algunas de estas acciones son la facilitación en la captación de nutrientes, la producción de fitohormonas que favorecen el enraizamiento, protección a la planta contra patógenos, incremento en la resistencia y tolerancia de la planta a la sequía o salinidad, descomposición de sustancias tóxicas en el ecosistema y un mejoramiento de la estructura del suelo (Jeffries y Barea, 2000).

Un grupo de microorganismos presentes en el suelo y que resultan de vital importancia para las plantas tanto cultivadas como silvestres son las micorrizas. Se conoce como micorriza a la asociación mutualista establecida entre las raíces de la mayoría de las plantas y ciertos hongos del suelo (Smith y Read, 1997). Se trata de una simbiosis prácticamente universal ya que se encuentra de forma natural en casi todos los ecosistemas terrestres y alrededor del 90% de las especies vegetales la establecen. Las micorrizas se encuentran en condiciones naturales en la mayoría de los cultivos tropicales y subtropicales de interés agronómico (Sieverding, 1989) y se asocian a plantas de interés económico como las gramíneas, leguminosas, hortalizas y frutales.

La palabra micorriza proviene partir del término griego *mycos* (hongo) y del vocablo latín *rhizos* (raíz) y significa la unión de la raíz de una planta con las hifas de determinados hongos. A

pesar de que su historia es tan antigua como la de las propias plantas, no fue hasta 1885 que el botánico alemán Albert Berhhard Frank detectó su presencia en varios árboles frutales y a partir de entonces comenzó a extenderse su estudio en la agricultura y jardinería (Plenchette, 1982).

Como en toda relación simbiótica, ambas partes reciben un beneficio, en este caso el hongo suministra a la planta nutrientes como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, azufre, cobre, molibdeno, hierro y agua que extrae del suelo debido a que funciona como una extensión del sistema radical de la planta, mientras que ésta por su parte, proporciona al hongo un nicho ecológico y carbohidratos en forma de fructosa, glucosa y sacarosa producidos por la fotosíntesis (Read, 1999).

En la naturaleza existen 6 tipos de micorrizas bien definidas (Smith y Read, 1997), sin embargo, Ferrera-Cerrato y Alarcón (2001) distinguen dos principales tipos de micorrizas según su importancia forestal, agrícola, frutícola y hortícola:

- La ectomicorriza: este tipo de micorriza se caracteriza porque el hongo forma sobre la superficie de la raíz un manto micelial, y las hifas que penetran a la corteza radical se distribuyen de manera solamente intercelular (Alarcón *et al*, 2004).
- La endomicorriza arbuscular: es un tipo de micorriza en el que no se forma manto fúngico y las hifas del endófito crecen no solo inter, sino también intracelularmente (Ferrera-Cerrato *et al*, 1993). Son las más importantes pues son las que se encuentran distribuidas más ampliamente a nivel geográfico y también son las que cuentan con la mayor cantidad de especies vegetales y fúngicas implicadas (Smith y Read, 1997).

Anteriormente los hongos micorrízicos arbusculares, como también se conoce a la endomicorriza arbuscular, estaban clasificados en la Clase de los Zygomycetes en el Orden de los Glomales, distribuidos en seis géneros (*Glomus*, *Sclerocystis*, *Acaulospora*, *Entrophospora*, *Gigaspora* y *Scutellispora*) con un número no mayor de 250 especies en total (Walker, 1992). Sin embargo, recientes estudios indican que pertenecen al Phylum Glomeromycota y existen más de 200 especies clasificadas en 4 clases: Glomerales, Diversisporales, Paraglomerales y Archaesporales (Schübler *et al*, 2001).

## **4.2 Morfología de los HMA**

Los hongos micorrízicos arbusculares son organismos simbiotes obligados, es decir, que para completar su ciclo de vida necesitan colonizar una planta susceptible y establecer la simbiosis. Como se había mencionado antes, no forman manto ni red fúngica y las hifas del hongo crecen no solo inter, sino también intracelularmente. Se caracterizan porque producen a lo largo de su ciclo de vida, unas estructuras conocidas como arbuscúlos (en todos los casos) y vesículas (en la mayoría de ellos). Los arbuscúlos son estructuras muy ramificadas que se generan en el interior de las células corticales de las plantas y cuyo papel es contribuir al intercambio de nutrientes y aumentar la capacidad de absorción por ambos participantes de la simbiosis, tienen un tamaño comparable al de las mitocondrias y su vida aproximada es de 1 a 3 semanas. Las vesículas generalmente se forman a partir del hinchamiento de una hifa terminal y son estructuras globosas e irregulares que actúan como órganos de reserva de lípidos (Martínez Trujillo *et al*, 2007).

## **4.3 Formación de la simbiosis**

Según Azcón y Barea (1997), la infección de los HMA inicia con la germinación de las esporas cuando las condiciones de humedad y temperatura son adecuadas. Estas esporas generan un

micelio que en ausencia de planta hospedadora alcanza un desarrollo muy limitado, pero que por el contrario, si encuentra una raíz susceptible a ser micorrizada, experimenta una notable estimulación que se manifiesta en una abundante ramificación aumentando las posibilidades de hacer contacto con la raíz.

Cuando una hifa contacta con la superficie de la raíz, se adhiere a ella y forma un apresorio, estructura de pre-colonización a partir de la cual, dos o tres días después, se iniciará la penetración en la raíz de la planta. Una vez superadas las primeras capas de células de la raíz, el hongo coloniza el córtex de la misma extendiéndose por los espacios intercelulares presentes, formando a intervalos regulares pequeñas ramificaciones que penetran las paredes celulares y se ramifican dicotómicamente, de forma repetida, dando lugar a los arbuscúlos. Simultáneamente a la colonización de la raíz, el hongo desarrolla en el suelo una red de micelio que constituye la fase extraradical de la simbiosis, la principal responsable de la absorción de nutrientes minerales que serán posteriormente cedidos a la planta y donde se da una serie de interacciones de gran importancia para el desarrollo de las plantas como el equilibrio de las poblaciones microbianas en el suelo, la formación de agregados estables en el mismo y el mantenimiento de su estructura (Jeffries & Barea, 2000).

#### **4.4 Aplicación y uso de los HMA como inoculantes en la fruticultura**

Los microorganismos aprovechados en la agricultura han tenido diversas denominaciones. Tradicionalmente se ha utilizado el término “inóculo” que se refiere a la introducción de organismos en un sustrato cualquiera (Font Quer, 1977), pero también se han denominado “biofertilizantes” (Dommergues, 1978) e “inoculantes microbianos” (Kapulnik y Okon, 2002). Según la SAGARPA, estos términos hacen referencia cualquier producto elaborado a base de

microorganismos, que al aplicarse al suelo o a las semillas, favorece el aprovechamiento de los nutrimentos en asociación con la planta o su rizósfera.

Para Ramírez (2002), existen dos principales tipos de inoculantes: los que se utilizan para el control de enfermedades en los cultivos y los que estimulan el crecimiento vegetal. A su vez existen diversas presentaciones de inoculantes para su comercialización: en polvo, líquidos y granulados. Los más comunes son los que se aplican a la semilla y van impregnados en turba (materia orgánica de musgos y líquenes), pero también pueden distribuirse en suelo molido, medios de agar, caldos nutritivos, liofilizados, o en medios de aceite.

Dentro de la amplia gama de inoculantes microbianos que existen en el mercado, los hongos micorrízicos arbusculares han despertado un interés particular en el campo de la horticultura, la fruticultura, la reforestación y el cultivo de plantas ornamentales debido al papel que desempeñan en la ecología y fisiología de las plantas (Azcón y Barea, 1997), además de que influyen en la estabilización del suelo y la composición vegetal, productividad, diversidad y sustentabilidad en diferentes ecosistemas y agroecosistemas (Van der Heijden *et al*, 1998).

Los beneficios que los HMA brindan a sus hospedantes son muy variados y numerosos. El más importante consiste en brindar nutrientes a las plantas, principalmente aquellos de poca movilidad en el suelo o que están presentes en concentraciones muy bajas como los iones fosfato, debido a la capacidad de sus hifas crecer más allá de la zona de agotamiento de fosfato que se desarrolla rápidamente alrededor de la raíz. Otros beneficios son: aumento de la resistencia a insectos herbívoros, mejoran la resistencia a la sequía, brindan protección contra patógenos del suelo y favorecen tolerancia a la salinidad y metales pesados. También se ha medido el aumento

de la absorción de macronutrientes, incluyendo el nitrógeno, así como una mayor absorción de algunos micronutrientes como el potasio y magnesio (Azcón y Barea, 1997; Smith y Read, 1997).

## 5. JUSTIFICACIÓN

En un mundo en crisis donde el crecimiento poblacional parece no tener límites, donde las fallas en el mercado son cada vez más evidentes, donde la pobreza ha alcanzado su punto más crítico y donde los hábitos de consumo no dan descanso a la tierra ni posibilidad de recuperarse; la producción y distribución de alimentos se encuentra frente un gran desafío. Un desafío que consiste en producir alimentos sanos y suficientes para satisfacer la demanda de una población cada día más numerosa, manteniendo un equilibrio entre el desarrollo económico y la protección del medio ambiente al tiempo que se garantice que estos alimentos sean accesibles para todos los sectores de la población.

El sistema de producción convencional de alimentos ha sido la causa de una larga lista de problemas ambientales que van desde la deforestación y el cambio de uso de suelo hasta la degradación, contaminación y erosión de los suelos, el agotamiento de mantos acuíferos, el uso ineficiente de agua y energía y la contaminación de suelos y agua (INIFAP, 2009), debido a ello, las tendencias del mercado han generado nuevos criterios orientados a replantear las bases para un manejo ecológico de los sistemas agrícolas orientados hacia la protección y conservación de los recursos naturales, por lo que algunas actividades como el enriquecimiento de los suelos agrícolas, utilización apropiada del agua de riego, y la reducción casi total del uso de plaguicidas y fertilizantes químicos retoman una gran importancia.

La mayoría de los cultivos frutícolas, específicamente aquellos que se establecen en campo y de hábito perenne como lo es el aguacate, necesariamente requieren de períodos de crecimiento a nivel de vivero. Es precisamente en esta fase, donde la aplicación de los inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares representa un alto potencial ya que actúan como aceleradores del crecimiento, por lo que se pueden obtener plantas con mayor vigor y sanidad. Otro beneficio sería desde el punto de vista económico, ya que los costos de producción podrían ser menores en función de la reducción de la aplicación de fertilizantes y plaguicidas (Martínez Trujillo *et al*, 2007; Alarcón *et al*, 2004; Carreón Abud *et al*, 2007).

Los inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares son una alternativa biotecnológica que puede contribuir a lograr una agricultura sustentable y no contaminante del medio ambiente por lo que una correcta selección y aplicación de HMA, puede determinar el éxito en la producción. En años recientes se han empezado a comercializar inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares, algunos de procedencia nacional y algunos de origen foráneo, cuyos efectos y capacidad competitiva con la biota nativa son desconocidos y cuya aplicación es muy variable e inconsistente. Algunos viveristas han comenzado a utilizar estos productos sin conocer sus efectos, su eficacia y la forma y los momentos adecuados para su aplicación.

Frente a esta situación es que surgen algunas preguntas: ¿Existe algún tratamiento de suelo o biofertilizante que pueda mejorar la salud y nutrición de las plantas de aguacate en la etapa de vivero? ¿Son los inoculantes micorrízicos locales una buena opción para la producción de planta de aguacate en vivero, en comparación con los inoculantes foráneos? ¿El uso de inoculantes micorrízicos aumenta la sobrevivencia de las plantas una vez que son trasplantadas a campo? Este estudio se diseñó para comparar el efecto de la aplicación de algunos inoculantes

locales y foráneos al momento de la siembra de las semillas en el crecimiento y la nutrición de las plantas durante la etapa de vivero y posteriormente al trasplantarse a plantaciones en campo.

## 6. OBJETIVOS

### 6.1 Objetivo general

- Evaluar la efectividad de varios inoculantes locales y foráneos de hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo y sanidad de plantas de aguacate (*Persea americana* Mill.) en vivero y posteriormente en campo, para seleccionar los más efectivos y promoverlos como alternativas biotecnológicas para la producción orgánica desde el nivel de plántula.

### 6.2 Objetivos particulares

- Determinar el efecto de la solarización del suelo en el desarrollo y la sanidad de plantas de aguacate (*Persea americana* Mill.).
- Determinar el efecto de los inoculantes micorrízicos usados en el crecimiento, la sanidad y la nutrición de las plantas de aguacate (*Persea americana* Mill) bajo un esquema de producción orgánica.
- Determinar el efecto de los tratamientos de suelo e inoculación en el desarrollo y sanidad de las plantas de aguacate (*Persea americana* Mill) en la etapa de vivero y sobre la supervivencia de las plantas de uno y dos años de edad al trasplante a campo.

## 7. HIPÓTESIS

- El uso de inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares en combinación con un tratamiento de solarización del suelo mejora el crecimiento, sanidad y nutrición de las plantas de aguacate en vivero y aumenta la tasa de supervivencia al ser trasplantados a campo porque la solarización facilitará el establecimiento de los inoculantes y reducirá el ataque de patógenos y por los múltiples beneficios nutricionales, fisiológicos y fitosanitarios que pueden conferir los HMA.
- Los inoculantes de hongos micorrízicos arbusculares nativos de suelos donde se cultiva el aguacate serán mejores que los foráneos porque estas cepas están adaptadas a las condiciones ambientales de los viveros y el campo en Michoacán.

# CAPÍTULO 2. EFECTO DEL TRATAMIENTO DEL SUELO Y LOS INOCULANTES EN EL CRECIMIENTO Y NUTRICIÓN DE PLANTAS DE AGUACATE EN LA ETAPA DE VIVERO

---

## 1. INTRODUCCIÓN

El actual sistema de producción de plantas de aguacate, al igual que la mayoría de productos agrícolas en base al uso indiscriminado de fertilizantes y plaguicidas químicos, ha sido la causa de una larga lista de problemas socio-económicos y ecológicos, teniendo graves consecuencias en nuestra vida diaria con efectos que van desde pérdidas económicas y problemas de salud hasta daños irreversibles en el ecosistema del suelo (INIFAP, 2009).

Desde la década de los cuarenta se han buscado alternativas al uso de estos productos, que sean amigables con el ambiente y que lleven las prácticas agrícolas a un nivel de sostenibilidad. Según Altieri (1999), esta sostenibilidad se puede alcanzar mediante prácticas de manejo que hagan un uso eficiente de energía y recursos, con un correcto reciclaje de nutrientes y materia orgánica, que provean de condiciones edáficas óptimas para el crecimiento de los cultivos, que minimicen las pérdidas por plagas y malezas mediante prevención de ataques, bioantagonistas y métodos físicos, y finalmente que produzcan alimentos locales adaptados al entorno socioeconómico y natural.

En este sentido, en los últimos años se ha rescatado la importancia de la actividad biológica del suelo y el papel de los microorganismos en la nutrición de las plantas con el fin de desarrollar tecnologías que minimicen el uso de agroquímicos y aprovechen las interacciones que se dan naturalmente en la naturaleza para lograr una producción orgánica. Estas tecnologías con base al uso de microorganismos se conocen como biofertilizantes o inoculantes microbianos. Un tipo de estos inoculantes son las micorrizas, que son una asociación simbiótica entre un grupo particular de hongos y las raíces de las plantas teniendo como escenario el suelo donde ambos organismos resultan beneficiados en aspectos fisiológicos y nutrimentales (Carreón *et al*, 2007).

México y en particular el estado de Michoacán destacan como primer productor, consumidor y exportador de aguacate en el mundo. En este estado se cultiva alrededor del 84% de la producción nacional en 46 de sus 113 municipios. Cuenta con más de 10,000 productores que integran 23 asociaciones agrícolas, 296 empacadoras y 6 agroindustrias (CONAPA-COMA, 2005). Esto nos puede dar una idea de la importancia que tiene el cultivo en la región y de las magnitudes de su impacto sobre los ecosistemas.

A partir de los años noventa, se empezó a sensibilizar al sector productivo a cambiar a esquemas de producción orgánica de aguacate (Bárcenas y Aguirre 2005). Esta situación dio pie al surgimiento de gran cantidad de viveros que producen plantas de aguacate ya sea para labores de replante o para ampliar la superficie plantada. Los viveros resultan de especial interés ya que es en esta etapa, en donde las micorrizas deberían ser aplicadas para obtener los mejores resultados, reducir el daño al ambiente y promover un enfoque de producción sustentable al tiempo que se incrementa la productividad (Reyes Alemán *et al*, 1997).

La aplicación hongos micorrízicos arbusculares a sistemas de propagación y manejo de plantas que requieren el paso por almácigo o vivero ha contribuido en la obtención de plantas de excelente porte, bien nutridas, sanas e incluso de mejor calidad en comparación con aquellas que fueron producidas con fertilizantes (Azcón-Aguilar *et al*. 1992; Vidal *et al*. 1992; Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000).

Los beneficios de usar HMA en los viveros consisten en una mejor nutrición vegetal, un incremento de la resistencia de las plantas frente a situaciones de estrés abiótico y biótico, disminución del uso de productos químicos, una mayor y más uniforme producción, una mayor

rapidez de crecimiento de las plantas y un ahorro en riego y productos fitosanitarios. Además, la micorrización temprana confiere un beneficio en cuanto a establecimiento de la plantación y supervivencia al trasplante (Camprubí, *et al.*, 2000).

Estos efectos resultan más evidentes en suelos donde las poblaciones de HMA nativos no existen, o han sido eliminadas por empleo de prácticas agrícolas desfavorables para su desarrollo como la fumigación del suelo y el cultivo intensivo (Sieverding, 1991). El uso de hongos nativos puede resultar altamente favorable, ya que éstos están en ventaja por su alto grado de adaptación a las diversas condiciones edafo-climáticas presentes.

Aunque se sabe que no hay una especificidad muy estricta entre los HMA, diferentes especies de plantas, e incluso variedades dentro de la misma especie, difieren considerablemente en su nivel de sensibilidad al ser colonizadas por HMA determinando la efectividad del uso de los hongos (Gianinazzi-Pearson, 1984). Por ello es necesario realizar ciertas pruebas con el fin de seleccionar el hongo más útil y aplicarlo al vivero con el fin de obtener plantas que presenten características que les permitan adaptarse de mejor manera a las condiciones al momento de su trasplante a terreno definitivo (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). Una vez encontrado el hongo es posible cambiar radicalmente la manera de cultivar las plantas del vivero, pasando de una fertilización con agroquímicos y aplicación de fungicidas altamente tóxicos, a un cultivo prácticamente orgánico en donde las micorrizas mejoran el crecimiento y nutrición de las plantas y además sean un agente de control biológico frente a plagas y enfermedades.

Una práctica que utiliza gran parte de los viveristas es desinfectar el suelo de los almácigos con productos como bromuro de metilo, con la finalidad de eliminar a los patógenos que pudieran

afectar la germinación de las plántulas. Un problema de esta práctica es que además de la toxicidad de estos productos, cuando se eliminan los patógenos, también se eliminan a los microorganismos benéficos como los hongos micorrízicos arbusculares. La solarización, en cambio, es un procedimiento muy sencillo, inocuo y económico que si se realiza de manera profiláctica, antes de que ocurra una infestación, puede ayudar a iniciar el proceso de crecimiento con un suelo libre o pobre en patógenos, porque sus propágulos son en su mayoría sensibles al calor. La solarización puede reducir los propágulos de los hongos micorrízicos arbusculares pero rara vez los elimina por completo (Schreiner et al., 2011).

Este experimento se diseñó con la finalidad de evaluar la efectividad de dos inoculantes de hongos micorrízicos locales, dos foráneos, y un consorcio de Veracruz, así como el efecto de la solarización del suelo en el desarrollo y la sanidad de plántulas de aguacate (*Persea americana Mill*) en vivero, con el fin de seleccionar los más efectivos y promoverlos como inoculantes para la producción orgánica de aguacate desde el vivero.

## **2. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.1 Descripción del experimento**

El experimento se llevó a cabo en el vivero “Ramos” ubicado en la ciudad de Uruapan Michoacán, (19°25'10"N, 102°03'30"O). El vivero, aunque es de producción convencional, accedió a mantener de manera orgánica las plantas producidas para el experimento. Las plantas del vivero que recibían una gran cantidad de insumos fueron las plantas de referencia para el conjunto de los tratamientos orgánicos implementados. El vivero Ramos, produjo cientos de miles de plantas de aguacate mientras se realizó este trabajo y su propietario informó que las plantas se requerían de

todas partes del país en grandes cantidades. El vivero usa algunos insumos locales: suelos, semillas criollas, varetas de Hass y gallinaza de la zona y algunos insumos externos: cal comercial, sulfato de cobre, fertilizantes y pesticidas químicos.

## 2.2 Desinfección del suelo

El sustrato que se usa más comúnmente en los viveros para la producción de planta de aguacate es suelo de origen forestal de los alrededores.

Para este experimento se utilizaron dos tipos de suelo:

- Suelo *fresco*: es el suelo que normalmente se usa en el vivero sin ninguna clase de desinfección. Consistió en un suelo forestal proveniente de la localidad de Capacuaro, que es de tipo Andosol (clasificación FAO/WRB).
- Suelo solarizado: este suelo es el mismo que el denominado fresco con la diferencia de que fue sometido a un proceso de solarización. Este proceso consistió en hacer una cama de aproximadamente 25 cm de altura, humedecer ligeramente y cubrir el suelo húmedo con una capa de plástico transparente durante 45 días con el fin de generar un efecto invernadero de forma que el calor eliminara la mayor cantidad de microorganismos presentes en el suelo que pudieran afectar tanto al desarrollo de la planta como la colonización micorrízica. Este tratamiento se utilizó como una alternativa a la desinfección química.

Después de la solarización se preparó una cama de 20-30 cm de altura de cada tipo de suelo y se dividió en seis secciones iguales utilizando hojas de unicel. En cada sección de las camas se sembró al azar un lote de semillas con uno de los tratamientos de inoculación.

### 2.3 Semillas de aguacate

Se utilizaron semillas criollas de una variedad que se comercializa en Tigambato, Michoacán, la zona que provee la semilla de aguacate criollo a la mayoría de los viveros de Uruapan. Las variedades criollas en esta zona producen semillas regularmente de abril a junio, y por lo tanto estas son las fechas en las que la mayoría de los viveros inician las camas de siembra para sacar todas las plantas que producirán en el año. La demanda de planta era tan fuerte que los viveristas tenían problemas para conseguir suficientes semillas criollas para iniciar las plantas y comentaban que muchos habían empezado a usar semilla de Hass para las camas porque no conseguían semillas criollas.

### 2.4 Inoculación con hongos micorrízicos arbusculares (HMA)

En este experimento se utilizaron dos inoculantes de hongos micorrízicos locales (*Gigaspora aff. gigantea* y *Acaulospora aff. delicata*), dos inoculantes foráneos (*Rhizophagus fasciculatus* y *Rhizophagus intraradices*), y un consorcio de Veracruz (8 spp).

Para obtener los inoculantes de *Gigaspora gigantea* y *Acaulospora delicata* se aplicó el método de tamizado húmedo y decantación propuesto por Gerdemann y Nicolson (1963) a suelo procedente de la región de Tiripetío Michoacán. Se seleccionaron estas especies por ser las que presentaron la mayor cantidad de esporas. Una vez identificadas las esporas, se aislaron para posteriormente ser propagadas por el método de cultivos trampa. Para esto se utilizó pasto, cuyas semillas fueron desinfectadas y sembradas en macetas con suelo esterilizado en la autoclave. Los cultivos trampa exitosos se multiplicaron añadiendo suelo estéril y nuevas plantas hospederas.

El inoculante de *Rhizophagus fasciculatus* es un producto comercializado con el nombre de Micofert® desarrollado en Cuba.

El inoculante de *Rhizophagus intraradices* es una cepa aislada en Dinamarca, aunque este hongo es de distribución mundial, y es una cepa que ha promovido el crecimiento y la captación de fósforo en muchas especies, en su mayoría herbáceas. Fue donada por John Larsen y reproducida en el Centro de Investigaciones en Ecosistemas.

El consorcio de Veracruz es un inoculante desarrollado en la Universidad Veracruzana y consiste en una mezcla de 8 especies de hongos micorrizógenos arbusculares. Actualmente no está a la venta ya que sigue bajo estudios para probar su eficiencia pero se ha usado con éxito para promover el crecimiento, sanidad y nutrición en cultivos de piña, café, palma *Chamaedora*, hortalizas y flores en Veracruz, Fue proporcionado por la Dra. Dora Trejo Aguilar.

Algunas de las características de los HMA utilizados según el International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi son:

- *Gigaspora aff. gigantea* Gerd. & Trappe: Las esporas son de color amarillo-verdoso y brillantes, de forma globosa o subglobosa y raramente irregulares midiendo 324µm aproximadamente. Las hifas miden entre 3 y 11 µm de ancho. La especie propagada se denomina afín a esta especie porque concuerda en la mayoría de las características morfológicas de sus esporas pero son ligeramente más pequeñas que el rango descrito.
- *Acaulospora aff. delicata* Walker, Pfeiffer & Bloss: las esporas son de hialinas a color amarillo pálido con tintes verdes, de forma globosa y de 80 a 120 µm. Las hifas miden

alrededor de 6  $\mu\text{m}$  de ancho. La especie propagada se denomina afín a esta especie porque concuerda en la mayoría de las características morfológicas de sus esporas pero son bastante más grandes que el rango descrito.

- *Rhizophagus fasciculatus* Walker & Schüßler: presenta esporas color amarillo o amarillo cafezasas, de forma globosa o subglobosa y de 60 a 110  $\mu\text{m}$ . Las hifas son de forma cilíndrica o ligeramente acampanada de 8 a 10  $\mu\text{m}$  de ancho.
- *Rhizophagus intraradices* Walker & Schüßler: las esporas son de color blanco cremoso a amarillo café y algunas veces presenta tintes verdes, de forma globosa a subglobosa, irregular y elíptica. Los tamaños van desde 40 a 140  $\mu\text{m}$ . Las hifas son de forma cilíndrica ligeramente achatadas y miden de 11 a 18  $\mu\text{m}$ , de un ancho.

Todos los inóculos fueron propagados en planta (maíz) de manera idéntica durante tres meses en el invernadero, antes del experimento, para obtener inóculos similares, fuertes e infectivos.

Las semillas ya sin cáscara fueron humedecidas en agua y cubiertas con el inóculo correspondiente hasta que las recubriera completamente como una costra y fueron sembradas en las camas a principios de junio del 2009. Germinaron de principios a mediados de julio y a los 30 días de germinación las plántulas ya con varias hojas fueron trasplantadas a bolsa plástica de 6 kg. El trasplante a bolsa se realizó el 19 de agosto del 2009, de la misma manera que se realiza en el vivero. Las plantas se mantuvieron con riego y las condiciones naturales de clima y fotoperiodo en una sección separada dentro del vivero.

## 2.5 Seguimiento y medición de las plantas en vivero

Dentro de cada tratamiento se seleccionaron 10 plantas al azar para darles seguimiento. Todas fueron atendidas por personal del vivero de la forma en que lo hacen comúnmente pero evitando el uso de cualquier tipo de agroquímico. Adicionalmente se le dio seguimiento a un grupo de plantas de la misma edad manejado convencionalmente con el método del vivero, es decir, con aplicaciones de fertilizantes y plaguicidas químicos.

Se realizaron 5 mediciones quincenales donde se registró el porcentaje de supervivencia y además se monitorearon los siguientes parámetros:

- Altura de las plantas: Se midió utilizando un flexómetro desde la base de la planta hasta el último ápice de crecimiento.
- Diámetro del tallo: Se midió a 1 cm sobre el cuello de la planta, siempre en el mismo punto, utilizando un vernier.
- Se contabilizó el número total de hojas y cuántas de ellas presentaron herbívora o el ataque de algún patógeno.

Se realizaron dos cosechas, la primera cuando las plantas tenían 90 días de haber sido trasplantadas, y la segunda 9 meses después, cuando las plantas tenían un año de edad y ya habían sido injertadas. Se injertaron con varetas de la variedad Hass a los 6 meses de la germinación por el método de enchapado lateral y se trasplantaron a bolsa más grande al año de la germinación para que terminaran su desarrollo. En todo el proceso no se les aplicó ninguna clase de fertilizante, pesticida, ni ningún otro tipo de agroquímico; lo único que se les proporcionó a las plantas fue agua una o dos veces por semana según fuera necesario y se fertilizaron con

gallinaza en cada trasplante de bolsa y en una ocasión más. La gallinaza se aplica directamente en la bolsa de vivero alrededor del tallo y la dosis corresponde a lo que cabe en un puño cerrado (corresponde aproximadamente a 5-8 g de peso seco).

En ambas cosechas se seleccionaron al azar 5 plantas de cada tratamiento y se les midió altura y diámetro, número de hojas, área foliar, biomasa, porcentaje de colonización micorrízica y la concentración y el contenido de Nitrógeno y Fósforo. El área foliar y el número de hojas se calculó solo en la primera cosecha debido a las dificultades que representó hacer lo mismo en la segunda cosecha donde las plantas ya eran prácticamente árboles. Además, para esta cosecha se utilizó como valor de las variables altura, diámetro y número de hojas, la última medición en vivero, correspondiente a 3 meses después del trasplante.

## 2.6 Cálculo de área foliar y peso

Para la primera cosecha, se seleccionaron al azar 5 de las 10 plantas de cada tratamiento que se habían monitoreado quincenalmente en vivero para trasladarlas a las instalaciones del Centro de Investigaciones en Ecosistemas y hacerles las mediciones y cálculos correspondientes al área foliar y biomasa. Por los largos procedimientos de las cosechas las plantas se cosecharon en bloques que contenían una repetición de cada tratamiento y se procesaron los bloques completos durante el mismo día de cosecha pero divididos en varios días.

Para calcular el área foliar fue necesario separar la parte aérea de la raíz de cada planta. Se separaron todas las hojas de las ramas, se extendieron en una superficie plana y se fotografiaron con una referencia de tamaño conocido para posteriormente ser procesadas con el programa Imagej, *Image Procesing and Analisis in Java*<sup>®</sup>.

El peso fresco de la parte aérea se midió junto con el tallo y el peso fresco de las raíces junto con la semilla. Una vez que las plantas fueron pesadas en fresco, se tomó una muestra de raíces de peso conocido para la colonización micorrízica y se almacenó en agua:alcohol 1:1 hasta su procesamiento. Las raíces restantes y partes aéreas se colocaron en bolsas de papel individuales y se metieron a la secadora del Jardín Botánico del CIEco a 65°C hasta peso constante para obtener el peso seco de la parte aérea y la raíz por separado. Esto con la intención de obtener una relación entre la biomasa aérea y la radical.

El área foliar ya no se calculó en la segunda cosecha y para calcular la biomasa se siguieron los mismos pasos que en la primer cosecha, la parte aérea y radicular por separado y se secaron de la misma forma para obtener el peso seco.

## **2.7 Determinación del porcentaje de colonización micorrízica**

Con la finalidad de comparar el porcentaje de colonización micorrízica que presentaron las plantas a lo largo de su desarrollo y debido a las dificultades que esto representa, ésta variable solamente se midió en cada una de las cosechas que se realizaron, es decir, a los 3 meses de la germinación y al año de ésta.

Para ello las raíces almacenadas se lavaron y se tiñeron mediante el método propuesto por Phillips y Hayman (1970) que consiste en aclarar, ablandar y finalmente teñir fragmentos de raíz con el colorante azul tripano. Una vez teñidas, se seleccionaron las raíces más finas y se montaron en portaobjetos con el fin de cuantificar en el microscopio el porcentaje de colonización micorrízica por el método propuesto por McGonigle et al. (1990) que contabiliza la presencia de

estructuras de HMA en 100 intersecciones de raíces y el puntero del microscopio. Este método además permite identificar cuántos de ellos corresponden a arbusculos, vesículas, hifas u ovillos.

El porcentaje de colonización se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\% \text{ de colonización} = \frac{\text{Número de segmentos colonizados}}{\text{Número total de segmentos observados}} \times 100$$

## 2.8 Contenido y concentración de Nitrógeno y Fósforo

Para calcular la concentración de Nitrógeno y Fósforo en cada una de las cosechas, se molieron las hojas y se determinó el nitrógeno total con un procedimiento macro-Kjeldahl (Bremner 1996). Las muestras se predigirieron durante la noche en una mezcla de ácido sulfúrico, sulfato de cobre y peróxido de Hidrógeno durante 12 horas. Una vez transcurrido este tiempo, las muestras se calentaron a 300°C por 6 horas para que terminara la digestión y por último fueron aforadas a 70 ml con agua desionizada. El extracto resultante se pasó por un papel filtro y las determinaciones colorimétricas se llevaron a cabo con se llevaron a cabo en un auto-analizador Bran+Luebbe III. El fósforo total se determinó a partir del mismo extracto mediante una reducción de ácido ascórbico y desarrollo del color con molibdato de amonio (Murphy y Riley, 1962).

Para calcular el contenido de Nitrógeno y Fósforo por planta, fue necesario multiplicar la concentración de cada elemento por la biomasa aérea, de esta forma se obtuvo cuántos mg de Nitrógeno y cuántos de Fósforo contiene la parte aérea de cada planta.

## 2.9 Análisis estadísticos

Los resultados de las variables medidas fueron analizados en tres partes. Los correspondientes a las mediciones quincenales que se realizaron en la etapa de vivero se analizaron mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía por cada medición y para cada variable evaluada.

Los resultados correspondientes a las variables medidas en tanto en la primera como en la segunda cosecha fueron analizados mediante un análisis de varianza de dos vías en un diseño factorial, en donde los factores fueron suelo e inoculante. El factor suelo contó con dos niveles: suelo solarizado y suelo fresco; a su vez, el factor inoculante contó con 6 niveles: *Gigaspora gigantea*, *Acaulospora delicata*, *Rhizophagus intraradices*, *Rhizophagus fasciculatus*, Consorcio Veracruz y Testigo. Finalmente se aplicó un análisis también de varianza pero de una vía en las dos cosechas para algunas de las variables, donde los tratamientos se tomaron como si fueran 13 tratamientos completamente independientes entre sí, incluyendo al grupo de plantas del vivero (que no era parte del arreglo factorial y por lo tanto difería de los tratamientos de muchas maneras) para ver si nuestros tratamientos se distinguían de este tratamiento en particular.

Luego, si se obtuvo efecto de algún tratamiento, se utilizó el *Test* de Tukey o HSD al 5% de significancia para conocer los tratamientos con mejores resultados.

Cabe resaltar que, debido a que se perdió casi todo un tratamiento desde el inicio del experimento (*Gigaspora gigantea* en el suelo solarizado) por acumulación excesiva de agua en una sección de una de las camas de siembra, en algunos casos no se pudo incluir este tratamiento y el diseño factorial perdió su arreglo ortogonal debido a los datos faltantes. Por esta razón, el inoculante *G. gigantea* se eliminó de los ANOVAs de dos vías y solamente se considera en los

ANOVAs de dos vías de las mediciones quincenales (donde sí hay datos de todos los tratamientos) y en los análisis de una sola vía.

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 Crecimiento en vivero

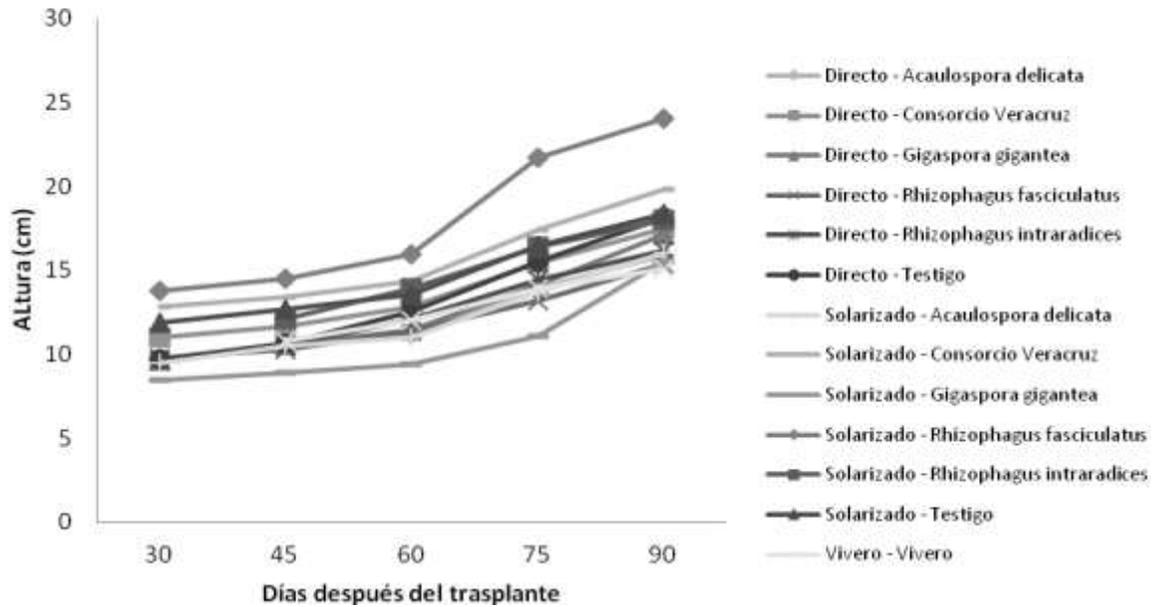
##### *Mediciones quincenales durante los primeros tres meses*

Los resultados de las mediciones quincenales que se hicieron en el vivero correspondientes a las variables altura, diámetro y número de hojas, no mostraron ninguna tendencia que se mantuviera a través del tiempo, salvo algunas excepciones, aunque si hubo diferencias estadísticamente significativas en ANOVAs de una sola vía desde la primera medición, (Tabla 1). Estas excepciones consistieron en que el inoculante *Rhizophagus fasciculatus* en suelo solarizado resultó ser el más efectivo para las variables altura (Gráfica 1) y diámetro (Gráfica 2) a partir del día 60 y 45 respectivamente, seguido por el Consorcio Veracruz en las mismas variables. Los tratamientos que mostraron los resultados más bajos fueron los inoculantes de *Gigaspora gigantea* en los dos suelos para la variable altura, y el *Acaulospora delicata* en suelo solarizado y el Testigo en suelo directo para la variable diámetro. Respecto a la variable Número de Hojas no se observó ninguna relación, siendo el Consorcio Veracruz en suelo Solarizado el que mejor desempeño tuvo al final y el *Gigaspora gigantea* del mismo suelo fue el más bajo (Gráfica 3). Cabe destacar que el grupo de plantas del vivero obtuvo rendimientos promedio e incluso bajos en los resultados de las tres variables medidas.

Tabla 1. Promedios de altura, diámetro y número de hojas por tratamiento en cada una de las mediciones quincenales. Promedios con letras iguales dentro de una misma columna no presentan diferencias significativas al nivel de  $p < 0.05$ , según el test de Tukey.

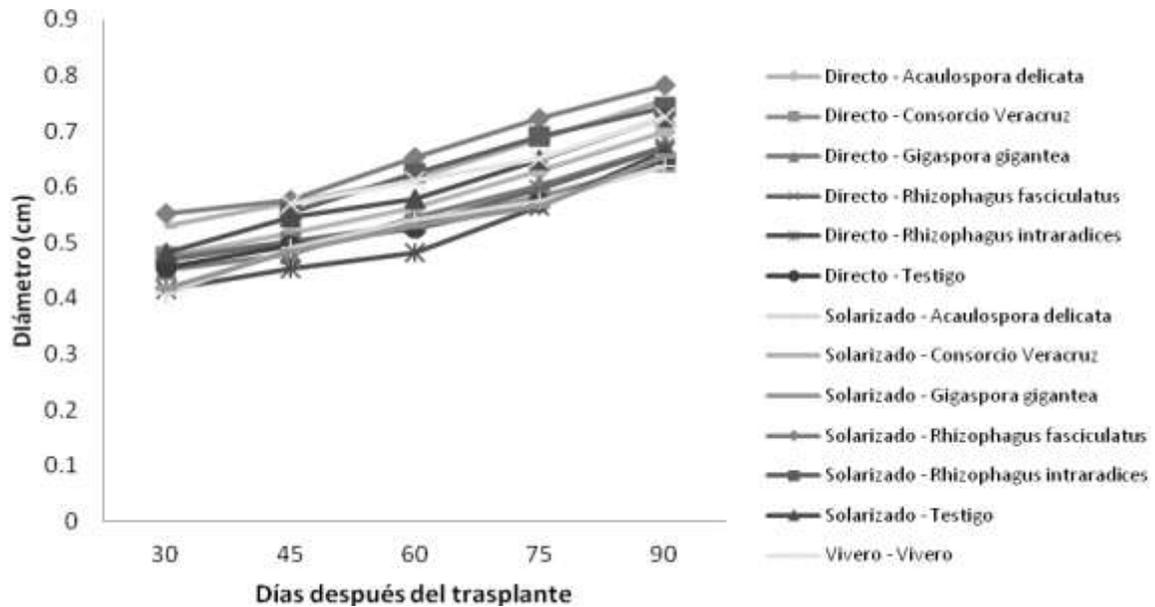
Tratamientos		Variables														
		Altura					Diámetro					Número de hojas				
Suelo	Inoculante	30	45	60	75	90	30	45	60	75	90	30	45	60	75	90
Directo	<i>Acaulospora delicata</i>	9.7	10.5	11.2	13.9	15.8	0.47	0.51	0.56	0.62	0.69	9.1	9	12.1	14.4	16.8
		ab	a	ab	b	b	ab	ab	ab	abc	a	ab	b	abc	ab	ab
Directo	<i>Consorcio Veracruz</i>	11	11.6	12.8	15.4	17.4	0.47	0.5	0.53	0.58	0.64	11.1	11.4	14.8	15.6	17.4
		ab	a	ab	b	b	ab	ab	b	c	a	a	ab	ab	ab	ab
Directo	<i>Gigaspora gigantea</i>	9.6	10.6	11.4	14.1	17.1	0.45	0.48	0.54	0.6	0.67	7.3	9	12.4	12.6	14
		ab	a	ab	b	b	ab	ab	ab	bc	a	b	b	abc	ab	b
Directo	<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	9.7	10.3	11.4	13.2	15.4	0.46	0.5	0.53	0.59	0.67	9.2	10.6	13.3	15.7	16.5
		ab	a	ab	b	b	ab	ab	b	bc	a	ab	ab	abc	ab	ab
Directo	<i>Rhizophagus intraradices</i>	9.6	10.5	12.1	14.4	16.1	0.41	0.45	0.48	0.56	0.66	10.2	10.2	14	16.1	17.1
		ab	a	ab	b	b	b	b	c	bc	a	ab	ab	ab	a	ab
Directo	Testigo	9.7	10.6	12.5	15.5	18.1	0.45	0.49	0.52	0.57	0.64	8.8	9.8	13.5	15.3	15.7
		ab	a	ab	b	ab	ab	ab	b	bc	a	ab	b	abc	ab	ab
Solarizado	<i>Acaulospora delicata</i>	9.5	10.5	11	13.6	16	0.4	0.49	0.54	0.57	0.63	7.2	9.1	10.2	12.1	13.4
		ab	a	ab	b	b	b	ab	ab	bc	a	b	b	bc	ab	b
Solarizado	<i>Consorcio Veracruz</i>	12.8	13.4	14.3	17.4	19.8	0.53	0.57	0.61	0.68	0.75	10.7	13.4	15	17.4	19.3
		a	a	ab	ab	ab	a	a	a	ab	a	a	a	a	a	a
Solarizado	<i>Gigaspora gigantea</i>	8.4	8.9	9.4	11.1	15.5	0.41	0.48	0.53	0.56	0.65	7.5	7.4	8.2	9.6	13.7
		b	a	b	b	b	b	ab	b	bc	a	b	b	c	b	b
Solarizado	<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	13.7	14.5	15.9	21.7	24	0.55	0.57	0.65	0.72	0.78	8.7	9.7	13.3	15.9	17.4
		a	a	a	a	a	a	a	a	a	a	ab	b	abc	ab	ab
Solarizado	<i>Rhizophagus intraradices</i>	-	12.1	13.9	16.4	18	-	0.55	0.62	0.69	0.74	-	10.9	14.5	15	16.1
			a	ab	ab	ab		ab	a	ab	a		ab	ab	ab	ab
Solarizado	Testigo	11.9	13	13.8	16.5	18.3	0.48	0.55	0.58	0.64	0.72	9.3	9.6	12.6	14.9	14.8
		a	a	ab	ab	ab	a	ab	ab	abc	a	ab	b	abc	ab	ab
Vivero	Vivero	-	10.7	12	13.9	15.1	-	0.57	0.61	0.65	0.72	-	8.6	12.6	13.5	14.6
			a	ab	b	b		a	a	abc	a		b	abc	ab	ab

### 3.1.1 Altura



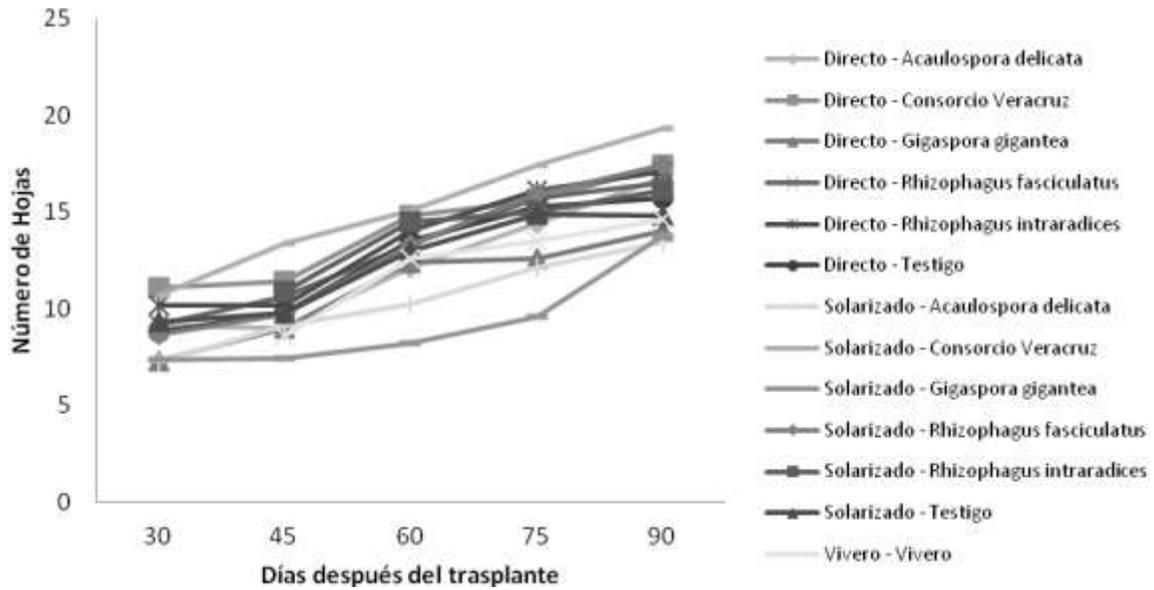
Gráfica 1. Promedio de altura de la planta en cada tratamiento respecto al tiempo en el vivero. No se presenta el error estándar para facilitar la visualización de los tratamientos.

### 3.1.2 Diámetro



Gráfica 2. Promedio de diámetro del tallo de la planta en cada tratamiento con respecto al tiempo en el vivero. No se presenta el error estándar para facilitar la visualización de los tratamientos.

### 3.1.3 Número de hojas



**Gráfica 3. Promedio de número de hojas por planta en cada tratamiento respecto al tiempo en el vivero. No se presenta el error estándar para facilitar la visualización de los tratamientos.**

### 3.2 Primera cosecha

A continuación, se presentan resumidos los resultados de los ANOVA's de dos vías donde los factores analizados fueron el suelo, el inoculante y la interacción entre ellos (Tabla 2). Los tratamientos inoculados con *Gigaspora gigantea* no se incluyeron en el análisis por la pérdida mencionada anteriormente de las plantas de uno de los tratamientos; así se mantuvo el arreglo ortogonal del análisis de dos vías. Los resultados del análisis indicaron que la mayoría de las diferencias se presentaron en la interacción del suelo y el inoculante, seguidas por el efecto del inoculante sobre cada una de las variables medidas y que el tipo de suelo no fue un factor determinante más que en algunas de las variables medidas en esta etapa. El tratamiento del vivero se presenta como referencia pero tampoco fue incluido en este análisis.

Tabla 2. Resumen de resultados de ANOVA's de dos vías. Primera Cosecha. Se muestra el valor de F y el nivel de significancia de acuerdo a la siguiente escala: \*=significativo a  $p < 0.05$ , \*\*=significativo a  $p < 0.001$  y \*\*\*= significativo a  $p < 0.0001$

	Altura	Diámetro	Número de hojas	Hojas con herbivoría	Hojas con patógenos	Peso seco raíz	Peso seco aéreo	Peso seco total	Área foliar	Colonización micorrízica	Concentración de N	Concentración de P	Contenido de N por planta	Contenido de P por planta
Suelo	8.642 **	10.463 **	0.069	0.586	1.466	0.005	0.599	0.244	0.074	3.668	1.618	0.824	1.112	4.402 *
Inoculante	1.896	0.808	3.547 **	1.558	1.208	1.324	2.492 *	1.463	2.851 *	0.088	0.735	16.764 ***	1.103	12.72 ***
Suelo* Inoculante	3.261 **	2.520 *	1.279	1.363	0.123	2.673 *	3.005 *	2.953 *	2.229	1.461	8.110 ***	5.845 ***	1.741	8.72 ***

Los resultados de las variables relacionadas al crecimiento en la primer cosecha, como lo fue altura (Gráfica 4), diámetro (Gráfica 5), número de hojas (Gráfica 6), área foliar (Gráfica 7) y biomasa (Gráfica 8 y 9), no siempre indicaron un mejor desempeño por parte de alguno de los inoculantes.

Otro resultado importante fue que el efecto de la solarización del suelo no fue un factor determinante sobre las variables medidas pues en la primera cosecha, los ANOVA's indicaron que en solo 3 de ellas el factor suelo fue significativo mientras que en la segunda cosecha solo 2, y solamente una de ellas se mantuvo: el diámetro. Esto se podría deber a que el procedimiento de desinfección no es efectivo al 100% y no se hicieron análisis que comprobaran que efectivamente se hubieran eliminado los microorganismos presentes en el suelo, lo que podría explicar la

presencia del hongo no identificado en las observaciones para determinar la colonización micorrízica de la primera cosecha (Gráfica 10). Además, si consideramos que las plantas se trasladaron de las camas de germinado a bolsa chica y después a una más grande, es bastante probable que en alguno de estos trasplantes se hayan ido agregando otras especies de HMA y otros microorganismos del suelo nativo que infectaron a todos los tratamientos por igual.

Para la variable altura (Gráfica 4), el ANOVA mostró que el suelo influye en el comportamiento de la altura de las plantas siendo el suelo solarizado el que obtuvo los mejores resultados. Asimismo, la interacción del suelo con alguno de los inoculantes también fue significativa, implicando que algunos inoculantes funcionan mejor en un tipo de suelo determinado como es el caso de *Rhizophagus fasciculatus* que fue el que mejor desempeño tuvo en el suelo solarizado. Los testigos sin inoculante en los dos tipos de suelo tuvieron resultados muy parecidos y el grupo de plantas del vivero fue el que tuvo los valores más bajos.

En la primera cosecha, los resultados del análisis para la variable diámetro (Gráfica 5) indicaron que en 5 de los 6 tratamientos orgánicos, el suelo solarizado resultó tener mejores resultados, comprobándose la hipótesis de que al someter el suelo a un tratamiento de esterilización, se eliminaba la competencia para los HMA y estos resultarían más efectivos. También fue significativa la interacción suelo\*inoculante, sin embargo cuando se aplicó la prueba de Tukey, no se observaron diferencias estadísticamente significativas, solamente con la prueba HSD. Los inoculantes *Rhizophagus fasciculatus* y Consorcio Veracruz del suelo solarizado fueron los que presentaron un diámetro mayor y a diferencia de la variable anterior, las plantas del vivero si presentaron un buen desempeño ocupando la cuarta posición.

Los resultados del número de hojas (Gráfica 6), variable que solo se contabilizó en la primera cosecha, no mostraron ningún efecto ni del suelo ni de la combinación de éste con los diferentes inoculantes. Donde si hubo diferencias fue en el efecto del inoculante, donde el Consorcio Veracruz fue el mejor y el grupo de plantas del vivero fue el que menos hojas tuvo. Sobre la sanidad de las plantas, representada por el número de hojas con herbivoría y con ataque de patógenos, tampoco se encontró ningún efecto ni del suelo, ni de los inoculantes ni de la combinación de estos dos factores.

Para el área foliar (Gráfica 7), el único factor que resultó significativo según el ANOVA fue el inoculante, el que obtuvo los mejores resultados fue el Consorcio de Veracruz y el de los peores el *Acaulospora delicata*. Es interesante notar como para el inoculante Consorcio Veracruz el tratamiento en suelo solarizado fue mejor que el directo con un promedio de 412 cm<sup>2</sup> por planta y en el *Acaulospora delicata* el mejor fue el tratamiento en suelo directo con una diferencia de 64 cm<sup>2</sup> de diferencia respecto al del suelo solarizado.

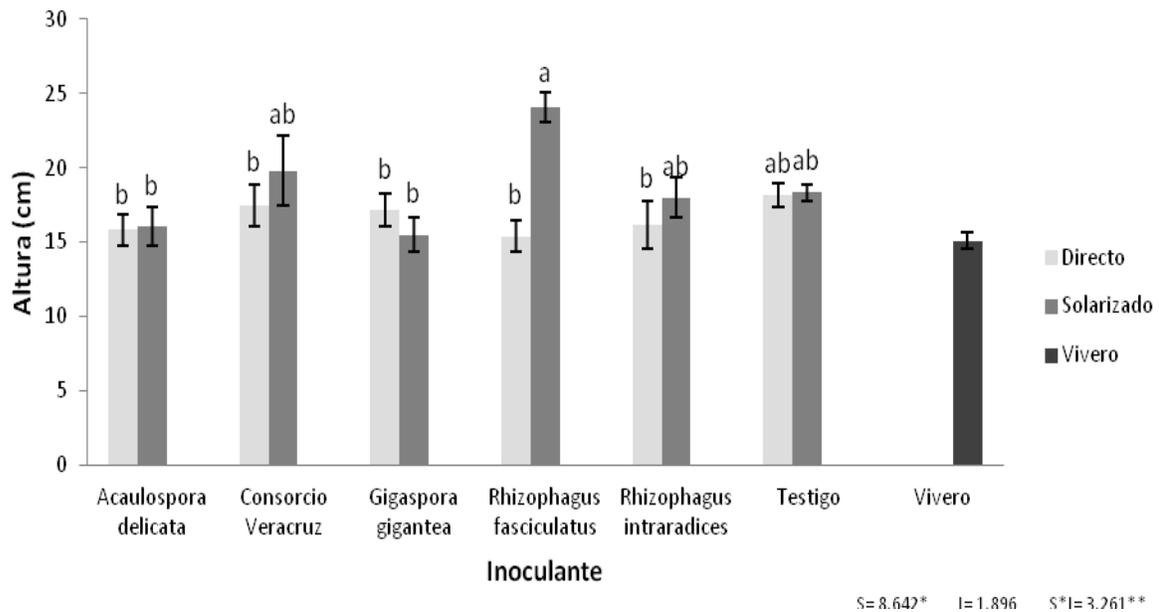
Los resultados de la biomasa total (Gráfica 8) son muy parecidos a los de área foliar con la particularidad de que el grupo de plantas del vivero fue de los que obtuvieron mejores resultados. Según el ANOVA, tanto para biomasa total, como para la biomasa aérea y radical, la interacción del suelo y los inoculantes fue el único componente del análisis que dio diferencias significativas, queriendo decir que algunos de los inoculantes funcionaron mejor en algún tipo de suelo como fue el caso del Consorcio Veracruz en el suelo solarizado y el *Rhizophagus fasciculatus* en el suelo directo. En la Gráfica 9 se muestra una relación de la biomasa aérea y radical y para ambas se observa el mismo comportamiento que para la biomasa total donde, según el análisis, las diferencias se encontraron en la combinación de Suelo\*Inoculante.

De acuerdo a los ANOVA's, ni el suelo, ni el inoculante, ni la interacción entre ellos mostró ningún efecto sobre la colonización micorrízica (Gráfica 10). Tanto los inoculantes foráneos como los locales y el Consorcio obtuvieron valores muy bajos con un promedio de 15.5% de la raíz colonizada. Observando los testigos y como era de esperarse, el del suelo directo fue más colonizado que el solarizado, pudiéndose inferir que tal vez la solarización si eliminó parte de la microbiota del suelo. El grupo de plantas del vivero fue el que tuvo menor grado de colonización. En cuanto a las estructuras fúngicas presentes en las observaciones que se hicieron (Gráfica 11), se observó que no existe ninguna relación dentro de los tratamientos. Resulta de especial interés que en todos los tratamientos estuvo presente un hongo que no fue identificado y que por lo mismo, se desconoce si pudo afectar o no la colonización de los HMA.

Los análisis de la concentración de Nitrógeno (Gráfica 12) indicaron que solamente la interacción del Suelo\*Inoculante resultó significativa. La prueba de Tukey que se hizo después del ANOVA mostró que los resultados fueron muy heterogéneos, con 5 grupos estadísticamente distintos entre si. Destaca el inoculante *Acaulospora delicata*, que contrario a lo que se venía observando en las variables anteriores, donde había sido de los tratamientos con los resultados más bajos, fue el que obtuvo los mejores resultados en promedio. Las plantas del vivero obtuvieron resultados más bien bajos pero sin diferir mucho de los tratamientos orgánicos. Para la concentración de Fósforo (Gráfica 13), también fue significativa la interacción entre suelo e inoculante así como el inoculante usado. El tratamiento *Rhizophagus fasciculatus* fue el que más ayudó a la planta a captar el Fósforo del suelo, esto se puede ver reflejado en la altura y diámetro de las plantas donde fue el mismo inoculante el que obtuvo mejor resultados, seguido por el Consorcio Veracruz solamente en suelo solarizado y por el *Acaulospora delicata* en suelo directo, el resto de los tratamientos fueron estadísticamente iguales entre si.

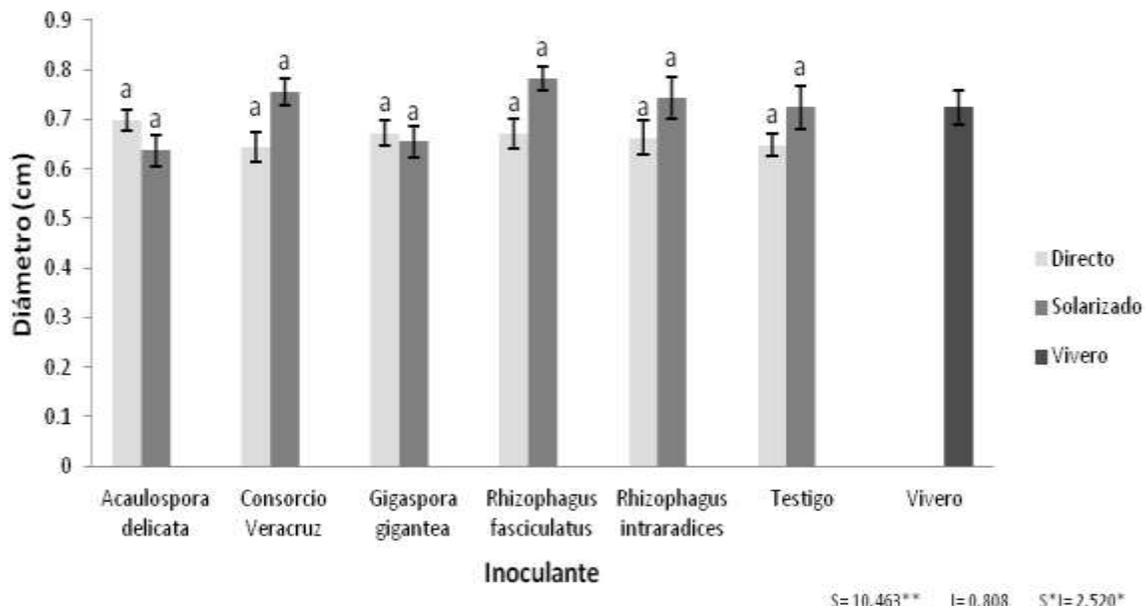
Cuando se multiplicó la concentración de Nitrógeno por la biomasa aérea para obtener la cantidad de N que contenía cada planta (Gráfica 14), los resultados indicaron que no existe ningún factor que determine esta variable. El inoculante *Acaulospora delicata* ya no obtuvo los resultados como los que obtuvo en la concentración de este elemento probablemente porque su biomasa aérea promedio fue baja. A pesar de que el tratamiento del vivero recibió mucho más fertilizantes desde la cama de siembra, la mayoría de los tratamientos orgánicos captaron igual o más nitrógeno que este tratamiento. El contenido de Fósforo por planta (Gráfica 15) mantuvo el mismo comportamiento que la concentración, destacando nuevamente el tratamiento de *Rhizophagus fasciculatus* en los dos tipos de suelo y el Consorcio Veracruz en suelo solarizado. Tanto el factor suelo, como el inoculante y la combinación entre ellos resultó ser significativa en el ANOVA de dos vías, lo que nos habla de las grandes diferencias que hubo en esta variable. A pesar de que el tratamiento del vivero recibió mucho más fertilizantes desde la cama de siembra, tres de los tratamientos orgánicos captaron de tres a cuatro veces más fósforo que este tratamiento.

### 3.2.1 Altura



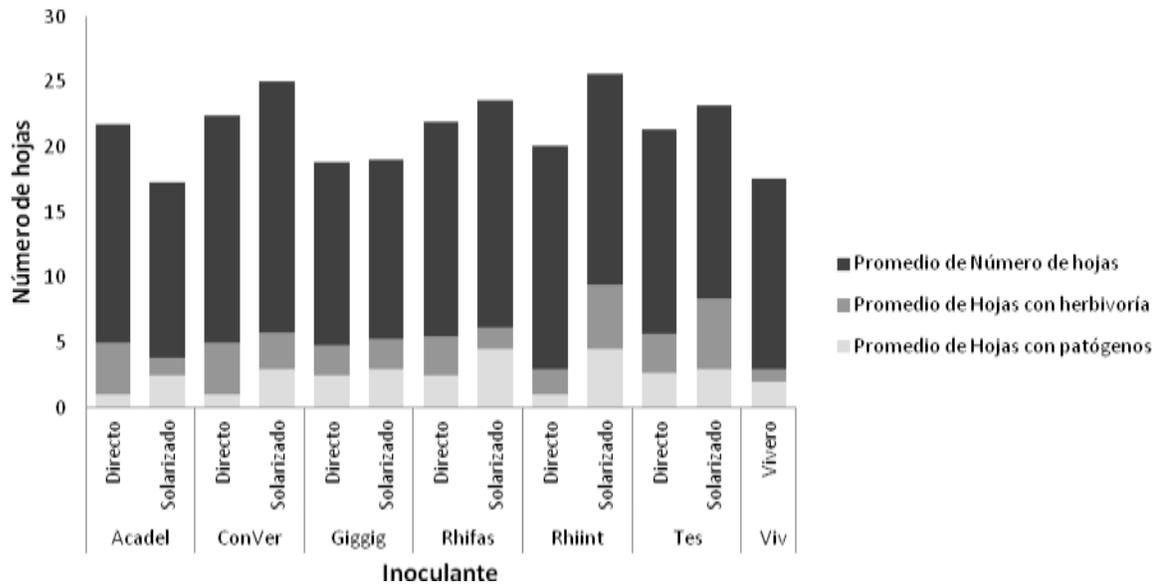
Gráfica 4. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de altura de las plantas en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa

### 3.2.2 Diámetro



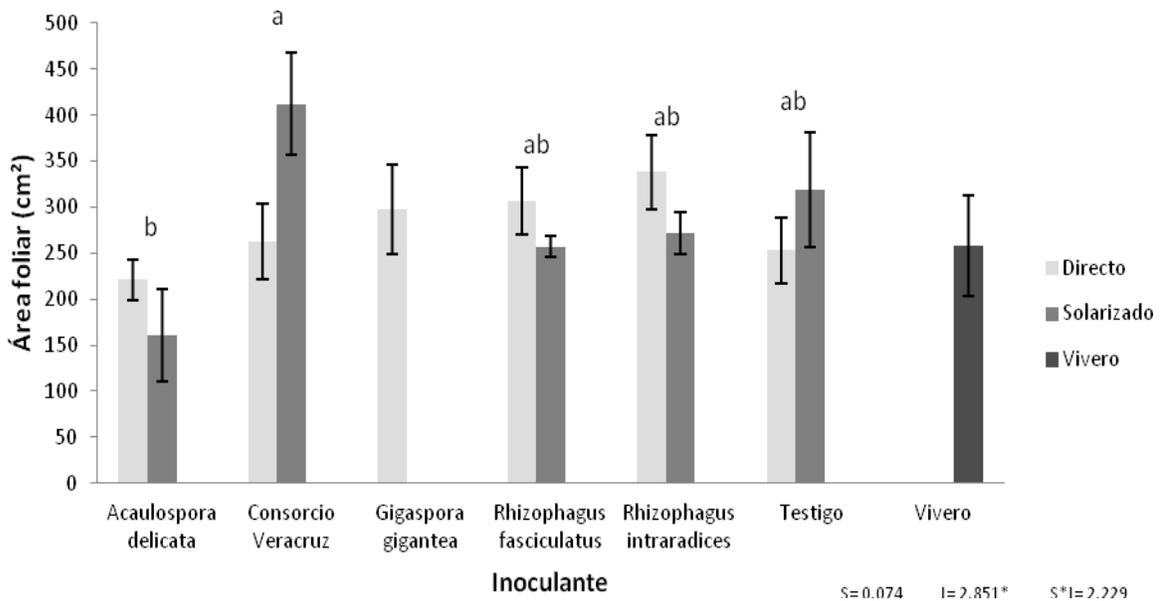
Gráfica 5. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de diámetro del tallo de las plantas en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

### 3.2.3 Número de hojas



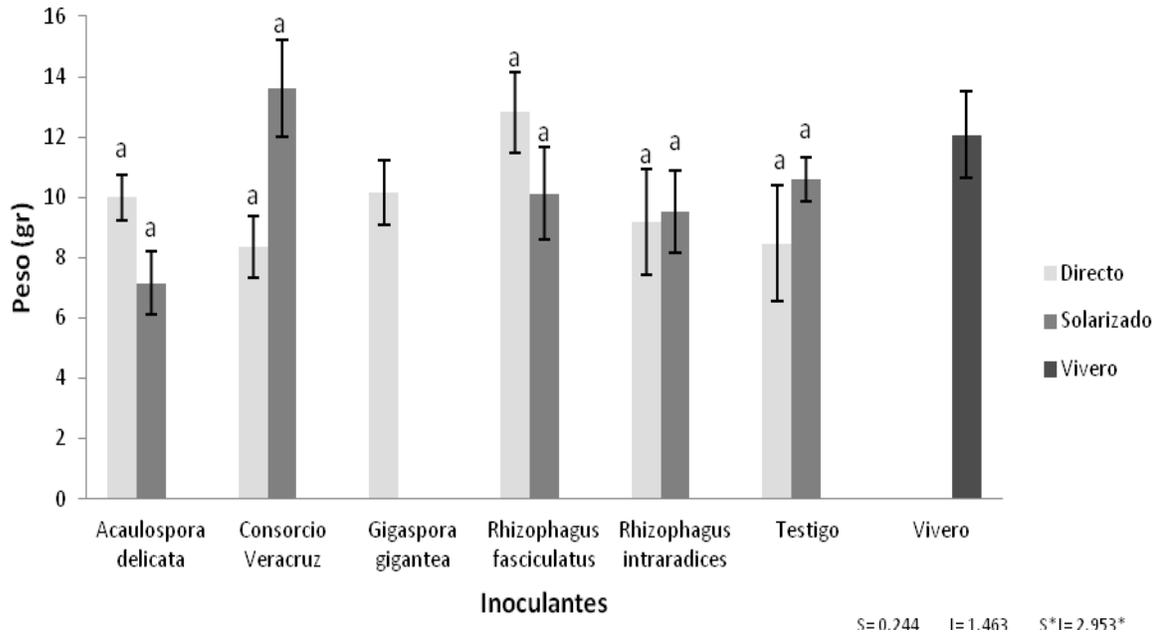
Gráfica 6. Hojas totales, hojas con herbivoría y hojas con patógenos por planta. No se presenta el error estándar para facilitar la visualización de los tratamientos.

### 3.2.4 Área foliar

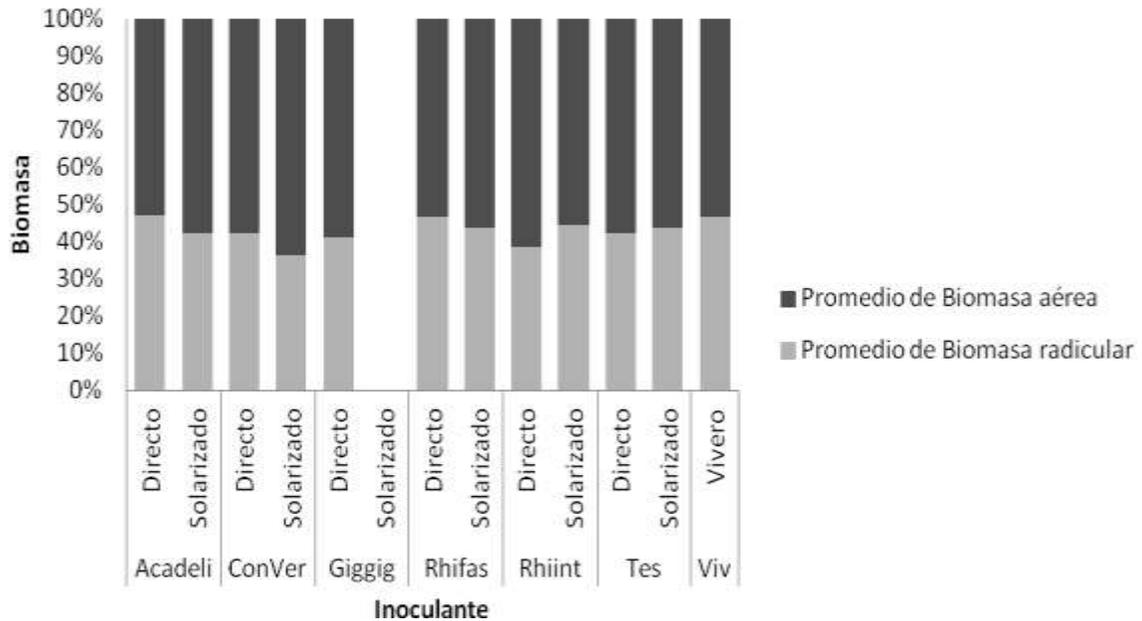


Gráfica 7. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de área foliar por planta en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa

### 3.2.5 Biomasa

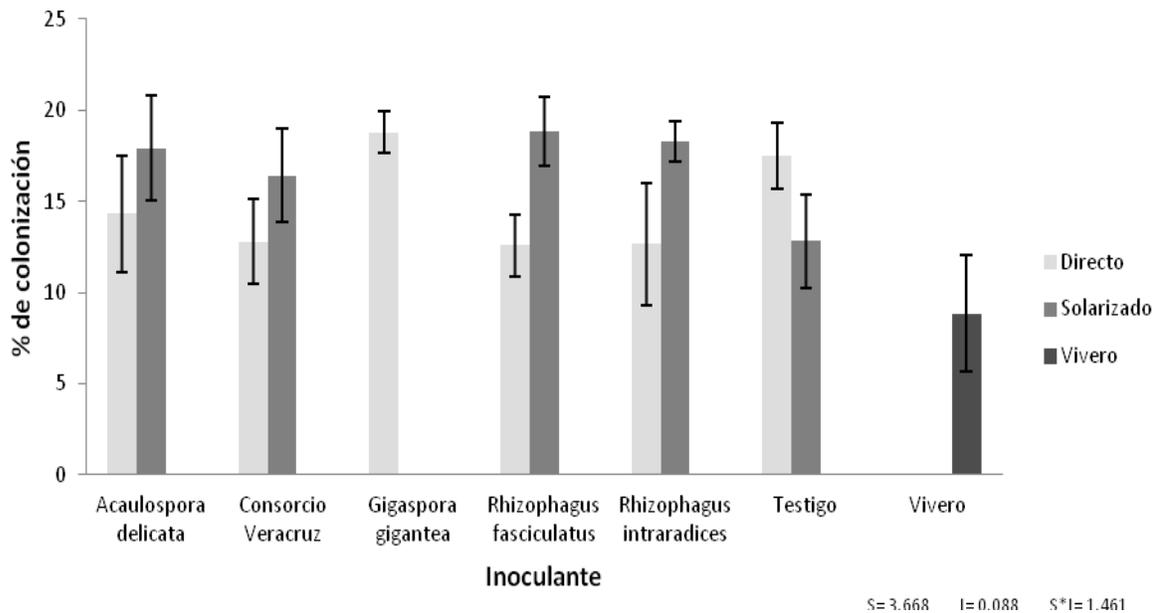


Gráfica 8. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de biomasa total en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

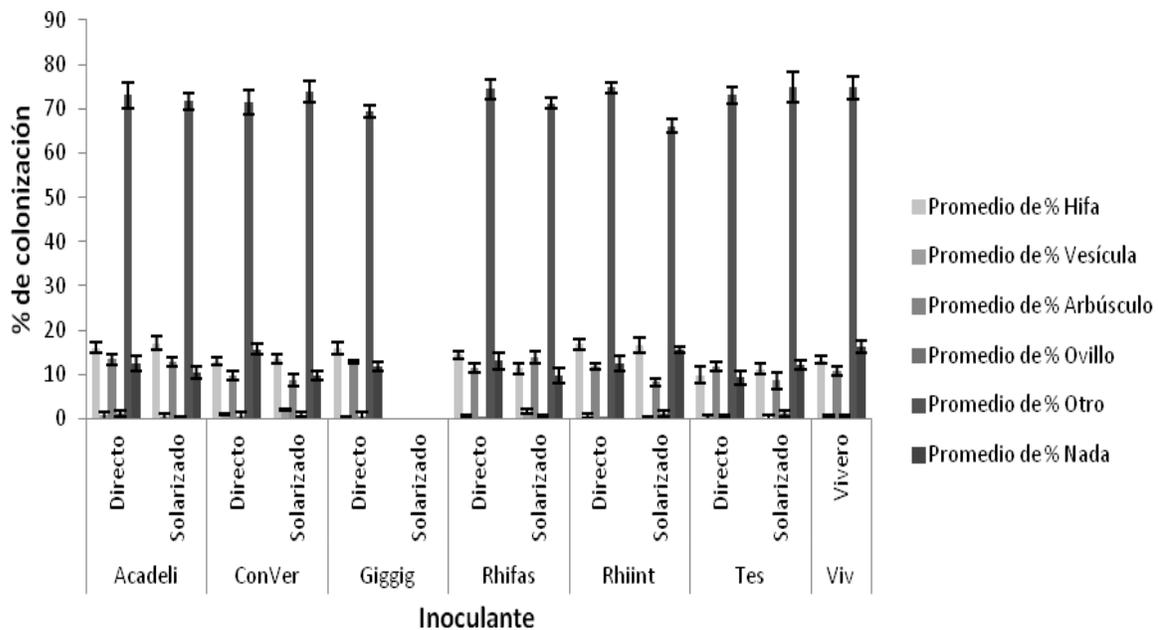


Gráfica 9. Relación entre la biomasa aérea y radical en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

### 3.2.6 Colonización micorrízica

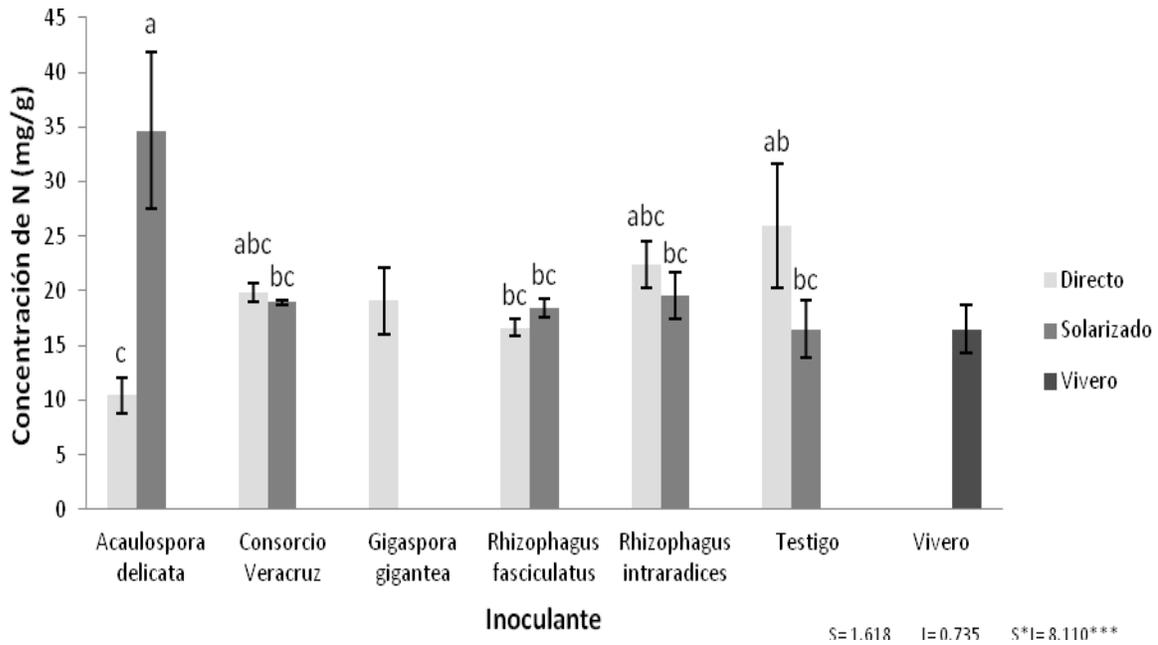


Gráfica 10. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) del porcentaje de colonización micorrízica en las raíces del aguacate en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

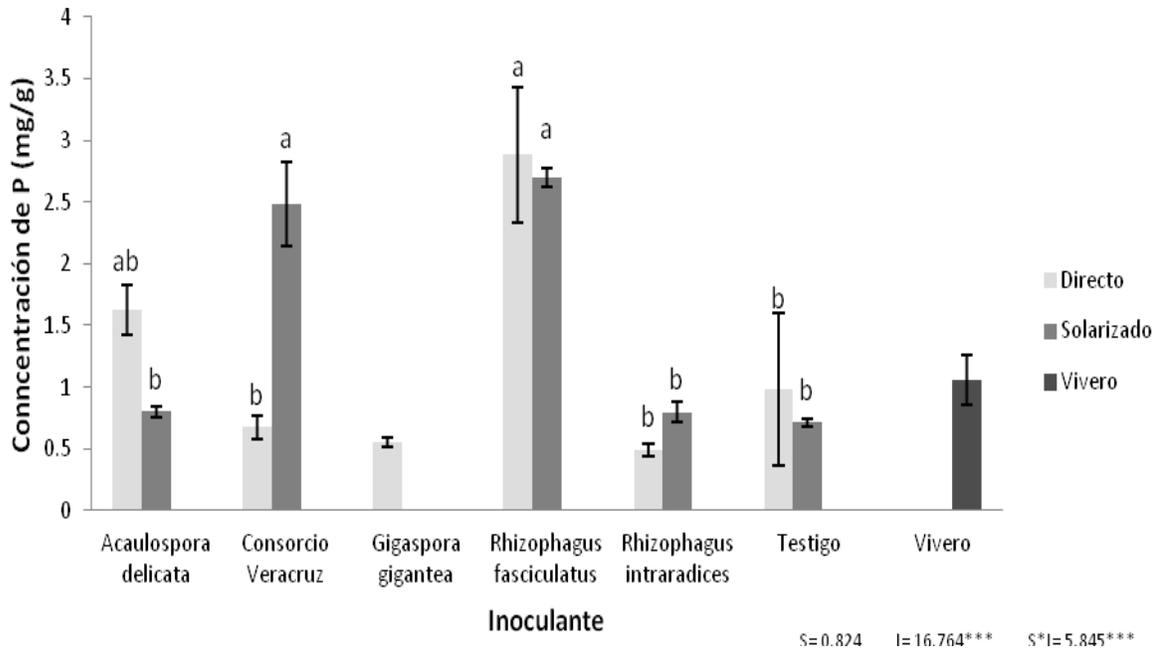


Gráfica 11. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) del porcentaje de colonización micorrízica por tipos de estructuras fúngicas, tres meses después del primer trasplante a bolsa. Otro significa la presencia de estructuras que no son de micorriza arbuscular y nada significa que no se observó ninguna estructura en el tejido cortical de las raíces.

### 3.2.7 Concentración de Nitrógeno y Fósforo

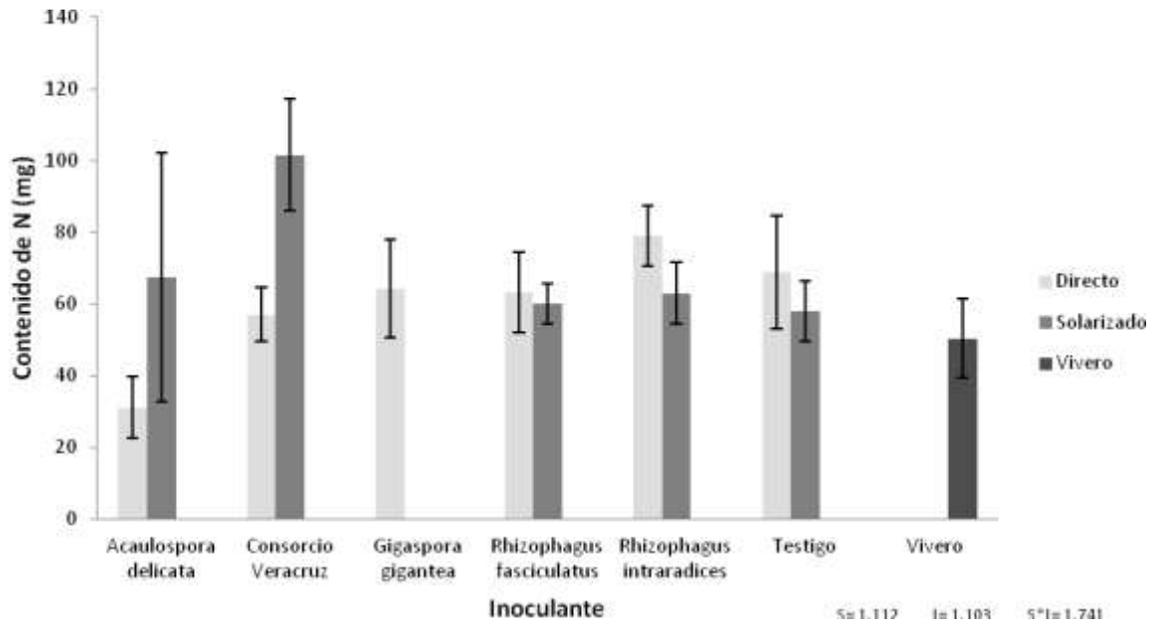


Gráfica 12. Concentración de N (promedio  $\pm$  D. E., n=5) en hojas, en la primera cosecha tres meses después del primer trasplante a bolsa.

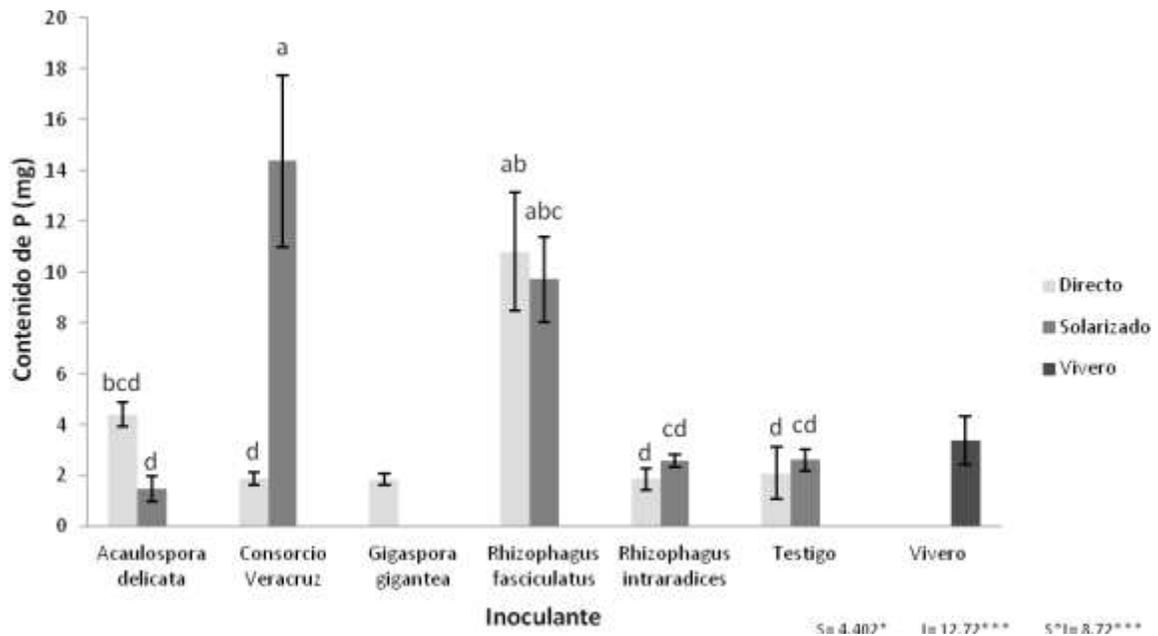


Gráfica 13. Concentración de P (promedio  $\pm$  D. E., n=5) en hojas en la primera cosecha, tres meses después del primer trasplante a bolsa

### 3.2.8 Contenido de Nitrógeno y Fósforo en la parte aérea



Gráfica 14. Contenido de N (promedio  $\pm$  D. E., n=5) en la parte aérea, tres meses después del primer trasplante a bolsa.



Gráfica 15. Contenido de P (promedio  $\pm$  D. E., n=5) en la parte aérea, tres meses después del primer trasplante a bolsa.

### 3.3 Segunda cosecha

En los resultados de los ANOVA's de dos vías aplicados a las variables medidas en la segunda cosecha, se observó el mismo patrón que en la primera, donde la mayoría de las diferencias radica en la interacción de suelo e inoculante, y hubo pocas diferencias por el tipo de suelo.

**Tabla 3. Resumen de resultados de ANOVA's de dos vías. Segunda Cosecha. Se muestra el valor de F y el nivel de significancia de acuerdo a la siguiente escala: \*=significativo a  $p<0.05$ , \*\*=significativo a  $p<0.001$  y \*\*\*= significativo a  $p<0.0001$ .**

	Altura	Diámetro	Peso seco raíz	Peso seco aéreo	Peso seco total	% de colonización micorrizica	Concentración de N	Concentración de P	Contenido de N por planta	Contenido de P por planta
<b>Suelo</b>	0.022	<b>8.309</b> **	0.550	0.848	0.825	<b>3.920</b> *	0.017	2.998	0.493	2.998
<b>Inoculante</b>	0.785	1.587	1.760	0.756	1.161	<b>3.114</b> *	<b>10.935</b> ***	1.715	0.833	1.265
<b>Suelo* Inoculante</b>	<b>4.359</b> **	2.111	<b>3.495</b> *	1.573	2.096	<b>5.475</b> **	<b>6.367</b> ***	<b>8.727</b> ***	1.117	<b>4.413</b> **

En la segunda cosecha solo la interacción Suelo\*Inoculante resultó significativa para la altura de las plantas (Gráfica 16) y no el inoculante o el suelo como lo fue en la primer cosecha. Es interesante destacar que en la primera cosecha, las plantas del vivero fueron las que menos crecieron, y en esta cosecha ya ocuparon el tercer sitio. Según la prueba de Tukey posterior al ANOVA, todos los tratamientos se encuentran dentro del mismo grupo, lo que indica que obtuvieron resultados muy similares. Con una prueba de LSD, que es menos rigurosa, hay algunas diferencias significativas pero, para mantener el mismo criterio en todo el estudio, se aceptan los resultados de la prueba de Tukey.

El diámetro del tallo (Gráfica 17) fue mayor en las plantas en suelo solarizado que en las de suelo fresco y el inoculante no produjo diferencias en esta variable. Las plantas en suelo solarizado tuvieron en su mayoría diámetros cercanos a los del testigo del vivero. La biomasa total producida fue bastante variable y no hubo diferencias significativas (Gráfica 18), pero al menos 5 de los tratamientos muestran promedios similares al testigo del vivero. En la mayoría de los tratamientos hubo una asignación similar de la biomasa total a la parte aérea y a las raíces (Gráfica 19).

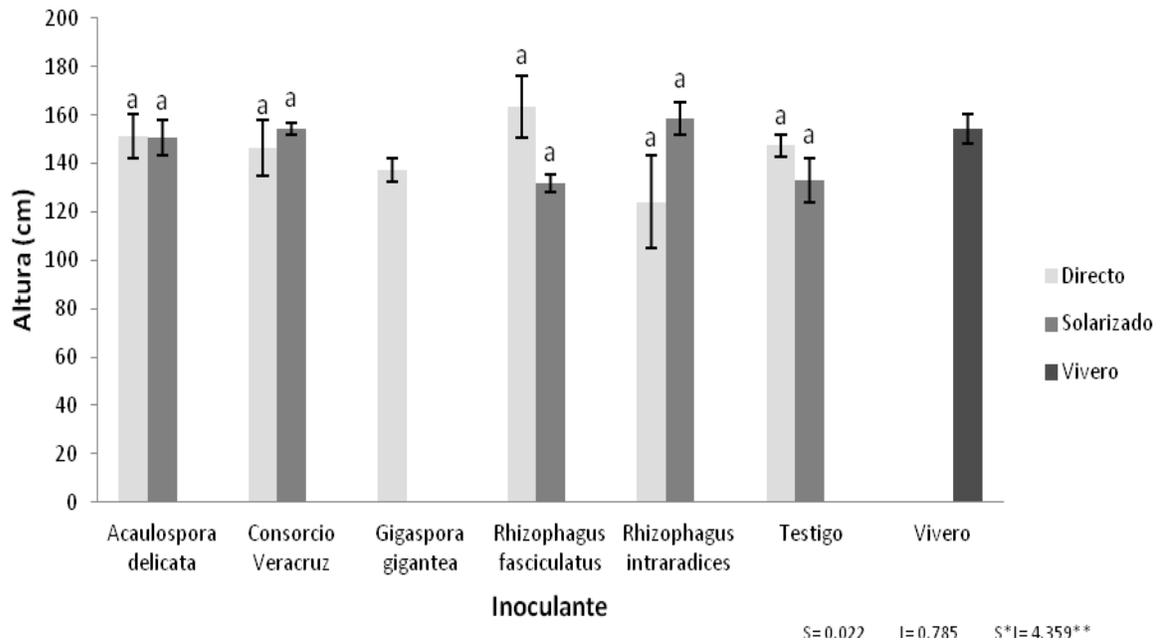
En la segunda cosecha, los valores de colonización micorrízica (Gráfica 20) mejoraron con un promedio de 50% o 60%. En esta ocasión tanto el suelo como el inoculante y la interacción entre ellos tuvo efectos significativos sobre la variable medida según los ANOVA's. Al igual que en la primera cosecha, los tratamientos Testigo obtuvieron los resultados más bajos y las plantas del vivero, muy al contrario de como había sucedido en la primer cosecha, presentaron una colonización media con respecto a los demás tratamientos. En los resultados correspondientes a la colonización por cada tipo de estructura micorrízica (Gráfica 21), disminuyó el porcentaje del otro hongo que había infectado las raíces y aumentó el porcentaje de segmentos que no presentaban colonización alguna. También se observaron más arbusculos que en la primera cosecha.

Los análisis revelaron que la concentración de nitrógeno en la segunda cosecha (Gráfica 22), resultó estar determinada por el inoculante y por la interacción Suelo\*Inoculante. Al igual que en la primea cosecha, los resultados resultaron ser muy diferentes entre si y esto se corroboró con la prueba de Tukey. Destaca la concentración de N que obtuvieron los tratamientos testigo, tanto el tratamiento del suelo directo como el del solarizado se encontraron entre los que obtuvieron mayor concentración de Nitrógeno y esto se puede deber a la presencia de hongos nativos que resultaron más efectivos que los utilizados en este experimento para captar el N del suelo.

Respecto a la concentración de Fósforo, en la segunda cosecha (Gráfica 23) el inoculante de *Rhizophagus fasciculatus* siguió siendo el de las concentraciones de fósforo más altas pero solo en el suelo directo y en esta etapa, las plantas del vivero mostraron estar mejor nutridas que en la primera cosecha.

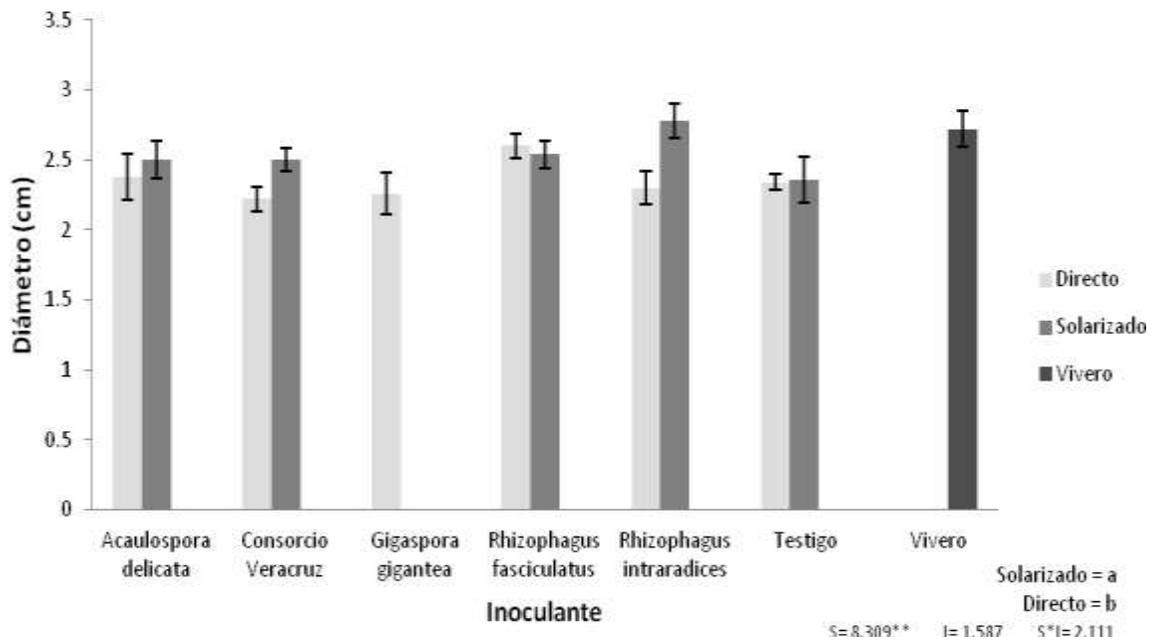
El contenido de nitrógeno por planta (Gráfica 24) siguió sin mostrar ninguna diferencia significativa, ni en el suelo ni por parte de alguno de los tratamientos de HMA ya fueran locales o foráneos. Donde si hubo diferencias fue en el contenido de Fósforo por planta (Gráfica 25). El análisis indicó que esta variable está determinada por la interacción del suelo y el inoculante. La prueba de Tukey mostró que existen 5 grupos de datos, lo que nos habla de las grandes variaciones que hubo entre los tratamientos y dentro de ellos. El grupo de plantas del vivero fue el que obtuvo los mejores resultados con un promedio de 397.2 mg de P por planta.

### 3.3.1 Altura



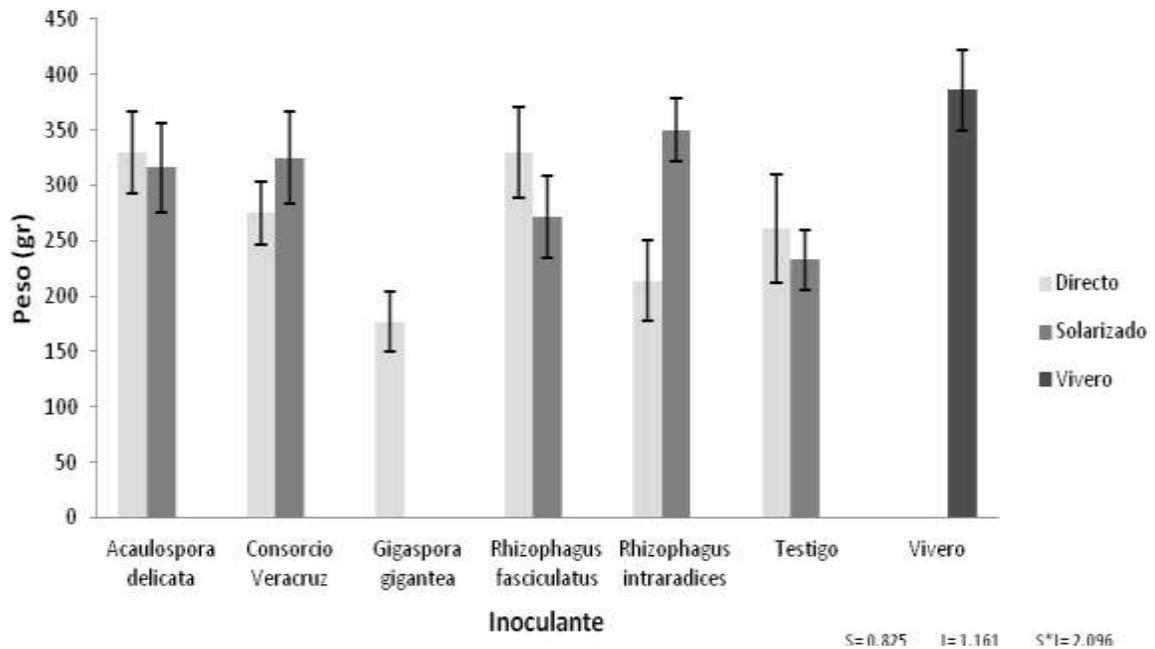
Gráfica 16. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de altura en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

### 3.3.2 Diámetro

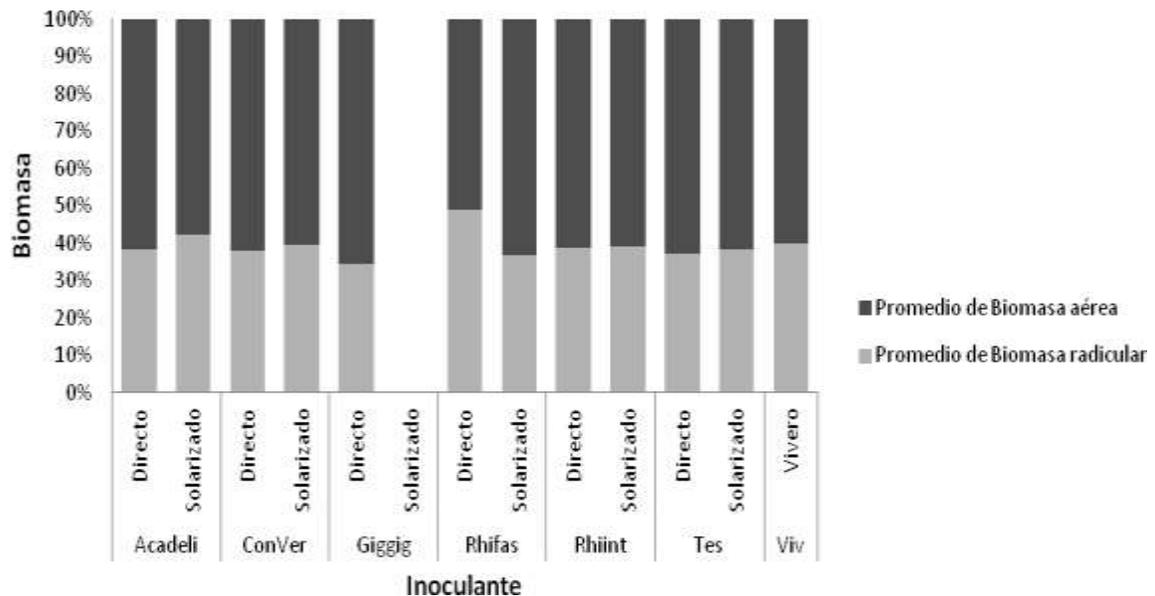


Gráfica 17. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de diámetro del tallo en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

### 3.3.3 Biomasa

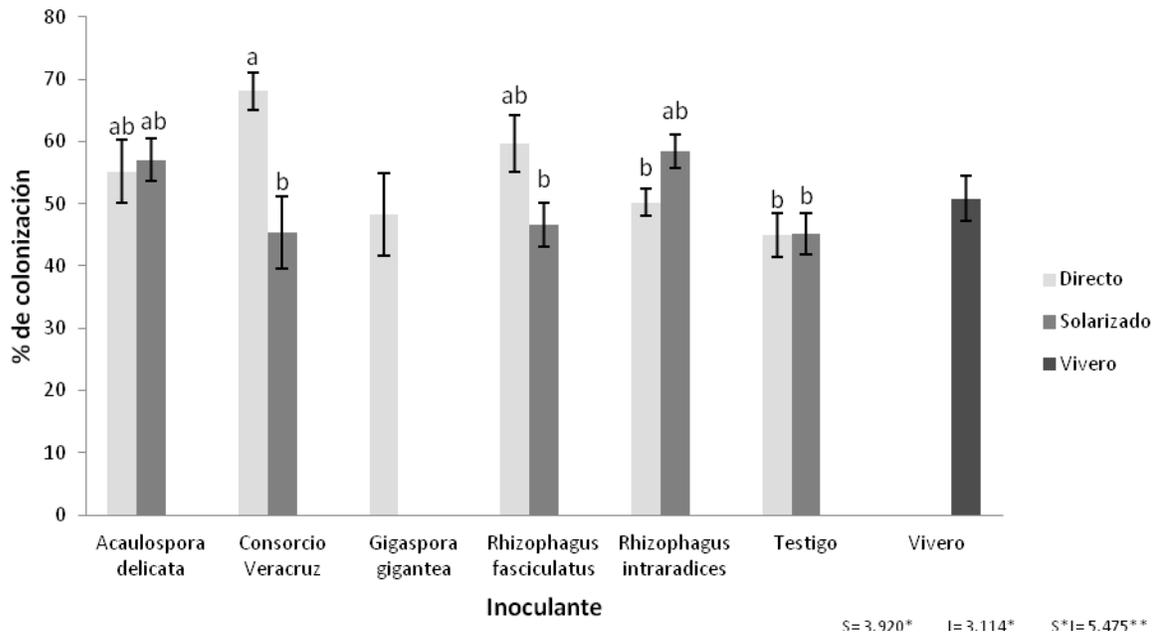


Gráfica 18. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de peso seco total en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

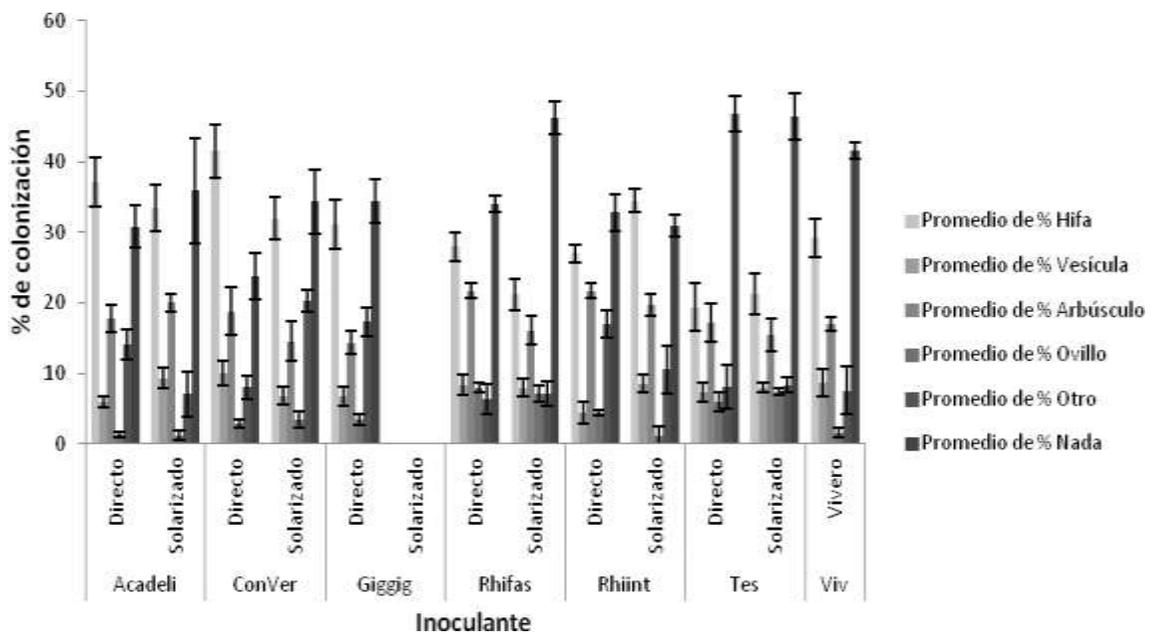


Gráfica 19. Distribución de la biomasa en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

### 3.3.4 Colonización micorrízica

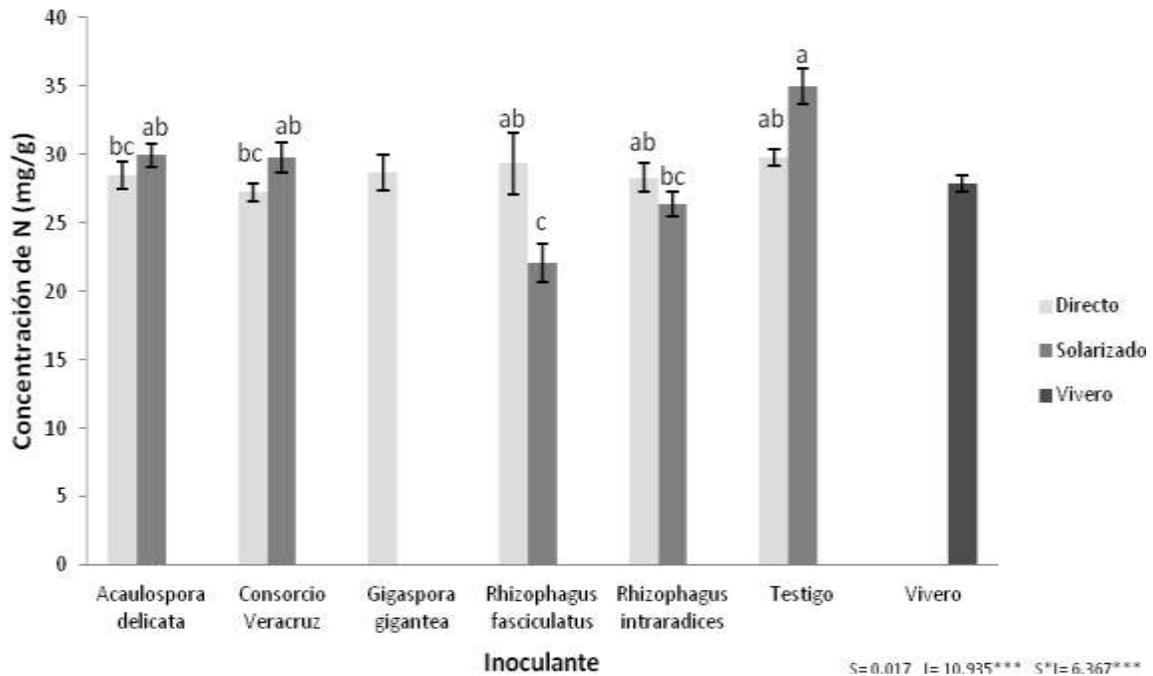


Gráfica 20. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de porcentaje de colonización micorrízica en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

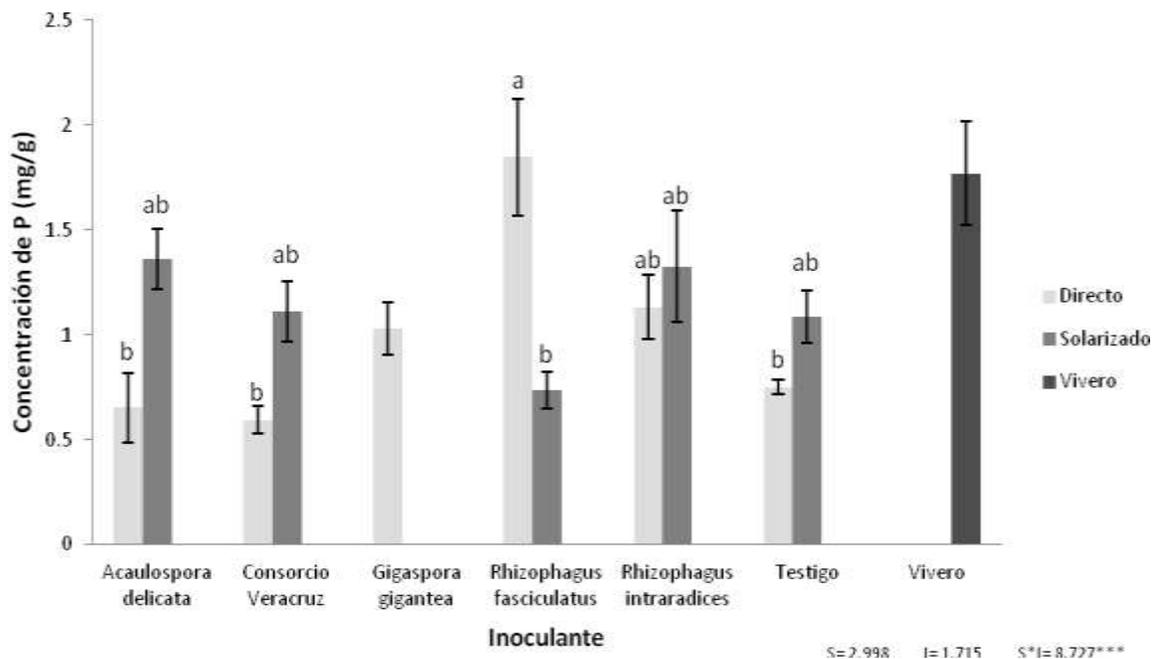


Gráfica 21. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de porcentaje de colonización micorrízica separado por tipo de estructura en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

### 3.3.5 Concentración de Nitrógeno y Fósforo

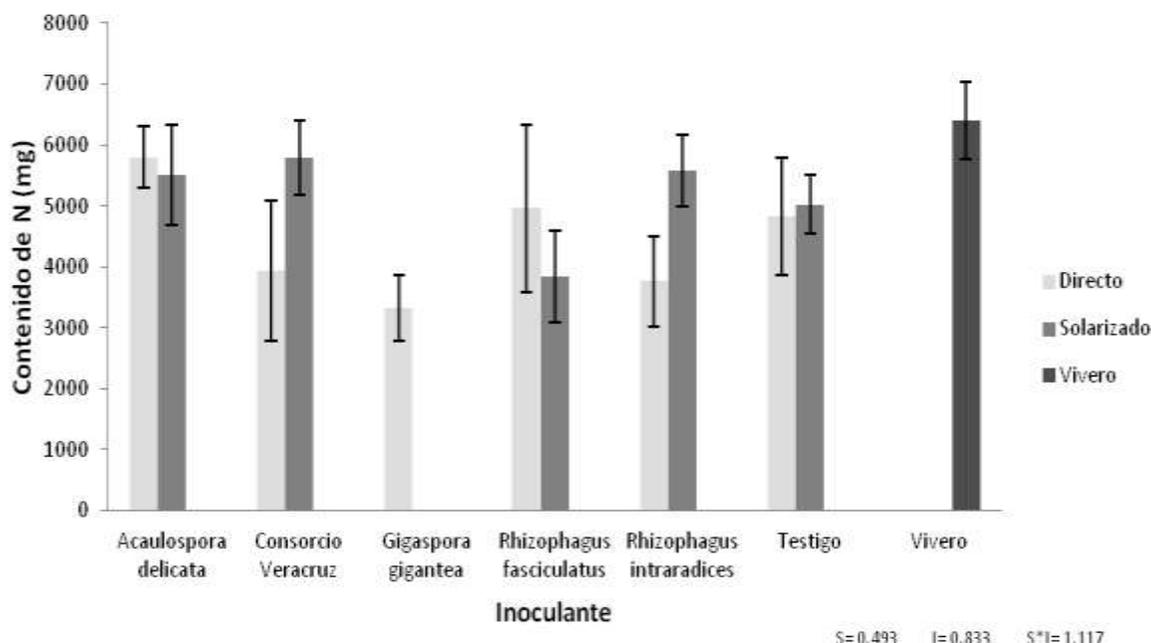


Gráfica 22. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de concentración de N en hojas en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

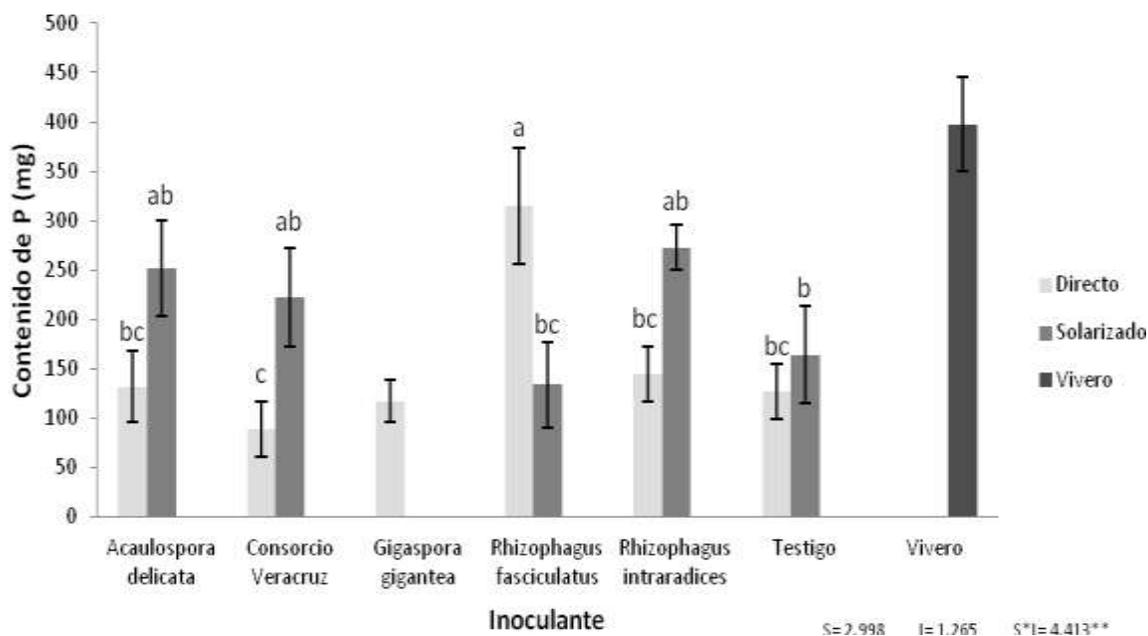


Gráfica 23. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de concentración de P en las hojas en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

### 3.3.6 Contenido de Nitrógeno y Fósforo por planta



Gráfica 24. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de contenido de N en la parte aérea en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.



Gráfica 25. Promedio ( $\pm$  D. E., n=5) de contenido de P en la parte aérea en la segunda cosecha, un año después del primer trasplante a bolsa.

## **\* RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE VARIANZA DE UNA VÍA PARA ALGUNAS VARIABLES MEDIDAS EN LA PRIMERA Y SEGUNDA COSECHA**

Adicionalmente a los análisis de varianza de dos vías realizados para todas las variables evaluadas en las dos cosechas, se realizó uno de una sola vía en donde se consideraron a los 13 tratamientos como si fueran completamente interdependientes entre si, con la finalidad de ver si hubo alguno que sobresaliera y de incluir el grupo de plantas del vivero y ver como se desempeñó con respecto a los tratamientos orgánicos. Para esto se seleccionaron solo algunas de las variables que se midieron y que según los propios viveristas, son las que ellos usan como referencia del crecimiento y nutrición de las plantas.

Lo que estos análisis arrojaron fue que en las dos cosechas y para la mayoría de las variables analizadas referentes al crecimiento, todos los tratamientos obtuvieron resultados muy similares incluyendo las plantas del vivero y los testigos sin inoculante (Tabla 4). No hubo ninguna tendencia que estuviera presente en todas las variables analizadas, es decir, que así como pudo ser que alguno de los inoculantes fuera el mejor para alguna de las variables, el mismo inoculante se pudo encontrar entre los que obtuvieron los peores resultados para otra. Las plantas manejadas convencionalmente tampoco obtuvieron resultados sobresalientes relacionados al crecimiento y la biomasa final fue muy similar en todos los tratamientos, por lo que se concluye que al nivel de fertilidad de los tratamientos orgánicos del estudio ya había suficientes nutrientes para obtener el máximo crecimiento y la contribución que hicieron algunos de los HMA inoculados a la captación de P no significó un beneficio para las plantas.

Tabla 4. Promedios obtenidos en la primera y segunda cosecha para las variables seleccionadas como más representativas del crecimiento y la nutrición de las plantas de aguacate. Letras diferentes indican diferencias significativas entre los tratamientos a  $P < 0,05$  dentro de cada variable (columna).

Suelo	Inoculante	Cosecha	Altura	Diámetro	Biomasa aérea	Concentración de N	Concentración de P	Contenido de N por planta	Contenido de P por planta
Directo	Acaulospora delicata	1	15.8 b	0.69 a	2.86 ab	10.4 c	1.62 ab	31.1 a	4.38 bcd
Directo	Consortio Veracruz		17.4 b	0.64 a	2.95 ab	19.8 abc	0.67 b	57.0 a	1.87 d
Directo	Gigaspora gigantea		17.1 b	0.67 a	3.32 ab	19.1 bc	0.55 b	64.3 a	1.83 d
Directo	Rhizophagus fasciculatus		15.4 b	0.67 a	3.82 ab	16.6 bc	2.88 b	63.2 a	10.81 ab
Directo	Rhizophagus intraradices		16.1 b	0.66 a	3.60 ab	22.4 abc	0.49 b	79.1 a	1.85 d
Directo	Testigo		18.1 ab	0.64 a	2.78 ab	25.9 ab	0.98 b	68.8 a	2.09 d
Solarizado	Acaulospora delicata		16.0 b	0.63 a	1.84 b	34.6 a	0.80 b	67.4 a	1.48 d
Solarizado	Consortio Veracruz		19.8 ab	0.75 a	5.37 a	18.9 bc	2.48 a	101.6 a	14.37 a
Solarizado	Gigaspora gigantea		15.5 b	0.65 a	-	-	-	-	-
Solarizado	Rhizophagus fasciculatus		24.0 a	0.78 a	3.20 ab	18.4 bc	2.70 a	60.1 a	9.73 abc
Solarizado	Rhizophagus intraradices		18.0 ab	0.74 a	3.20 ab	19.5 bc	0.79 b	62.9 a	2.56 d
Solarizado	Testigo		18.3 ab	0.72 a	3.81 ab	16.5 bc	0.71 b	57.8 a	2.60 d
Vivero	Vivero		15.1 b	0.72 a	3.22 ab	16.4 bc	1.05 b	50.4 a	3.37 cd
Directo	Acaulospora delicata		2	151.0 a	2.38 ab	203 ab	28.4 ab	0.65 b	5798.3 a
Directo	Consortio Veracruz	146.4 a		2.22 b	171 ab	27.2 ab	0.59 b	4720.3 a	104.68 b
Directo	Gigaspora gigantea	137.4 a		2.26 ab	116 b	28.6 ab	1.02 ab	3323.5 a	117.35 b
Directo	Rhizophagus fasciculatus	163.3 a		2.60 ab	168 ab	28.5 ab	1.90 a	4956.2 a	315.13 ab
Directo	Rhizophagus intraradices	124.2 a		2.30 ab	131 ab	28.3 ab	1.13 ab	3761.8 a	144.88 b
Directo	Testigo	147.4 a		2.34 ab	164 ab	29.7 ab	0.74 b	4825.5 a	126.53 b
Solarizado	Acaulospora delicata	150.8 a		2.50 ab	182 ab	29.9 ab	1.36 ab	5506.6 a	251.75 ab
Solarizado	Consortio Veracruz	154.2 a		2.50 ab	197 ab	29.8 ab	1.10 ab	5793.3 a	221.98 ab
Solarizado	Gigaspora gigantea	-		-	-	-	-	-	-
Solarizado	Rhizophagus fasciculatus	132.0 a		2.54 ab	172 ab	22.0 b	0.73 b	3831.8 a	133.61 b
Solarizado	Rhizophagus intraradices	158.8 a		2.78 a	213 ab	26.3 ab	1.32 ab	5582.1 a	272.84 ab
Solarizado	Testigo	133.0 a		2.36 ab	144 ab	34.9 a	1.08 ab	5024.9 a	163.91 ab
Vivero	Vivero	154.4 a		2.72 ab	232 a	27.8 ab	1.76 a	6408.9 a	397.22 a

Al comparar todos los tratamientos, incluso dentro de una misma variable, se observaron contradicciones y diferencias interesantes. Por ejemplo, en suelo directo solo uno de los tratamientos, *R. fasciculatus*, mostró una captación total de P similar a la de testigo convencional del vivero, mientras que en suelo solarizado solamente este mismo inoculante tuvo una captación de P significativamente menor a la del testigo del vivero. Esto parece indicar que este inoculante funcionó mejor en suelo directo, al contrario de los otros inoculantes que lo hicieron mejor en suelo solarizado, tal vez con menor competencia de los HMA nativos.

Al menos cinco de los once tratamientos orgánicos, incluyendo el testigo sin inocular en suelo solarizado, mostraron una concentración y captación total de P similar a la del testigo altamente fertilizado del vivero. Esto sugiere que la población nativa de HMA del suelo ya contenía cepas eficientes para promover el crecimiento de aguacate pues todos los tratamientos mostraron concentraciones de P en niveles altos y que los inoculantes ensayados contribuyeron poco en relación a lo que ya lo hacían las cepas nativas que seguramente colonizaron la mayoría de las plantas del experimento.

#### **4. DISCUSIÓN**

Los resultados de las mediciones quincenales realizadas no mostraron ninguna tendencia que se mantuviera durante los tres meses que se monitorearon las plantas. Tampoco las variables medidas en la primera cosecha mostraron grandes diferencias entre los tratamientos. Incluso a la segunda cosecha, en plantas de un año, las diferencias fueron pequeñas. Esto coincide con lo que reportan Menge *et al.* (1978) donde no encontraron efectos positivos sino hasta después de 130 días de la inoculación y con Godínez *et al.* (1986) que los obtuvo a los 180 días.

Hernández-Dorrego (2000) señala que en árboles frutales y especies leñosas, en general, el proceso de penetración y colonización del hongo que forma la micorriza es más lento, debido al rápido crecimiento inicial de su sistema radical; en esta fase, el hongo se comporta como un parásito ya que necesita de la planta muchos más carbohidratos para lograr establecerse en el interior de sus raíces. Solo una vez colonizada la raíz, se realiza la transferencia de nutrientes desde el suelo hacia la planta mediada por el hongo y, por tanto, las respuestas en crecimiento se evidencian más tarde.

En ese sentido Alarcón y Ferrera-Cerrato (1999) dicen que se pueden definir tres grupos de frutales en función del grado de dependencia al establecimiento de los HMA: las especies micotróficas obligadas, es decir, aquellas que requieren obligadamente del establecimiento de estos endófitos. Las plantas no micotróficas, que no requieren del establecimiento de estos hongos debido a que su sistema radical está provisto de abundantes pelos radicales que les permiten mayor captación de nutrimentos y, por tanto, los simbiontes micorrízicos no intervienen en la fisiología de la planta. Las especies como el aguacate, con micotrofismo facultativo, cuya respuesta a los hongos micorrízicos está en función de la satisfacción de sus requerimientos nutricionales, requerirán del establecimiento y funcionalidad de la simbiosis solamente si se encuentran condiciones de alta limitación nutricional. Montañez-Orozco (2003) determinó la dependencia micorrízica de otra variedad de aguacate de Colombia y encontró una dependencia micorrízica moderada, ya que a muy bajos niveles de fertilidad la condición micorrízica promovió el crecimiento, pero al aumentar la fertilidad el efecto se invirtió y las plantas sin micorriza crecieron mejor. La dependencia micorrízica podría ser diferente entre las variedades de aguacate y la dependencia de la variedad criolla utilizada en este estudio se desconoce, pero es poco probable que difiera sustancialmente.

Por otro lado, los suelos forestales tipo Andosol que se usan en los viveros de Michoacán en general son fértiles y de buena calidad; a pesar de contener cenizas volcánicas presentan niveles bajos a moderados de fósforo y nitrógeno disponibles (Alcalá de Jesús et al., 2001; Bravo-Espinosa et al. 2012, Cortés-González et al. 2012). Por lo tanto, también es probable que el nivel natural de fertilidad del suelo y las adiciones de gallinaza no hayan permitido que se expresaran al máximo los beneficios de la asociación en este estudio.

Alarcón y Ferrera-Cerrato (1999) señalan también que el hecho de que ninguno de los tratamientos haya mostrado diferencias significativas al inicio del experimento se puede deber a dos cosas:

- 1) Que al germinar, las semillas hayan producido ciertas sustancias que inhibieran el proceso de colonización intraradical por parte de los hongos micorrízicos, lo cual no sucedió en este estudio ya que las plantas se colonizaron lentamente pero todas las plantas estaban colonizadas, incluso las del vivero que recibieron mucho más fertilizante, o
- 2) Que al igual que en la mayoría de las especies frutícolas arbóreas, las plántulas de aguacate aprovechan el gran contenido de reservas de sus hojas cotiledonares. La semilla de aguacate es muy grande y tiene muchas reservas de nutrientes. De la masa seca del fruto, por ejemplo, el nitrógeno representa en promedio 1-2% y el fósforo 0.03-0.3% (Bárcenas et al. 2003) y el nitrógeno representa aproximadamente el 1% del peso seco de la semilla (Weatherby y Sorber, 1931). Es por esto que en las primeras etapas de crecimiento la planta se alimenta de estas reservas y puede no requerir de nutrientes adicionales por varios meses de modo que la inoculación puede resultar innecesaria. Sin embargo, aun considerando que la colonización es lenta y que la planta no requiere de los hongos micorrízicos en esta etapa, la inoculación temprana

es la más práctica para los viveristas y puede asegurar que se favorezca la colonización con cepas efectivas aunque los beneficios se aprecien hasta después de la etapa de vivero.

Las observaciones para determinar la colonización micorrízica revelaron que todas las plantas fueron infectadas por HMA, incluyendo los testigos que no se inocularon y el tratamiento del vivero, ya que el suelo contenía los propágulos de los HMA nativos. Es importante resaltar que en este estudio se buscó evaluar el efecto de los inoculantes de HMA en las condiciones de trabajo de los viveros, es decir con el suelo de campo sin eliminar a los hongos nativos, porque así son los suelos que usan en los viveros y los inoculantes deben mejorar el crecimiento y la sanidad de las plantas en competencia con los HMA nativos para considerarse efectivos. El hecho de que no se observaran los resultados obtenidos en otros experimentos (Menge *et al*; 1978; Godínez *et al*; 1986), se puede deber a la efectividad de los hongos Calvet *et al* (1997). El hablar de que un determinado hongo no coloniza en abundancia, no es sinónimo de que no sea efectivo. Podemos encontrar hongos que colonizan en baja proporción, pero que sus efectos son altamente significativos en su potencial de estimulación del crecimiento o como agentes de control biológico y por el contrario, existen hongos que llegan a colonizar a sus hospedantes abundantemente y sus efectos en la promoción del crecimiento son bajos o nulos (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999).

Los ANOVA's de dos vías de la primera cosecha indicaron que el suelo no fue un factor que determinara las variables medidas y tampoco lo fue el inoculante usado. Se encontraron más resultados significativos en la interacción suelo e inoculante, lo que indica que alguno de los inoculantes funciona mejor en un determinado tipo de suelo. Un ejemplo de esto es el *Rhizophagus fasciculatus* en el suelo solarizado, que a pesar de no mostrar diferencias

significativas en todas la variables, se podría considerar como sobresaliente pues fue de los que obtuvieron mejores resultados, seguido por el Consorcio Veracruz en el mismo tipo de suelo.

La solarización no mata todo, se usa para disminuir patógenos y se sabe que también puede reducir los HMA pero no los elimina (Schreiner et al. 2011), y en este caso se usó para reducir patógenos. El suelo o sustrato que se usa en el vivero es muy importante para la nutrición y la salud de las plantas, por lo que es importante conocerlo, caracterizarlo y buscar los inoculantes que mejor funcionan en cada suelo y para cada cultivo (Rivera-Espinosa et al. 2011).

Tampoco se pudo comprobar la otra hipótesis de que los inoculantes locales iban a ser más efectivos que los foráneos por estar adaptados a las condiciones edafoclimáticas en las que crece el aguacate. Los análisis no mostraron que hubiera algún tratamiento que destacara contundentemente sobre los otros, ni de los locales por sobre los foráneos o viceversa. Los análisis de una vía tampoco mostraron que el grupo de plantas del vivero haya sido superior que los tratamientos orgánicos. Esto quiere decir que en esta primera etapa, el uso de HMA no determina el crecimiento ni la sanidad de las plantas. Las plantas crecieron en general fuertes, sanas y bien nutridas durante los dos años en el vivero, independientemente del tratamiento, lo cual sugiere que el aguacate tiene una fortaleza intrínseca que lo hace poco dependiente de insumos adicionales y poco susceptible a enfermedades en esta etapa. Esto coincide también con los experimentos de Gavito *et al* (datos no publicados) en los cuales determinaron que el tiempo que tardan las plantas de aguacate criollo en agotar las reservas de la semilla está determinado por la biomasa de ésta, y las plantas pueden sobrevivir entre tres y cinco meses recibiendo únicamente agua . Incluso al empezar a suministrarles nutrientes, tardaron en promedio 5-6 meses después de

la germinación para que las plantas fertilizadas mostraran diferencias claras en su crecimiento sobre las no fertilizadas.

En cuanto a la nutrición de las plantas, se pudo comprobar que todas crecieron fuertes y sanas. Estudios de Hass y Brusca (1955) reportan concentraciones de Fósforo muy similares a las obtenidas en este experimento y Stassen et al (1997) hacen lo mismo para el Nitrógeno. Es interesante notar como las plantas del vivero, a pesar de ser altamente fertilizadas con químicos, obtuvieron concentraciones de estos dos elementos muy similares a las que obtuvieron los tratamientos orgánicos con pocas adiciones de gallinaza. Esto quiere decir que los abonos y otros fertilizantes químicos que los viveristas usan, por lo menos hasta esta etapa, son innecesarios y por lo tanto una pérdida de dinero pues podrían prescindir del uso de esos productos en los primeros cinco meses en el vivero y las plantas crecerían en las mismas condiciones. Posteriormente, algunas adiciones de gallinaza, que es un insumo local y orgánico muy barato, podrían mantener las plantas bien nutridas y con máximo crecimiento hasta finalizar el primer año.

Contrariamente a lo que reportan varios autores, en la segunda cosecha, cuando las plantas tenían un año de haber sido trasplantadas, los resultados no fueron muy diferentes a los de la primera en cuestión de que a pesar de que si hubo diferencias entre los inoculantes, no hubo ninguno que mostrara resultados sobresalientes en todas las variables medidas. Destaca el grupo de plantas del vivero que en esta etapa se encontró entre los que obtuvo los mejores resultados aunque no siempre llegaron a ser significativos. Se han reportado efectos positivos de inoculación con cepas de *Glomus* (Montoya y Osorio, 2009; Montañez-Orozco, 2009, Rivera-Espinosa et al. 2011), *Acaulospora* (Montañez-Orozco, 2009) y *Scutellospora* (Da Silveira et al. 2003) y al igual que

en el presente estudio el inoculante de *Gigaspora* no dio buenos resultados (Da Silveira et al. 2003). Da Silveira et al. (2003) y Vega- Fraga (2011) encontraron que los inoculantes con *Scutellospora* fueron los mejores promotores del crecimiento aunque los que contenían *Glomus* y *Acaulospora* eran casi igual de buenos.

El no observar respuesta en los tratamientos posiblemente se deba a la forma de aplicación del inóculo que no fue eficiente al haber sido colocado directamente a la semilla en el momento de la siembra. Como se explicó anteriormente, en esta etapa la planta no requiere de sus raíces y por lo tanto de la simbiosis para proveerse de nutrientes. Probablemente muchos de los propágulos perecieron ya que no hubo contacto entre la raíz y el inóculo micorrízico. González-Chávez et al. (1998) determinaron que el mayor beneficio a las plantas de aguacate de 4 meses de edad se obtuvo al colocar el inóculo a 2.5 cm debajo de la superficie durante la siembra. Otra opción la presentan Alarcón y Ferrera-Cerrato (1999) donde recomiendan hacer la inoculación al momento del trasplante, una vez que las plántulas emergidas presenten el primer par de hojas verdaderas. En este caso, el trasplante se realiza a raíz desnuda de modo que al aplicar el inoculante en la raíz, se propicie el contacto directo, para un rápido establecimiento y expresión del beneficio de la simbiosis en menor tiempo. En el caso del aguacate esto podría ser no tan factible debido, en primera, a la cantidad de planta que producen los viveros y a segunda, a que esta práctica requeriría mucho capital humano, con el cual no siempre cuentan los viveros.

Sin embargo, otros experimentos realizados posteriormente en el laboratorio con inoculaciones en etapas posteriores, al mes de la germinación y en plantas de 8 meses, directamente sobre las raíces tampoco han mostrado grandes diferencias entre los tratamientos incluso cuando se han incluido inoculaciones en suelo estéril. Esto indica que la baja respuesta a la

inoculación es una característica intrínseca de esta variedad criolla y no una cuestión del método de inoculación o de la competencia con los HMA nativos.

## 5. CONCLUSIONES

Todas las plantas fueron infectadas por HMA, las observaciones para determinar la colonización micorrízica así lo demuestran.

La solarización del suelo no contribuyó mayormente a mejorar la eficiencia de la simbiosis micorriza-planta, pero varios de los inoculantes mostraron efectos más claros en suelo solarizado.

Ni los inoculantes locales, ni los foráneos, mostraron efectos sobresalientes en el crecimiento, la sanidad o la nutrición de las plantas, ya que todas crecieron sanas y fuertes. Incluso las plantas del vivero tampoco mostraron resultados muy diferentes a los de los tratamientos orgánicos, lo que indica que el crecimiento del aguacate en los primeros años es *per se* un crecimiento vigoroso y sano que tiene poco de que beneficiarse en las condiciones en las que se producen las plantas en los viveros de Michoacán.

# CAPÍTULO 3. EFECTO DE LOS TRATAMIENTOS DE SUELO E INOCULANTES EN EL CRECIMIENTO Y SOBREVIVENCIA DE PLANTAS DE AGUACATE EN HUERTA

---

## 1. INTRODUCCIÓN

A fines del siglo XIX e inicios del XX una serie de descubrimientos científicos y cambios tecnológicos fueron el inicio de la revolución agrícola que terminó por consolidarse como el modelo productivo que predomina en la actualidad, la agricultura convencional. Este modelo llegó a su máximo esplendor en la década de los sesentas durante la denominada Revolución Verde, la cual consistió en paquetes tecnológicos basados en el empleo de energía fósil e insumos industriales. A partir de entonces, la producción agrícola total creció aceleradamente pero a fines de los ochentas, el optimismo por el aumento en la producción fue cediendo frente a una larga lista de problemas socioeconómicos y ambientales (Carroll *et al*, 1990).

El cultivo comercial de aguacate en Michoacán empezó durante la década de los cincuentas, sin embargo, en los sesentas y gracias a que las condiciones de suelo y clima resultaron ser óptimos para su desarrollo, se empezaron a hacer las primeras plantaciones de la variedad Hass teniendo como consecuencia que grandes superficies forestales pasaran a ser plantaciones de aguacate, trayendo consigo pérdida de biodiversidad, erosión y contaminación de suelos, agotamiento de los mantos acuíferos, empobrecimiento de grandes masas de campesinos e incremento de los conflictos sociales en el campo y la ciudad (Bárcenas y Aguirre, 2005).

Esta situación provocó la búsqueda de nuevas tecnologías que sustituyeran el uso de los agroquímicos y que no tuvieran efectos negativos en el medio ambiente llevando la agricultura a un nivel de sostenibilidad. Para alcanzar esta sostenibilidad, según Gliessman (1998), es necesario eliminar el uso de agroquímicos y practicar lo que se conoce como agricultura orgánica. Para ello, una práctica muy común es el uso de biotecnologías basadas en el uso de microorganismos presentes naturalmente en el suelo que beneficien el desarrollo de las plantas.

Los hongos micorrízicos arbusculares son asociaciones que se establecen entre un selecto grupo de hongos y la gran mayoría de las plantas y su uso constituye una alternativa de carácter ecológico en la agricultura (Reyes Alemán et al, 1998). Tienen un papel especial en la agricultura ya que brindan a las plantas beneficios como una mayor absorción de elementos poco móviles en el suelo, un aumento de la resistencia a insectos herbívoros, mejoran la resistencia a la sequía, brindan protección contra patógenos del suelo y favorecen tolerancia a la salinidad y metales pesados (Smith y Read, 1997).

La producción orgánica de aguacate ha adquirido gran importancia en los últimos años debido a la demanda creciente de los consumidores americanos y europeos por éste tipo de productos agrícolas. En 1998 en México se tenían certificadas solo 307 ha de aguacate orgánico, mientras que para el 2006 se registraron 6,150 ha de aguacate orgánico y de conversión certificadas, de las cuales el 91 % se ubicaban en Michoacán, 6 % en Nayarit, 2 % en Puebla y 1 % en Veracruz (Gómez *et al* 2010).

El aguacate, al igual que la mayoría de los cultivos frutícolas, depende en gran medida de la asociación con hongos micorrízicos arbusculares para su desarrollo y aunque se sabe que los HMA se encuentran de forma natural en plantaciones de aguacate, muchas veces son eliminados o mermados por diferentes prácticas agrícolas, resultando de vital importancia aplicarlos *intencionalmente* en las plantaciones (Hass y Menge, 1990).

La aplicación de HMA en campo supone ciertas dificultades como que la cantidad de inoculante requerida es muy alta y que estos hongos tienen como característica poseer un lento crecimiento, una baja capacidad competitiva ante otros microorganismos y que su establecimiento

en el sistema radical, cuando se aplican en campo sin ejecutar métodos de desinfección del suelo, generalmente no es exitoso y por consiguiente no redituable para el productor (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000). Debido a esto, la aplicación de HMA debe hacerse en la etapa de almácigo o vivero, pues es dónde las plántulas pueden ser micorrizadas con el hongo más efectivo, para que así, al ser trasplantadas al sitio definitivo, se evite por una parte la competencia con otros microorganismos rizosféricos y por otra, que la cantidad de inoculante a aplicar sea menor (Sieverding, 1991).

Además, si consideramos que entre los beneficios que brindan los HMA a las plantas, se encuentra la disminución de los daños que provoca el proceso de trasplante a sitios definitivos debido a que las plantas micorrizadas poseen un sistema radical más eficiente en la captación de agua y otros nutrientes (Menge et al, 1978); resulta de especial interés encontrar la especie de HMA que además de favorecer el crecimiento y sanidad de las plantas en el vivero, sea efectivo a la hora del trasplante y durante los primeros meses de desarrollo en huerta.

A pesar de la importancia que tiene el hacer un trasplante exitoso a huertas, por los costos que representa la pérdida de árboles para el productor, hay muy pocos estudios que hayan explorado los efectos de la inoculación micorrízica en esta etapa. En la zona aguacatera de Michoacán existen varios factores que pueden afectar la sobrevivencia de las plantas y que dependen del clima, las condiciones edáficas y las condiciones bióticas (Gutiérrez-Contreras et al. 2010) y entre ellos se encuentran las heladas, las sequías, la calidad del suelo y los ataques de patógenos y plagas.

El presente experimento consistió en comprobar la efectividad de dos inoculantes de hongos micorrízicos locales (*Gigaspora aff. gigantea* y *Acaulospora aff. delicata*), de dos foráneos (*Rhizophagus fasciculatus* y *Rhizophagus intraradices*) y del consorcio de Veracruz (8 spp) utilizados en el Capítulo 2 de esta tesis; sobre la sobrevivencia y el desarrollo de plantas de aguacate criollo (*Persea americana Mill*) en condiciones de campo, con el fin de conocer si benefician a las plantas al reducir el estrés del trasplante y de comprobar si los efectos que tienen sobre las plantas en la etapa de vivero, se mantienen una vez que las plantas son sembradas en huertas.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1 Descripción del experimento

El experimento se desarrolló en dos etapas. La primera etapa se desarrolló en dos huertas, una ubicada en la localidad de San Andrés Coru (19°29'45"N, 101°54'46"O; 2194 msnm) perteneciente al municipio de Ziracuaretiro y propiedad del señor Jesús Chávez; consiste en un terreno recién desmontado para establecer la plantación de aguacate bajo manejo orgánico. La segunda huerta está ubicada en la localidad de San Juan Tumbio (19°30'15"N, 101°44'55"O; 2233 msnm) en el municipio de Pátzcuaro perteneciente al Sr. Juan Sosa; se trata de una huerta recién establecida sobre un acahual recién desmontado, con cultivo de maíz intercalado en los árboles de aguacate.

Esta etapa consistió en llevar a cada huerta un grupo de plantas de un año de edad donde estuvieran representados cada uno de los tratamientos de HMA usados, así como un grupo de plantas cultivadas de manera convencional en el vivero. Se monitorearon cada 21 días a partir del momento en que fueron sembradas para obtener un total de 5 mediciones correspondientes a la altura y el diámetro y se registró la sobrevivencia.

La segunda etapa consistió en trasplantar un grupo de 8 plantas por tratamiento a dos huertas. La primera ubicada en el municipio de Acuitzio del Canje, propiedad del señor Icpac Escalera (19°28'57"N, 101°18'53"O, 2228 msnm). Estas plantas fueron usadas para reponer las plantas que perecieron en una plantación anterior. La segunda es una huerta ubicada en la localidad de Los Ángeles Peribán (19°31'51"N, 102°26'21"O; 1500 msnm) perteneciente al señor Israel Santillán y también se utilizaron a modo de replante.

Esta segunda etapa consistió en llevar a cada huerta un grupo de 8 plantas de dos años de edad por cada tratamiento incluyendo el convencional. Se plantaron y se calculó la sobrevivencia al año de que fueron plantadas.

## **2.2 Selección y establecimiento de las plantas en las huertas**

Se seleccionaron al azar 8 plantas de cada tratamiento de HMA y 8 de las plantas del vivero para dar un total de 96 plantas por huerta. En la primera etapa, éstas tenían poco más de un año de edad y en la segunda dos. Cabe destacar que todas tenían el injerto de la variedad Hass plenamente desarrollado.

El día 15 de Junio del 2010 se trasladaron a la huerta de San Juan Tumbio y el 5 de Julio del mismo año a la de San Andrés Coru. En la primera huerta, las plantas se fertilizaron con estiércol de res y debido a que en esta huerta el terreno es regular y casi no presenta pendiente, las plantas se establecieron en bloques con una planta de cada tratamiento por bloque de modo que quedaran distribuidas lo más heterogéneamente posible dentro del terreno. En la huerta de San Andrés Coru, se fertilizaron con harina de rocas, ceniza volcánica y estiércol de res pre-

compostado; debido a que en esta huerta el terreno no es de forma regular y el relieve presenta lomeríos, las plantas se acomodaron completamente al azar.

Las plantas utilizadas en la segunda etapa fueron sembradas completamente al azar el día 29 de julio del 2011 en la huerta de Acuitzio del Canje y el 30 de julio en la de Los Ángeles Peribán.

### **2.3 Seguimiento y medición de las plantas en campo**

En la primera etapa se realizaron 5 mediciones cada 21 días en la huerta de San Andrés Coru y solamente 3 en la de San Juan Tumbio debido a que de las plantas sufrieron una helada y perecieron. En estas mediciones se tomó registro de la sobrevivencia y se les midió la altura y el diámetro. La altura se midió con un flexómetro desde la base del árbol hasta el último ápice de crecimiento y el diámetro fue tomado con un vernier a 5 cm del suelo.

La segunda etapa consistió en contabilizar cuantas de las plantas sobrevivieron a un año de haber sido trasplantadas y medirles el diámetro a 5 cm del suelo.

### **2.4 Análisis estadísticos**

Los resultados de la primera etapa fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una sola vía por cada medición y para cada variable evaluada donde los tratamientos se tomaron como si fueran 13 tratamientos completamente independientes entre si, incluyendo al grupo de plantas del vivero (que no era parte del arreglo factorial y por lo tanto difería de los tratamientos de muchas maneras) para ver si se distinguían de este tratamiento en particular. Luego, si se obtuvo efecto de algún tratamiento, se utilizó el *Test* de Tukey o HSD al 5% de significancia para

conocer los tratamientos con mejores resultados. Además, se contabilizaron cuántas plantas sobrevivieron en cada medición y se calculó un porcentaje de sobrevivencia.

En la segunda etapa solamente se calculó el porcentaje de sobrevivencia al año de la plantación.

### 3. RESULTADOS

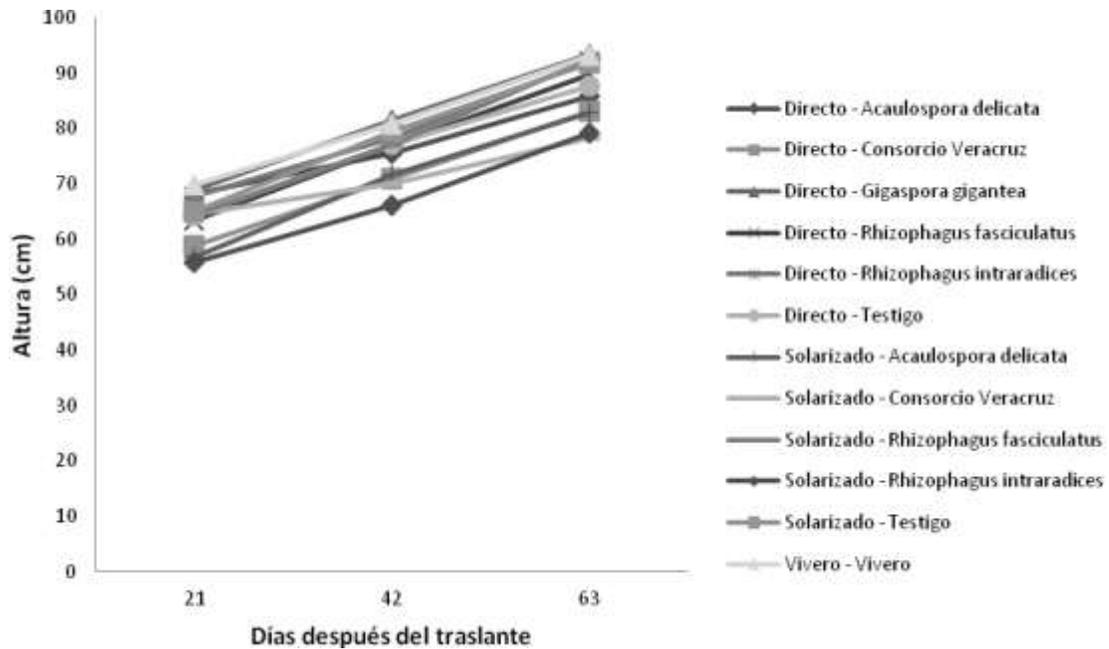
#### 3.1 Primera Etapa

##### Huerta San Juan Tumbio

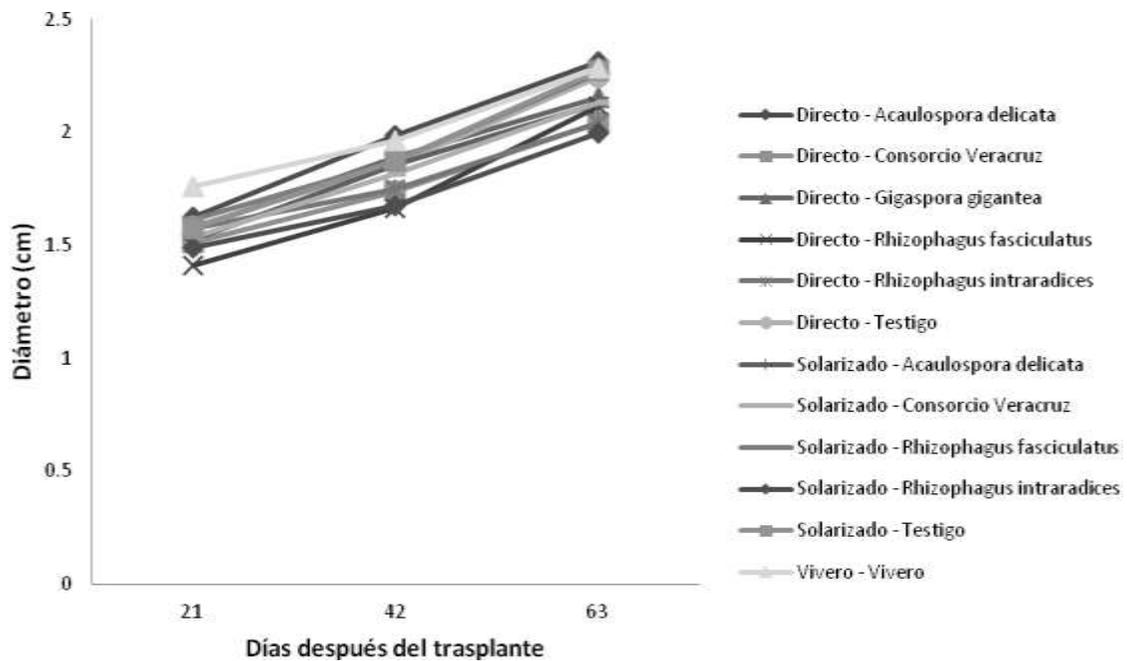
##### 3.1.1 Crecimiento

Tabla 5. Crecimiento en altura y diámetro de las plantas de un año a los 21, 42 y 63 días después del trasplante a campo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos a  $P < 0.05$  dentro de la misma fecha (columna).

Tratamientos		Variables					
		Altura			Diámetro		
Suelo	Inoculante	21	42	63	21	42	63
Directo	<i>Acaulospora delicata</i>	68.1 A	75.5 A	85.8 A	1.6 AB	1.9 A	2.3 A
Directo	<i>Consortio Veracruz</i>	58.8 A	70.8 A	83 A	1.5 AB	1.7 A	2.0 A
Directo	<i>Gigaspora gigantea</i>	68.8 A	81.3 A	93.2 A	1.5 AB	1.8 A	2.1 A
Directo	<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	63.2 A	76.8 A	89.7 A	1.4 B	1.6 A	2.1 A
Directo	<i>Rhizophagus intraradices</i>	67.7 A	66 A	92.1 A	1.5 AB	1.7 A	2.1 A
Directo	<i>Testigo</i>	64.3 A	77 A	87.7 A	1.5 AB	1.8 A	2.2 A
Solarizado	<i>Acaulospora delicata</i>	56.6 A	71.7 A	82.7 A	1.5 AB	1.8 A	2.1 A
Solarizado	<i>Consortio Veracruz</i>	64.5 A	70 A	78.1 A	1.5 AB	1.8 A	2.1 A
Solarizado	<i>Gigaspora gigantea</i>						
Solarizado	<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	64.2 A	77.1 A	92.3 A	1.6 AB	1.8 A	2.2 A
Solarizado	<i>Rhizophagus intraradices</i>	55.8 A	78.2 A	79.1 A	1.4 AB	1.6 A	2.0 A
Solarizado	<i>Testigo</i>	64.8 A	79.2 A	91.7 A	1.5 AB	1.8 A	2.2 A
Vivero	<i>Vivero</i>	69.7 A	80 A	93.1 A	1.7 A	1.9 A	2.2 A



Gráfica 26. Promedio de altura de la planta por tratamiento respecto al tiempo en la de Huerta San Juan Tumbio. No se presenta el error estándar para facilitar la visualización de los tratamientos.



Gráfica 27. Promedio de diámetro del tallo de la planta por tratamiento con respecto al tiempo en la de Huerta San Juan Tumbio. No se presenta el error estándar para facilitar la visualización de los tratamientos.

El análisis mostró que en todas las mediciones y para las dos variables, todos los tratamientos obtuvieron resultados estadísticamente iguales, exceptuando el diámetro de la primera medición en donde el grupo de plantas del vivero obtuvo resultados diferentes al resto de los tratamientos.

Al observar las gráficas, se puede ver claramente que no existe ningún patrón ni del tipo de suelo ni del inoculante usado y como todas las plantas crecieron muy semejantes. Esto se podría deber a que las condiciones en las cuales se desarrollaron fueron iguales para todas.

### 3.1.2 Sobrevivencia

Tabla 6. Porcentaje de sobrevivencia de las plantas de un año trasplantadas a la huerta en San Juan Tumbio.

		Directo						Solarizado					Vivero
		Acaulospora delicata	Consorcio Veracruz	Gigaspora gigantea	Rhizophagus fasciculatus	Rhizophagus intraradices	Testigo	Acaulospora delicata	Consorcio Veracruz	Rhizophagus fasciculatus	Rhizophagus intraradices	Testigo	Vivero
Días después del trasplante	21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	42	100	100	100	100	100	87.5	87.5	87.5	100	100	87.5	100
	63	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	87.5	75	100	87.5	87.5	100
	84	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Todos los tratamientos presentaron una tasa inicial de sobrevivencia que se podría considerar buena ya que solo una o dos plantas de cada uno fueron las que murieron. Pero para asegurarlo habría que hacer ANOVAs como en todas las otras variables con el porcentaje de sobrevivencia a la última fecha en que se evaluó. Desgraciadamente después de la tercera

medición, cayó una helada en la zona que mató todas las plantas y ya no se fue posible hacer las 5 mediciones que se tenían consideradas.

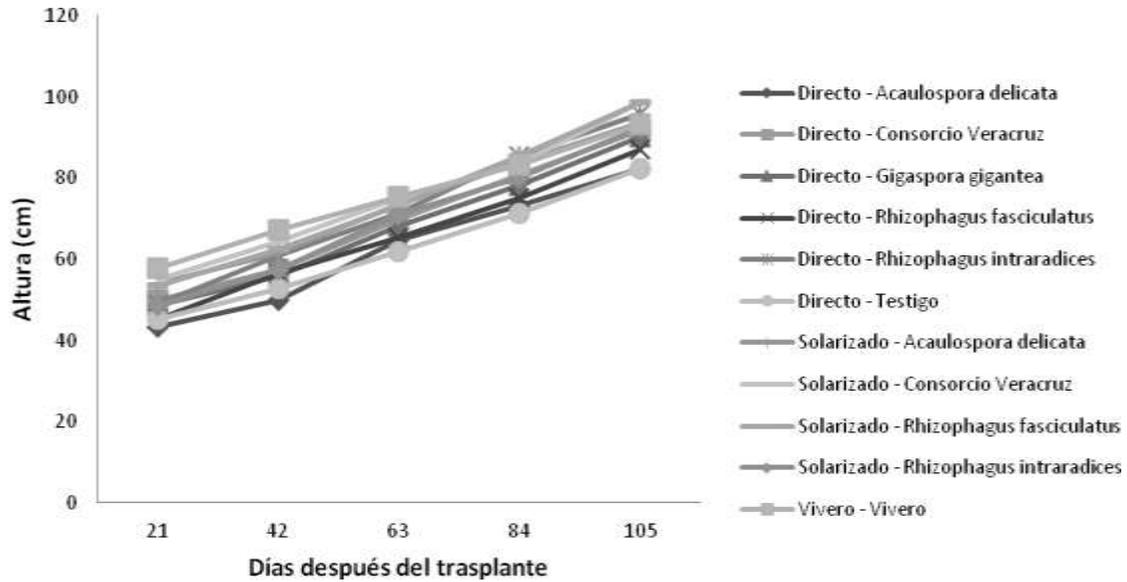
La gran mayoría de las muertes de los tratamientos del suelo directo se presentó hasta la tercera medición mientras que en el suelo solarizado en la segunda ya hubo varias que murieron. Destaca el grupo de plantas del vivero que presentó una tasa de sobrevivencia del 100%, es decir, que a la tercera medición todas las plantas que se establecieron seguían vivas.

## Huerta San Andrés Coru

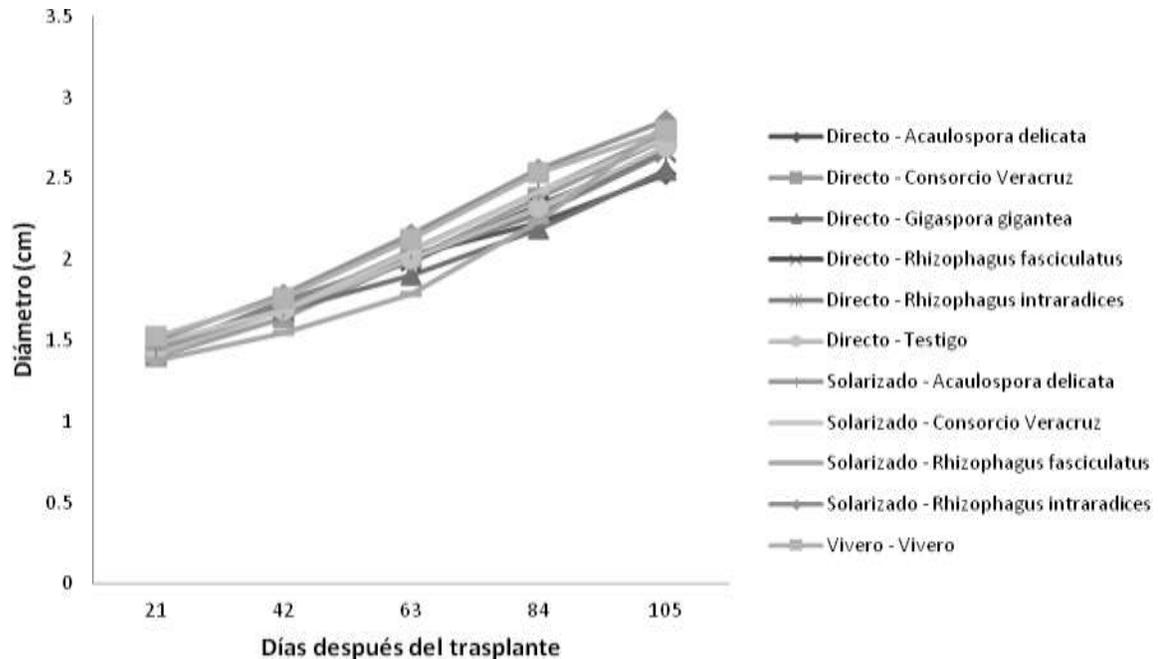
### 3.1.3 Crecimiento

Tabla 7. Crecimiento en altura y diámetro de las plantas de un año a los 21, 42, 63, 84 y 105 días después del trasplante a campo. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos a  $P < 0.05$  dentro de la misma fecha (columna).

Tratamientos		Variables									
		Altura					Diámetro				
Suelo	Inoculante	21	42	63	84	105	21	42	63	84	105
Directo	<i>Acaulospora delicata</i>	43.2 A	49.8 B	64.7 A	73.2 A	82.2 A	1.4 A	1.7 A	2.0 A	2.2 A	2.5 A
Directo	<i>Consortio Veracruz</i>	50 A	57.3 AB	69.6 A	80.6 A	91.6 A	1.4 A	1.6 A	2.0 A	2.3 A	2.7 A
Directo	<i>Gigaspora gigantea</i>	48.6 A	55.8 AB	68 A	78.1 A	90 A	1.4 A	1.6 A	1.9 A	2.1 A	2.5 A
Directo	<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	45.3 A	56.5 AB	65.2 A	75.1 A	87 A	1.4 A	1.7 A	1.9 A	2.3 A	2.6 A
Directo	<i>Rhizophagus intraradices</i>	49 A	60.8 AB	71.1 A	85.4 A	95.8 A	1.4 A	1.7 A	2.0 A	2.2 A	2.6 A
Directo	<i>Testigo</i>	45.3 A	52.8 AB	61.8 A	71.2 A	82.4 A	1.4 A	1.6 A	2.0 A	2.3 A	2.7 A
Solarizado	<i>Acaulospora delicata</i>	53.8 A	61.5 AB	7.3 A	83.8 A	93.6 A	1.4 A	1.7 A	2.0 A	2.4 A	2.7 A
Solarizado	<i>Consortio Veracruz</i>	55 A	64.2 AB	75 A	83.4 A	98.7 A	1.4 A	1.6 A	2.0 A	2.4 A	2.7 A
Solarizado	<i>Gigaspora gigantea</i>										
Solarizado	<i>Rhizophagus fasciculatus</i>	53.3 A	62.3 AB	73.2 A	85.5 A	98.5 A	1.3 A	1.6 A	1.7 A	2.2 A	2.8 A
Solarizado	<i>Rhizophagus intraradices</i>	48.7 A	57.4 AB	70 A	80.2 A	92.4 A	1.5 A	1.7 A	2.1 A	2.5 A	2.8 A
Solarizado	<i>Testigo</i>										
Vivero	<i>Vivero</i>	57.8 A	67.1 A	75.4 A	83.1 A	93.1 A	1.5 A	1.7 A	2.1 A	2.5 A	2.8 A



Gráfica 28. Promedio de altura de la planta en cada tratamiento respecto al tiempo en la de Huerta San Andrés Coru. No se presenta el error estándar para facilitar la visualización de los tratamientos.



Gráfica 29. Promedio de diámetro del tallo de la planta en cada tratamiento con respecto al tiempo en la Huerta de San Andrés Coru. No se presenta el error estándar para facilitar la visualización de los tratamientos.

Al igual que en la otra huerta, todos los tratamientos, en las dos variables y para todas las mediciones, se encontraron dentro del mismo grupo estadístico, a pesar de que aparentemente hubo diferencias, la Prueba de Tukey demostró que no y tal vez haya diferencias con una prueba de comparaciones múltiples menos rigurosa.

De nueva cuenta, no se observó ninguna tendencia de que la altura y el diámetro de las plantas estuvieran determinados ni por el suelo ni por el inoculante usado.

### 3.1.4 Supervivencia

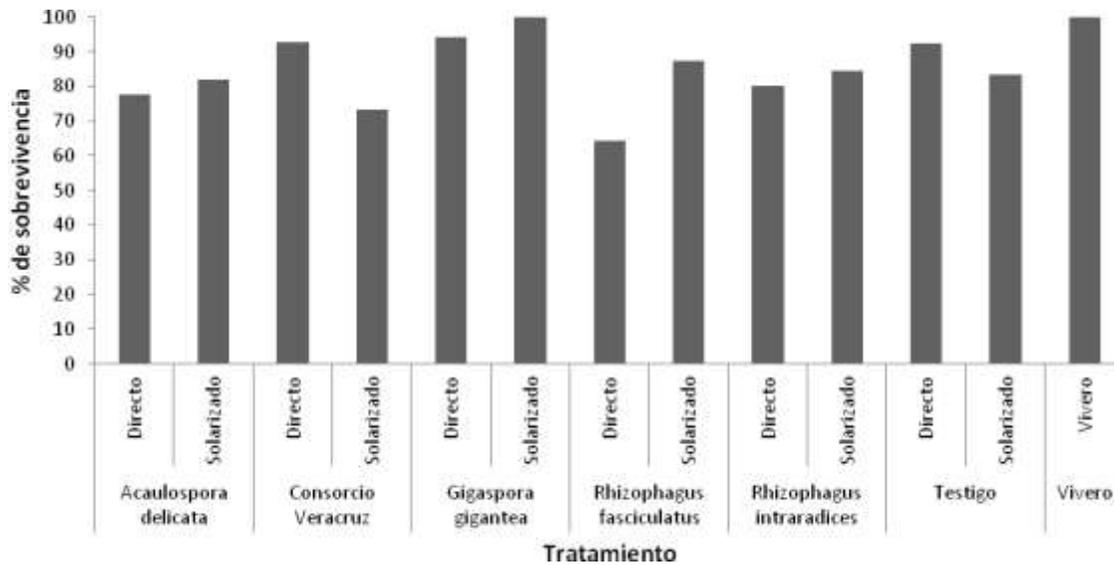
**Tabla 8. Porcentaje de supervivencia de las plantas de un año trasplantadas a la huerta en San Andrés Coru.**

		Directo						Solarizado				Vivero
		Acaulospora delicata	Consorcio Veracruz	Gigaspora gigantea	Rhizophagus fasciculatus	Rhizophagus intraradices	Testigo	Acaulospora delicata	Consorcio Veracruz	Rhizophagus fasciculatus	Rhizophagus intraradices	Vivero
Días después del trasplante	21	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
	42	87.5	100	100	87.5	87.5	100	87.5	100	100	100	100
	83	50	75	87.5	75	75	75	62.5	75	87.5	62.5	87.5
	84	50	62.5	87.5	75	62.5	62.5	62.5	62.5	75	62.5	75
	105	50	62.5	75	75	62.5	62.5	62.5	50	75	62.5	75

En esta huerta si se pudieron hacer las cinco mediciones que se tenían planeadas y el porcentaje de supervivencia se podría considerar más bien bajo, en ningún caso la supervivencia superó el 75% de las plantas plantadas en un inicio.

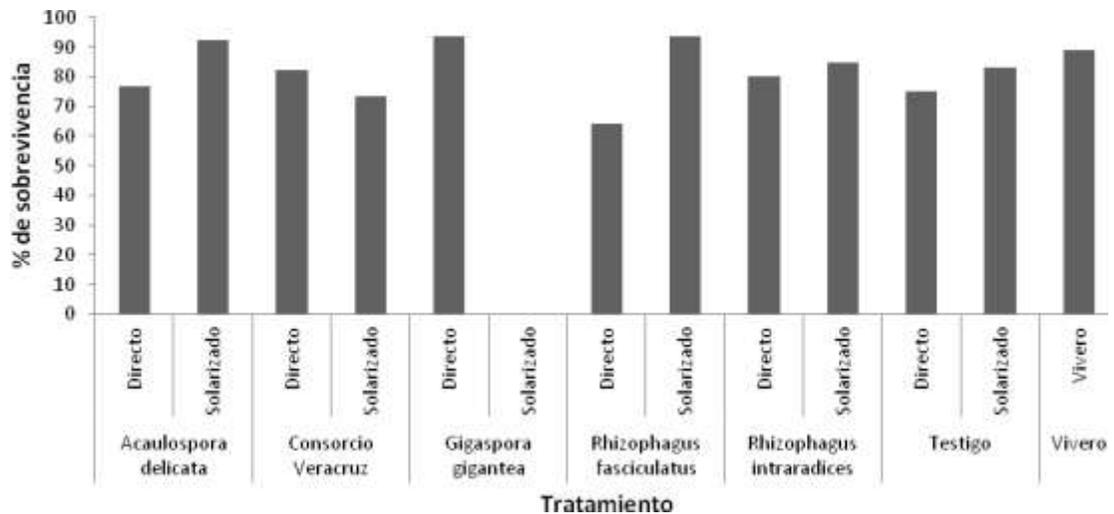
## 3.2 Segunda Etapa

### 3.2.1 Sobrevivencia en la Huerta de Acuitzio del Canje



Gráfica 30. Porcentaje de sobrevivencia a 365 días del trasplante de las plantas de dos años trasplantadas a la huerta en Acuitzio del Canje.

### 3.2.2 Sobrevivencia en la Huerta de Los Ángeles Peribán



Gráfica 31. Porcentaje de sobrevivencia a 365 días del trasplante de las plantas de dos años trasplantadas a la huerta en Los Ángeles Peribán.

Lo que muestran estas dos gráficas (30 y 31), es que a pesar de haber pasado un año de que se estableció la plantación, el porcentaje de sobrevivencia es bastante bueno con la única excepción del tratamiento *Rhizophagus fasciculatus*, un inoculante del foráneo, que en las dos huertas fue el que tuvo más decesos a pesar de haber sido uno de los mejores inoculantes para promover el crecimiento y la captación de P en la etapa de vivero. A diferencia de las plantas de un año, que pocas veces superó el 75%, éstas presentaron una sobrevivencia del 70 al 90%.

#### 4. DISCUSIÓN

Se sabe por lo menos desde 1965 que la micorriza se encuentra presente en los hábitats naturales de donde el aguacate es nativo y que el aguacate es una especie que vive en simbiosis con este grupo de hongos (Ginsburg y Hershenson, 1965). A pesar de esto, muchas veces estos hongos están ausentes en las raíces de las plántulas provenientes de vivero debido a prácticas como la esterilización del suelo y el uso de fungicidas y otros productos químicos, por lo que la inoculación con HMA es un recurso bastante atractivo para los viveristas pues las plantas micorrizadas, pueden llegar a tener una tasa de crecimiento de hasta 250% mayor que las no micorrizadas, y esta es una alternativa agrícola que respeta el medio ambiente y es viable desde el punto de vista económico.

Además de los múltiples beneficios que la micorriza proporciona en la etapa de vivero como mayor transporte de agua y nutrimentos (especialmente P, Cu y Zn); protección cuando se encuentran bajo condiciones de estrés por problemas de salinidad, sequía, acidez, elementos tóxicos o patógenos que atacan a la raíz (Smith y Read, 1997); se sabe que los hongos micorrízicos arbusculares pueden influir también en la disminución de los daños que provoca el proceso de

trasplante de las plantas de aguacate a sitios definitivos debido a una mejor absorción de agua. (Menge *et al.*, 1978).

En este experimento no se encontraron los resultados que reporta Menge *et al* (1978), ni en las plantas de un año ni en las de dos. No obstante Menge et al. (1980) compararon plantas con y sin micorriza, mientras que en este estudio todas las plantas estaban micorrizadas y la observación más importante fue que no hubo ningún inoculante que destacara en las variables medidas sobre los HMA nativos del suelo; todos los tratamientos obtuvieron resultados muy parecidos como lo demuestran los Análisis de Varianza realizados.

Tampoco el tipo de suelo que se usó para germinar las plantas cuando estaban en vivero tuvo ningún efecto sobre el crecimiento de las plantas una vez que estuvieron en huerta. Esto, contrariamente a la hipótesis de que el efecto de solarización resultaría beneficioso para el establecimiento de la simbiosis y por lo tanto en el desarrollo de las plantas. Únicamente en las plantas trasplantadas al segundo año se aprecia una tendencia de que los tratamientos con suelo solarizado tienen mayor sobrevivencia que los de suelo fresco. Otro cambio interesante es que en las plantas de dos años hay mayor sobrevivencia en promedio en los tratamientos con los inóculos locales *G. gigantea* y *A. delicata* que en los inóculos que no son de la región, lo cual sugiere que se ha empezado a expresar una ventaja de los inoculantes locales que no se evidenció durante la etapa de vivero.

La fortaleza y la salud de todas las plantas a lo largo de los dos años en la etapa del vivero, también podría ser una explicación de que el tratamiento del suelo no tuviera ningún efecto y esto a su vez podría ser consecuencia de las buenas prácticas sanitarias del vivero que no llevaron a

ningún ataque evidente de patógenos o plagas en todo el periodo. El uso de suelo forestal para crecer las plantas y de semillas criollas de variedades de la zona parecen ser dos grandes fortalezas de la producción de plantas en Michoacán, que les confieren una gran resistencia y calidad. Sin embargo esto puede representar un conflicto ambiental por la extracción irregular del suelo y la falta de planeación en la utilización del recurso, porque puede llevar a su agotamiento y es evidente la necesidad de una regulación en su uso. En otros países donde no está permitido extraer suelo forestal para los viveros, el uso de sustratos alternativos sin la calidad de un verdadero suelo, es uno de los factores que generan grandes problemas sanitarios y gastos enormes en fertilización y productos de control de plagas y enfermedades. Estas son complicaciones y gastos que los viveristas en Michoacán no tienen que enfrentar y que demuestran el valor de un suelo desarrollado, sano y productivo para un cultivo, que hace parecer superfluo el uso de insumos adicionales.

Las plantas de un año fueron evidentemente más sensibles al trasplante y aunque más del 50% de las plantas se establecieron muy bien durante el verano y el otoño, se observó la pérdida total del grupo de plantas en San Juan Tumbio al llegar las heladas del invierno. La inoculación micorrízica, o cualquier otro tipo de inoculación, desafortunadamente no pueden ayudar a las plantas a hacer frente a estas condiciones. En la segunda etapa de este experimento, lo que se pudo observar fue que en ambas huertas el porcentaje de sobrevivencia fue mejor que en la primera etapa y esto se puede deber a que todas las plantas al final de cuentas crecieron en las mismas condiciones pues el suelo solarizado se aplicó desde la germinación y después no se volvió a usar, al igual que los inoculantes. Por lo tanto, la sobrevivencia no estuvo condicionada por la nutrición o salud de las plantas, sino por la fortaleza que da un año más de crecimiento en el vivero.

## 5. CONCLUSIONES

La sobrevivencia de las plantas fue buena en todos los tratamientos, incluyendo los testigos sin inocular y el tratamiento del vivero.

La planta de dos años de edad presenta un porcentaje de sobrevivencia en campo mayor que la de un año.

Ni el tipo de suelo ni el inoculante usado influyeron en el crecimiento ni la sobrevivencia en campo, pero las plantas de dos años inoculadas con los inoculantes locales, y principalmente en suelo solarizado, mostraron mayor sobrevivencia que las de los inoculantes foráneos, al contrario de la etapa de vivero en la que los inoculantes foráneos se desempeñaron mejor.

Estos resultados apoyan parcialmente las dos hipótesis del estudio que sugerían un beneficio por la inoculación con hongos micorrízicos y por la solarización del suelo. Sin embargo es evidente que la eficiencia del sistema de producción da poco lugar a la expresión de ventajas adicionales.

#### IV. DISCUSIÓN GENERAL

La importancia de este trabajo consistió en que fue realizado para hacer frente a una problemática específica como lo es el uso excesivo de agroquímicos para la producción de planta desde la etapa de vivero, con tecnologías al alcance de los productores, en condiciones en las que ellos trabajan y con métodos que ellos pudieran reproducir. En otros trabajos (Menge *et al*; 1978; Godínez *et al*; 1986), se prueban diferentes dosis de fertilización, diferentes momentos de aplicar el inoculante, diferentes formas de hacerlo y todo esto bajo condiciones controladas y sin ninguna posibilidad de que los viveristas pudieran aplicar los resultados obtenidos. En este trabajo, por el contrario y gracias a la recomendación de los propios viveristas, se siguió una serie de prácticas que ellos normalmente realizan para que en el caso de que uno de los inoculantes hubiera resultado efectivo, se pudiera aplicar, manejar y producir con facilidad.

Los HMA son organismos presentes en la mayoría de los suelos y asociados a la casi todos los cultivos por lo cual representan una alternativa factible como tecnologías que los propios viveristas pueden producir sin necesidad de estar dependiendo de insumos externos. Si nos basamos en la suposición de que la expansión aguacatera en Michoacán va a seguir la tendencia de las últimas décadas y que toda la planta que se establece en huertas, inevitablemente proviene de un vivero, ¿Porqué no buscar alternativas?

Aunque no se encontró ningún inoculante verdaderamente efectivo, este trabajo provee una primera aproximación de lo que se puede hacer y no hacer, pretende ser una base para nuevos experimentos, en los cuales se busquen nuevas cepas, otros momentos de aplicarlas y otras formas también, hasta dar con un inoculante que sea capaz de *competir* con uso de agroquímicos y poner a los viveros de aguacate en camino hacia la sustentabilidad.

## V. CONCLUSIONES GENERALES

A pesar de la baja respuesta de las plantas de aguacate a la inoculación con HMA durante el primer año en el vivero, la inoculación en los primeros meses sigue pareciendo el momento ideal ya que sería casi imposible conseguir una inoculación eficiente una vez las plantas han rebasado el metro de altura o han sido trasplantadas a campo.

Si las plantas se han inoculado exitosamente desde etapas tempranas con cepas eficientes, es más probable que se desempeñen mejor en etapas posteriores al enfrentarse a condiciones más estresantes como el trasplante a campo y que se expresen en algún momento los múltiples beneficios nutricionales, fisiológicos, sanitarios y edáficos que puede conferir la asociación con hongos micorrízicos. En cambio, si las plantas se fertilizan intensamente en el vivero y en las huertas, es probable que sean colonizadas por cepas ineficientes de tipo más bien parasítico, que son las que prosperan en ambientes muy fértiles y en las que los HMA únicamente usan carbono de la planta sin contribuir a su nutrición.

Por estas razones se sugiere que aunque no se observen diferencias espectaculares en crecimiento, nutrición y sanidad en el vivero o sobrevivencia al trasplante, se promuevan tanto la inoculación con cepas de HMA eficientes como la reducción de cualquier tipo de fertilización en el etapa de vivero, para que las plantas estén bien nutridas y sean bien colonizadas por cepas benéficas.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

- **Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999.** Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. *Terra Latinoamericana*. Vol. 17. Núm. 003. PP. 179-191.
- **Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 2000.** Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular. Colegio de Postgraduados. Montecillo. Mundi Prensa. México. 251 p.
- **Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 2000.** Biofertilizantes: Importancia y utilización en la agricultura. *Agricultura Técnica en México*. INIFAP. Vol. 26. Núm. 002. PP. 191-203.
- **Alarcón, A., J. J. Amaraz, S., R. Ferrera-Cerrato, M. C. A. González-Chávez, M. E. Lara H., M. J. Manjarraz M., R. Quintero I. y S. Santamaría R. 2004.** Manual: Tecnología de los hongos micorrízicos en la producción de especies forestales en vivero. En: Ferrera-Cerrato, A. Alarcón y M. E. Lara (Eds.). Colegio de Postgraduados, Montecillo. SEMARNAT-PRONARE. México. 98 p.
- **Alcalá de Jesús M., Ortiz-Solorio C.A., Gutiérrez-Castorena M. C. 2001.** Clasificación de los suelos de la meseta tarasca, Michoacán. *Terra Latinoamericana* 19:227-239.
- **Altieri, M. 1995.** *Agroecology: the science of sustainable agriculture*. Westview Press. Boulder, Colorado. 448 p.
- **Altieri, M. 1999.** *Agroecología, Bases científicas para una agricultura sustentable*. CLADES-Chile. 235 p.
- **Altieri, M. y C. Nicholls. 2000.** *Agroecología: Teoría y práctica para una agricultura sustentable*. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. México.
- **Anguiano, C. J.; J. J. Alcántar, R.; B. Toledo, R.; V. L. Tapia, M.; C. J. Ruiz, A y C. Rodríguez, Y. 2006.** Caracterización edafo-climática del área productora de aguacate de Michoacán. Libro Técnico No. 4. INIFAP-CIRPAC. Prometeo Editores. Guadalajara, Jalisco. 83 p.
- **APROAM. 2011.** Asociación de productores de Aguacate de Uruapan Michoacán. Importancia histórica y socioeconómica del aguacate. Consultado en línea el 2/Abril/2012 en: <http://www.aproam.com/CULTIVO/produccion.htm>
- **Astier, M., R. O. Maser y Y. Galván-Miyoshi. 2008.** Evaluación de la sustentabilidad, un enfoque dinámico y multidimensional. SEAE, CIGA, ECOSUR, UNAM, GIRA, Mundiprensa, CIEco. IMAG Impressions. Valencia, España. 210 p.
- **Azcón-Aguilar, C. y J. M. Barea. 1997.** Applying mycorrhiza biotechnology to horticulture: significance and potentials. *Scientia Horticulturae* 68: 1–24.
- **Azcón-Aguilar, C., A. Barceló, M. T. Vidal and G. de la Viña. 1992.** Further studies on the influence of mycorrhizae on growth and development of micropopagated avocado plants. *Agronomie* 12:837-840.
- **Bárcenas, O. A. E., Molina, E. J., Huanosto, M. F., Aguirre, P. S. 2003.** Contenido de macro y microelementos en hojas, flor y fruto de aguacate “Hass” en la región de Uruapan, Michoacán. *Proceedings. V World Avocado Congress*. Pp. 365-371.
- **Bárcenas, O. A. E. y S. Aguirre P. 2005.** Pasado Presente y Futuro del Aguacate en Michoacán. II Congreso Mexicano y latinoamericano del Aguacate, Uruapan, Mich. México.
- **Bautista, S. P., R. E. Campos; J. J. Aguilar M; y R. B. Muñoz P. 2002.** Propagación del aguacatero. Fundación Salvador Sánchez Colín. CICTAMEX S.C. México.
- **Bravo-Espinosa M-. M. E. Mendoza, T. Carlón Allende, L Medina, J. T. Sánchez Reyes y R. Paéz. 2012.** Effects of converting forest to avocado orchards on top-soil properties in the trans-Mexican volcanic system, Mexico. *Land Degradation and Development* DOI: 10.1002/ldr.2163..

- **Bremner, J. M. 1996.** Nitrogen-total. En: Methods of Soil Analyses part 3: Chemical Analyses (Eds. DL Spak, AL Page, ME Summer, MA Tabatabai, PA Helmke) pp. 1085-1121. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- **Calvet, M., A. Camprubí, A. Balada y C. Morera. 1997.** Utilization of arbuscular mycorrhizae for the production of citrus rootstock cultivars in spanish nurseries. GIRAD. 5° Congreso Mundial de viveristas de cítricos. Montpellier, 5 - 8 de marzo de 1997
- **Camprubí, A., Estaún, V. 2000.** Micorrizas arbusculares en producción agrícola. Horticultura. 144: 38-41.
- **Carreón Abud Y., N. Gómez Dorantes y M. Martínez Trujillo. 2007.** Hongos micorrizógenos arbusculares y su uso como fertilizantes. UMSNH y Fundación Michoacán Produce. Primera Edición. México.
- **Carroll, R., J. Vandermeer y P. Rosset. 1990.** Agroecology. McGraw-Hill, Ed. 641 p.
- **CONAPA-COMA. 2005** Plan Rector del Sistema Producto Aguacate. Uruapan, Michoacán.
- **Cortés-González J.C., Vega-Fraga, M., Varela-Fregoso, L., Martínez-Trujillo, M., Carreón-Abud, Y., Gavito, M. E. 2012.** Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) communities and land use change: the conversion of temperate forests to avocado plantations and maize fields in central Mexico. Fungal Ecology. 5: 16-23.
- **Da Silveira, S. V., de Souza, P. V. D. Koller, O. C. 2003.** Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o desenvolvimento vegetativo de porta-enxertos de abacateiro. Pesquisa Agropecuaria Brasileira. 37: 303-309.
- **Dommergues Y. R. 1978.** Impact on soil management and plant growth. In: Interactions between nonpathogenic soil microorganisms and plants. Y.R. Dommergues and S. V. Krupa (eds). Holanda.
- **FAO, 1999.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. 15º Periodo de sesiones. Comité de Agricultura. Roma, 15-29 de enero de 1999. Consultado en línea en febrero del 2012 en: <http://www.fao.org/docrep/meeting/X0075s.htm>
- **FAOSTAT, 2010.** Food and Agriculture Organization of the United Nations. Consultado en línea en abril del 2012 en: <http://faostat3.fao.org/home/index.html>
- **Ferrera-Cerrato R. y A. Alarcón. 2001.** La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. Ciencia Ergo Sum 8:175-183.
- **Ferrera-Cerrato R; C. González Chávez y M. Rodríguez Mendoza. 1993.** Manual de Agromicrobiología. Editorial Trillas. Primer Edición. 142 p.
- **Font Quer, P. 1977.** Diccionario de Botánica. 6a. reimpresión. Editorial Labor, S. A. Barcelona, España.
- **Gerdemann, J. W. y T. H. Nicolson. 1963.** Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Transactions of the British Mycological Society. 46:235-244.
- **Gianinazzi-Pearson, V. 1984.** Host-fungus specificity in mycorrhizae. In D.P.S. Verma and T.H. Hohn (editors), Genes Involved in Plant-Microbe Interactions. Springer, Vienna.
- **Ginsburg, O., y A. Hershenson. 1965.** Observations on vesicular-arbuscular mycorrhiza associated with avocado roots on Israel. Trans. Brit. Mycol. Soc. 48:101-104.
- **Gliessman, S. 2002.** Agroecología: Procesos ecológicos en agricultura sostenible. CATIE. Costa Rica. 359 p.
- **Gliessman, S., E. Engles y R. Krieger. 1998.** Agroecology: ecological processes in sustainable agriculture. Ann Arbor Press. Chelsea, UK. 212 p.

- **Godínez, R. M., R. Ferrera-Cerrato, J. J. Cortes, and J. I. Domínguez. 1986.** Response of avocado (*Persea americana* Mill) to inoculation with endomycorrhiza VA. Abstracts. Fourth International Symposium on Microbial Ecology. Ljubljana, Yugoslavia.
- **Gómez, Cruz, M. A., R. R. Schwentesius., R. J. Ortigoza y T. L. Gómez. 2010.** Situación y desafíos del sector orgánico en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. Vol. 1 No. 4. PP. 215-234.
- **Gómez, Cruz, M. A. 2004.** La agricultura orgánica en México y en el mundo. *CONABIO. Biodiversitas* 55:13-15.
- **González-Chávez, C., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998.** Biotecnología de la micorriza arbuscular en fruticultura. Área de Microbiología. Colegio de Postgraduados.
- **Gutiérrez-Contreras, M., Lara-Chávez, M. B. N., Guillén-Andrade, H., Chávez-Bárceñas, A. T. 2010.** Agroecología de la franja aguacatera en Michoacán, México. *Interciencia*. 35: 647-653.
- **Guzmán-Casado, G., M. González de Molina y E. Sevilla Guzmán. 2000.** Introducción a la Agroecología como desarrollo rural sostenible. Ediciones Mundi-Prensa. España.
- **Hass, J. H y J. A. Menge. 1990.** VA-mycorrhizal fungi and soil characteristics in avocado (*Persea Americana* Mill.) orchard soils. *Plant and soil*. Vol 127: 207-212.
- **Hernández-Dorrego, A. 2000.** Las micorrizas. Consultado en línea en abril del 2012 en: [www.terraia.com](http://www.terraia.com)
- **IFOAM, 2011.** The World of Organic Agriculture - Statistics and Emerging Trends 2011. Willer, Helga and Kilcher, Lukas (Eds.) IFOAM, Bonn; FiBL, Frick; ITC, Genf.
- **IFOAM.** International Federation of Organic Agriculture Movements. Definition of Organic Agriculture. Consultado en línea en mayo del 2012 en: [http://www.ifoam.org/growing\\_organic/definitions/doa/index.html](http://www.ifoam.org/growing_organic/definitions/doa/index.html)
- **INIFAP. 2009.** Impactos ambientales y socioeconómicos del cambio de uso del suelo forestal a huertos de aguacate en Michoacán. Publicación especial No. 2. Impresos Luna Flores. México, DF. 88 p.
- **International Culture Collection of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAM).** Revisado en línea el 26 de mayo de 2012 en <http://invam.caf.wvu.edu/>
- **Jeffries, P., and J. M. Barea. 2000.** Arbuscular mycorrhizal: a key component of sustainable plant-soil ecosystems. In B. Hock (ed.), *The mycota. IX. Fungal associations*. Springer-Verlag KG, Berlin, Germany.
- **Kapulnik, Y. and Y. Okon. 2002.** Plant growth promotion by rhizosphere bacteria. In: Waisel, Y., A. Eshell and U. Kafkafi (eds). *Plant roots. The hidden half. Third edition revised and expanded*. Marcel Dekker New York. pp. 869-885.
- **Martínez Trujillo, M., Y. Carreón Abud., P. Ríos Chávez y S. R. Torres Ochoa. 2007.** Biotecnología agrícola. Fondo Editorial Morevallado. México.
- **Martínez, C. R. 2002.** Agroecología: atributos de sustentabilidad. *InterSedes*. Año III, Volúmen 005. Costa Rica. Pp. 25-45.
- **Mattar, M., Hernández, C., Castro, M. 2003.** Effect of mycorrhiza inoculation (*Glomus intraradices* Schenck & Smith) on avocado plantlets in the nursery. V World Avocado Congress Abstracts. A-173 pp. 397.
- **McGonigle, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L. & Swan, J. A. 1990.** A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist* 15: 495-501.

- **Menge, J. A., La Rue, J., Labanauskas, C. K., Johnson, E. L. V. 1980.** The effect of two mycorrhizal fungi upon growth and nutrition of avocado seedlings grown with six fertilizer treatments. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 105: 400-404.
- **Menge, J. A., R. M. Davis, M., R. Johnson M and G. A. Zentmyre. 1978.** VA mycorrhizal fungi increase growth and reduce transplant injury in avocado. *Cal Agriculture* 32:6-7.
- **Montañez-Orozco, B. I. 2009.** Efecto de la micorrización en plantas de aguacate (*Persea americana*) durante la fase de vivero en suelos provenientes de los Llanos Orientales. M. Sc. Thesis. Universidad Nacional de Colombia. 125 p.
- **Montoya, B., Osorio, W. 2009.** Mycorrhizal dependency of avocado at different levels of soil solution phosphorus. III Congreso Latinoamericano del aguacate. Pp. 19-31.
- **Murphy J, JP Riley. 1962.** A modified single solution method for the determination of phosphate in natural waters. *Analytical Chemistry Acta* 27: 31-36.
- **Pino, C. 2006.** Estudio de sostenibilidad de sistemas vitícolas en transición agroecológica en la provincia de Cauquenes, Chile. M. Sc. Thesis. Universidad Internacional de Andalucía. 147 p.
- **Phillips, J. M. and D.S. Hayman. 1970.** Improved procedure for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.*, 55: 158-161.
- **Plenchette, C. H. 1982.** Les Endomicorrhiziens a vesicules et arbuscule (va): Un potentiel a exploiter en agriculture. *Phytoprotection* 63: 86-108.
- **Pretty, J. 2008** Agricultural sustainability: concepts, principles and evidence. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 363: 447-465.
- **Quintero, S, R. 2002.** El cultivo de aguacate orgánico en México. Consultado en línea en abril del 2012 de: [http://www.cesavesin.gob.mx/memoria/organicos/AGUACATE\\_ORGANICO\\_EN\\_MEXICO.pdf](http://www.cesavesin.gob.mx/memoria/organicos/AGUACATE_ORGANICO_EN_MEXICO.pdf)
- **Ramírez M. R. 2002.** Producción en la calidad de inoculantes bacterianos. En Pérez Moreno J., J Alvarado López y R. Ferrera Cerrato (Eds). *Producción y calidad de inoculantes agrícolas y forestales*. Colegio de Postgraduados. INIFAP y Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. México.
- **Read, D. J. 1999.** Mycorrhiza: the state of the art. In: Varma A. Hock B (eds). Springer. Berlin, Heidelberg. Pp 3-34.
- **Redclift, M. y G. Woodgate. 2002.** *Sociología del medio ambiente*. Mc Graw Hill. España.
- **Reid, W. 2005.** Evaluación de los ecosistemas del milenio, ONU, Borrador final no Publicado. Consultado en línea en mayo 2012 en: <http://www.millenniumassessment.org/proxy/Document.439.aspx>
- **Reyes Alemán J. C., A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato. 1998.** Utilización de la tecnología de los hongos micorrízicos en aguacate. In. *Memoria XI Curso Internacional de Actualización, Fruticultura Avanzada. Cultivo, Manejo y Exportación*. CICTAMEX S.C. Ixtapan de la Sal, México.
- **Reyes Alemán J. C., A. Alarcón y R. Ferrera-Cerrato. 1997.** Aspectos relacionados sobre el uso de la endomicorriza arbuscular en aguacate (*Persea americana* Mill). In: *Memoria. Fundación Salvador Sánchez Colín CICTAMEX*. Coatepec Harinas, México.
- **Reyes Alemán J. C., J. M. Aguilar y R. E. Campos. 2007.** Guía técnica del cultivo del aguacate. Fundación Salvador Sánchez Colín. CICTAMEX S.C. México.
- **Rivera-Espinosa, R. A., Martin-Cárdenas, J. V., Calderón-Puig, A., Torres-Hernández, A. 2011.** Utilización de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo

de portainjertos de aguacate en un sustrato suelo-cachaza. *Cultivos Tropicales* 32: 172-183.

- **Roselló, O. J., A. Domínguez y A. Gascón. 2000.** Comparación del balance energético y de los costos económicos en cítricos y hortalizas valencianas en cultivo ecológico y convencional. IV Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica. Córdoba, España.
- **Rosset, P.M. 1997.** La crisis mundial de la agricultura convencional y la respuesta agroecológica. Conferencias. III Encuentro Nacional de Agricultura Orgánica. Villa Clara, Cuba.
- **Sánchez, C. S., O. P. Mijares., L. López-López y A. F. Barrientos-Priego.** Historia del aguacate en México. Consultado en línea en abril del 2012 de: [http://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex\\_1998-001/CICTAMEX\\_1998-2001\\_PG\\_171-187.pdf](http://www.avocadosource.com/journals/cictamex/cictamex_1998-001/CICTAMEX_1998-2001_PG_171-187.pdf)
- **Schreiner R. P., Ivors K.L., Pinkerton J.N. 2011.** Soil solarization reduces arbuscular mycorrhizal fungi as a consequence of weed suppression. *Mycorrhiza* 11: 273-277.
- **Schübler A., Schaarzott D. y Walker C. 2001.** A new fungal phylum, the Glomeromycota: phylogeny and evolution. *Mycological Research* 105: 1413-1421.
- **SIAP-SAGARPA, 2010.** Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Consultado en línea en mayo del 2012 de: <http://www.aguacate.gob.mx/index.php?portal=aguacate>
- **Sieverding, E. 1991.** Vesicular-arbuscular mycorrhizae management in tropical agrosystems. Technical Cooperation Federal Republic of Germany. Eschborn. 371 p.
- **Sieverding, E. 1989.** Ecology of VAM fungi in tropical agrosystems. *Agric. Ecosyst. Environ.* 29: 369-390.
- **Silva, L. C., Siqueira, J. O. 1991.** Growth and nutrient contents of avocado, mango and papaya seedlings under the influence of different vesicular-arbuscular mycorrhiza fungal species. *Revista Brasileira de Ciencia do solo.* 15: 283-288.
- **Smith, C. E. Jr. 1966.** Archeological evidence for selection in avocado. *Economic Botany* 20: 169-175.
- **Smith, S. E. y D. J. Read. 1997.** *Mycorrhizal Symbiosis*, 2<sup>nd</sup> Edition. Academic Press LTD. London. England. 605 p.
- **Toledo, V.M. 2009.** ¿Otro mundo es realmente posible? Reflexiones frente a la crisis. Papeles No. 105.
- **Van der Heijden, M.G.A; J.N. Klironomos, M. Ursic, P. Motouglis, R. Streiwolf-Engel, R. Boller. Wiemkem, Bollerpino, T., A. Wiemkem y A. Sanders. 1998.** Mycorrhizal fungal diversity determines plant biodiversity ecosystems variability and productivity. *Nature* 396: 69-72
- **Vega-Fraga, M. 2011.** Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares y potencial micorrízico de dos agroecosistemas y una zona natural del estado de Michoacán. M. Sc. Thesis. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. 117 p.
- **Vidal, M. T., Azcón-Aguilar, C., Barea, J.M. 1992.** Mycorrhizal inoculation enhances growth and development of micropropagated plants of avocado. *Hortscience* 27(7): 785 - 787
- **Walker, C. 1992.** Systematics and taxonomy of the arbuscular endomycorrhizal fungi (Glomales)-a possible way forward. *Agronomie.* 12: 877-897.
- **Weatherby, L. B., Sorber, D. G. 1931.** Chemical composition of avocado seeds. *Industrial and Engineering Chemistry* 23: 1421-1423.