

Hongos micorrízicos nativos como promotores de crecimiento en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.)

Native mycorrhizal fungi as growth promoters in guava plants (*Psidium guajava* L.)

Evangelina Esmeralda Quiñones-Aguilar¹ , Gabriel Rincón-Enríquez¹  y Luis López-Pérez^{2‡} 

¹ Laboratorio de Fitopatología, Biotecnología Vegetal, Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco, A.C. Camino Arenero 1227, El Bajío del Arenal. 45019 Zapopan, Jalisco, México.

² Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Carretera Morelia-Zinapécuaro km 9.5. 58880 Tarimbaro, Michoacán, México.

‡ Autor para correspondencia / Corresponding author (lexquilax@yahoo.com.mx)

RESUMEN

En esta investigación se evaluaron diferentes consorcios micorrízicos arbusculares nativos, en el crecimiento de plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.). Se estableció un experimento totalmente al azar con siete inóculos de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) denominados: Las Campesinas (LC), Carlos Rojas (CR), Paso Ancho (PA), El limón (EL), Cerro del Metate (CM) (consorcios nativos), una cepa comercial (INIFAP[®]), y un control sin HMA, en una mezcla de arena-suelo esterilizada y bajo condiciones de invernadero. Semillas de guayaba fueron germinadas en arena esterilizada y posteriormente, las plántulas fueron trasplantadas a bolsa de vivero con una mezcla de arena-suelo esterilizada, donde fueron inoculadas con los diferentes tratamientos de HMA. Después de 125 días, se realizó un muestreo destructivo donde se registró, la altura de planta, el diámetro del tallo, el área foliar, la materia fresca y seca de cada órgano. Así como, la relación materia seca de la parte aérea/materia seca de la raíz, el índice de robustez y el índice de Dickson, como variables de calidad de planta. Cómo variables microbiológicas se determinó, la micorrización radicular y la cantidad de esporas en el sustrato. Los resultados mostraron un efecto diferencial en el crecimiento en las plantas de guayaba, cuando se inocularon con algún consorcio nativo de HMA. Entre los diferentes consorcios evaluados, EL promovió el mejor desarrollo y calidad de planta, y fue donde se alcanzó la mayor colonización y producción

SUMMARY

This research study assessed the effect of five native consortia of arbuscular mycorrhiza on guava (*Psidium guajava* L.) plant growth. A completely randomized experimental design was established with seven arbuscular mycorrhizal fungus (AMF) treatments named: Las Campesinas (LC), Carlos Rojas (CR), Paso Ancho (PA), El Limón (EL), Cerro del Metate (CM) (native consortia), a commercial strain from the Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP[®]), and a control group without AMF (w/AMF), in a sterilized sand-soil mixture and under greenhouse conditions. Guava seeds germinated in sterilized sand; the seedlings were subsequently transplanted to a nursery bag with a sterilized sand-soil mixture where they were inoculated with the different AMF treatments. At 125 days after transplant, a destructive sampling was performed, recording plant height, stem diameter, leaf area, and fresh and dry biomass of each part. As variables of plant quality, dry biomass ratio of the aerial part/dry biomass of the root, index of robustness, and Dickson index were determined. The mycorrhizal colonization and spore production in the substrate were determined as microbiological variables. The results showed a differential effect on growth promotion in guava plants when they were inoculated with a native AMF consortium. Among the different consortia evaluated, EL promoted the best guava plant development and quality and where the highest colonization and spore

Cita recomendada / Recommended citation:

Quiñones-Aguilar, E. E., G. Rincón-Enríquez y L. López-Pérez. 2020. Hongos micorrízicos nativos como promotores de crecimiento en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.). Terra Latinoamericana Número Especial 38-3: 541-554.

DOI: <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.646>

Recibido / Received: octubre / October 05, 2019.

Aceptado / Accepted: diciembre / December 12, 2019.

Publicado en / Published in Terra Latinoamericana 38: 541-554.

de esporas en el sustrato. La mayor tasa de mortalidad se registró en las plantas sin HMA, o inoculadas con el inóculo INIFAP. Los porcentajes de colonización fueron superiores al 60%, excepto en el consorcio CM. Por lo anterior se puede mencionar que, el uso de HMA podría ser una práctica recomendable para el cultivo sustentable de guayabas en invernadero.

Palabras clave: biofertilizante, calidad de planta, consorcios, esporas, micorrización.

INTRODUCCIÓN

El guayabo (*Psidium guajava* L.) es de los frutales perenes más ampliamente cultivado en el mundo, es una fruta económica que se consume preferentemente en fresco y contiene una gran cantidad de vitamina C, B2, pectinas, minerales como fósforo calcio y hierro, además de tener propiedades antioxidantes (Mohandas *et al.*, 2013). México es el quinto productor mundial de esta especie y, el estado de Michoacán en el 2017 reportó una superficie plantada de más de 11 mil hectáreas, siendo uno de los principales estados productores de esta fruta (SIAP, 2017). El incremento en la demanda de la fruta, ha ocasionado que los productores busquen alternativas para incrementar la producción pero que sean ecológicas y sustentables ahora ante el auge de la demanda de productos orgánicos y ante el deterioro ambiental que han ocasionado los productos químicos. Se estima que entre 2008 y 2013, el área de producción orgánica mundial aumentó 109, 42 y 53% para frutas de árboles templados, cítricos y frutas tropicales y subtropicales, respectivamente (Granatstein *et al.*, 2016). Una de las alternativas para el incremento en la producción mediante el enfoque orgánico sustentable es, el empleo de microorganismos rizosféricos que promuevan el crecimiento vegetativo y ayuden a las plantas frente a diversos escenarios de producción. Al respecto, los hongos formadores de micorrizas, son microorganismos simbióticos obligados que colonizan la raíz la mayoría de especies de plantas (Turrini *et al.*, 2018). Se sabe que esta relación simbiótica promueve el crecimiento de las plantas hospederas y que las raíces de estas pueden convivir con más de una especie de HMA. La micorrización también incrementa la calidad de plantas en vivero y mejora el crecimiento después del trasplante de invernadero a campo (Ortas y Ustuner, 2014; Machineski *et al.*, 2018). Por otro lado, no existe una especificidad hongo planta, pero si

production were reached in the substrate. The plants w/AMF or with the INIFAP inoculum had the highest mortality rate. The colonization percentages were higher than 60%, except for the CM consortium. Therefore, using AMF could be an advisable practice for the sustainable production of guava trees.

Index words: biofertilizer, plant quality, consortia, spores, mycorrhization.

INTRODUCTION

The guava (*Psidium guajava* L.) tree is one of the perennial fruit trees widely cultivated in the world. Its fruit is economical and consumed preferably fresh; it contains a great amount of vitamin C, B2, pectin, minerals, such as phosphorus, calcium, and iron besides having antioxidant properties (Mohandas *et al.*, 2013). Mexico is the fifth world producer of this species; the State of Michoacan reported a cultivated surface of more than 11 thousand hectares in 2017, making this state one of the main producers of this fruit (SIAP, 2017). The increase in fruit demand has made the producers search for ecological and sustainable alternatives to increase production with the rise in organic product demand and face the environmental deterioration caused by chemical products. From 2008 to 2013, the organic production area in the world increased 109, 42, and 53% for temperate, citric and tropical, and subtropical fruit trees, respectively (Granatstein *et al.*, 2016). One of the alternatives to increase production with a sustainable organic approach is, for example, using rhizosphere microorganisms that promote plant growth and help plants facing different production scenarios. In that respect, arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are obligate symbiotic microorganisms that colonize the root of the majority of plant species (Turrini *et al.*, 2018). This symbiotic relationship promotes the host plant growth, and their roots may cohabit with more than one AMF species. Mycorrhization also increases plant quality in greenhouse conditions and improves growth after transplant from the greenhouse to the field (Ortas and Ustuner, 2014; Machineski *et al.*, 2018). On the other hand, no plant-fungus specificity exists, but the effect provided by the fungus to its host may be different, which could be promoting growth, increasing nutrient and water capture capacity, inducing biotic or abiotic stress resistance, among others (Azcón and Barea,

puede ser diferente el efecto que le proporcione el hongo a su hospedero, ya sea promoviendo el crecimiento, incrementando la capacidad de captación de nutrientes y agua, inducir resistencia a estreses bióticos o abióticos entre otras (Azcón y Barea 2015; Turrini *et al.*, 2018); por lo que se puede mencionar que, existe una efectividad diferencial (Robles-Martínez *et al.*, 2013). Ante esto, Gavito y Varela (1995) y Bashan *et al.* (2000) mencionan que los inóculos constituidos por más de una especie de HMA, presentan un mayor beneficio en sus hospedantes. Al respecto, Brussaard *et al.* (2007) mencionan que la diversidad micorrízica contribuye positivamente a la nutrición y a la utilización del agua. También se sabe que los consorcios micorrízicos nativos suelen ser más efectivos, que aquellos constituidos por especies exóticas o por una sola especie (Bashan *et al.*, 2000; Ortas y Ustuner, 2014). Esto debido a la adaptación del hongo a condiciones naturales específicas y su inclusión en ambientes distintos puede ocasionar inadaptaciones al medio (Rillig y Mummey, 2006). Así mismo, existen trabajos donde se demuestra la eficacia de consorcios nativos, sobre el crecimiento vegetal en diferentes especies (Trejo *et al.*, 2011; Carreón-Abud *et al.*, 2015; Reyes-Tena *et al.*, 2015; Machineski *et al.*, 2018). Para el caso de guayaba, existen trabajos donde se ha demostrado la eficacia en la promoción del crecimiento por los HMA. Estrada-Luna *et al.* (2000), reportaron que plantas de guayaba inoculadas con una mezcla de *Glomus diaphanum*, *G. albidum* y *G. claroides*, presentaron un mayor crecimiento del tallo, producción de hojas, área foliar, biomasa seca, una mayor concentración foliar de P, Mg, Cu y Mo, así como un aumento en el intercambio de gases, respecto a plantas de guayaba sin micorrizar. Resultados similares en el crecimiento reportan Schiavo y Martins (2002) usando *Glomus clarum*, Panneerselvam *et al.* (2012) usando *Glomus mosseae*, da Silva-Campo *et al.* (2013) con *Acaulospora longula*, *Gigaspora albida* y *Glomus etunicatum*. Por su parte, Das *et al.* (2017), reportan un incremento en la producción en plantas de guayaba micorrizadas con *Glomus mosseae*.

Asimismo, se reporta que la guayaba es una especie micotrófica (Estrada-Luna *et al.*, 2000), y algunas especies de HMA que se han aislado de su rizosfera son *Glomus mosseae* (Panneerselvam *et al.*, 2012; Mohandas *et al.*, 2013), *Sclerocystis coremioides*, *Acaulospora* spp. y *Scutellospora calospora* (Kumuran y Azizah, 1995). Por lo que, es de esperarse que esta

2015; Turrini *et al.*, 2018); thus, we could mention that a differential effectiveness exists (Robles-Martínez *et al.*, 2013). With this respect, Gavito and Varela (1995) and Bashan *et al.* (2000) mentioned that the inoculant constituted by more than one AMF species showed a greater benefit to the hosts. Additionally, Brussaard *et al.* (2007) mentioned that mycorrhizal diversity contributed positively to nutrition and water use. Native mycorrhizal consortia are also known to be more effective than those constituted by one or exotic species (Bashan *et al.*, 2000; Ortas and Ustuner, 2014); this result is due to the fungus adaptation to specific natural conditions, and its inclusion into different environments may cause the inability to adapt to the environment (Rillig and Mummey, 2006). Similarly, studies have shown the efficiency of native consortia on plant growth in different species (Trejo *et al.*, 2011; Carreón-Abud *et al.*, 2015; Reyes-Tena *et al.*, 2015; Machineski *et al.*, 2018). In the case of guava, some studies have demonstrated the effectiveness of growth promotion by the AMF. Estrada-Luna *et al.* (2000) reported that the guava plants inoculated with a mixture of *Glomus diaphanum*, *G. albidum* and *G. claroides* showed greater stem growth, leaf production, leaf area, dry biomass, leaf concentration of P, Mg, Cu, and Mo, as well as an increase in gas exchange, more than in non-mycorrhized guava plants. Similar growth results were reported by Schiavo and Martins (2002) with *Glomus clarum*, Panneerselvam *et al.* (2012); *Glomus mosseae*, da Silva-Campo *et al.* (2013); *Acaulospora longula*, *Gigaspora albida* and *Glomus etunicatum*. On the other hand, Das *et al.* (2017) reported an increase in guava plant production mycorrhized with *Glomus mosseae*.

Likewise, guava has been reported as mycotrophic species (Estrada-Luna *et al.*, 2000); some AMF species that have been isolated in their rhizosphere are *Glomus mosseae* (Panneerselvam *et al.*, 2012; Mohandas *et al.*, 2013), *Sclerocystis coremioides*, *Acaulospora* spp., and *Scutellospora calospora* (Kumuran and Azizah, 1995), which is why this species has been colonized by more than one AMF species and still have a certain differential effectiveness. However, no studies have been available where the effect of growth promoter on guava plant and transplant survival is reported with AMF consortia. Therefore, this study assessed five native AMF consortia and a monosporic commercial inoculant (INIFAP®) in growth and quality of guava (*Psidium guajava* L.) plants in greenhouse conditions.

especie esté siendo colonizada por más de una especie de HMA y que pueda existir una cierta efectividad diferencial. Sin embargo, no se tienen reportes donde se evalúe el efecto en la promoción de crecimiento y supervivencia al trasplante en plantas de guayaba con consorcios de HMA. Por lo que, se evaluaron cinco consorcios nativos de HMA y un inóculo comercial monoespórico (INIFAP®), en el crecimiento y calidad de plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.), en condiciones de invernadero.

MATERIALES Y MÉTODOS

Condiciones de Crecimiento

El ensayo se desarrolló en un invernadero tipo cenital de plástico, del Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (19° 45' 95" N, 101° 09' 16" O, 1900 m), bajo condiciones de luminosidad, temperatura y humedad ambiental.

Inóculos de HMA

Se evaluaron cinco consorcios micorrízicos nativos y un inóculo comercial (INIFAP®). Los consorcios provenían de suelos con plantaciones de *Agave cupreata* del Estado de Michoacán, y se nombraron de acuerdo al sitio de recolección: Las Campesinas (LC), Carlos Rojas (CR), Paso Ancho (PA), El limón (EL), Cerro del Metate (CM). Los inóculos previamente fueron propagados durante 12 meses en macetas trampa en invernadero y cada consorcio contenía entre cuatro y seis especies siendo la más abundante en cada consorcio micorrízico las siguientes: CM: *Glomus glomerulatum*, PA: *Acaulospora delicata*, CR y EL: *Glomus deserticola*, LC: *Acaulospora scrobiculata* (Trinidad-Cruz *et al.*, 2017a). El inóculo comercial utilizado fue el elaborado por el INIFAP, el cual previamente se utilizó en otros experimentos donde se comprobó su viabilidad, colonización y promoción en el crecimiento en otras especies vegetales.

Material Vegetal

Semillas comerciales de guayaba fueron desinfectadas con una solución de cloro comercial al 3% (cloro activo al 6%) durante 10 min y después lavadas con agua destilada tres veces durante 5 min.

MATERIALS AND METHODS

Growth Conditions

The assay was developed in a zenithal plastic type greenhouse of the Instituto de Investigaciones Agropecuarias y Forestales of the Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (19° 45' 95" N, 101° 09' 16" W, 1900 m) under light, temperature, and environmental humidity conditions.

Arbuscular Mycorrhizal Fungus Inoculant

Five native mycorrhizal consortia and a commercial inoculant made by INIFAP® (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias, MX) were assessed. The consortia came from soils with *Agave cupreata* plantations of the State of Michoacán, Mexico and were named according to their collection site: Las Campesinas (LC), Carlos Rojas (CR), Paso Ancho (PA), El Limón (EL), Cerro del Metate (CM). The inoculants were previously propagated in tramp pots in the greenhouse for 12 months; each consortia contained from four to six species, of which the most abundant of each mycorrhizal consortia were the following: CM: *Glomus glomerulatum*, PA: *Acaulospora delicata*, CR and EL: *Glomus deserticola*, LC: *Acaulospora scrobiculata* (Trinidad-Cruz *et al.*, 2017a). The commercial INIFAP inoculant was previously used in other experiments where its viability, colonization, and growth promotion was assessed in other plant species.

Plant Material

Commercial guava seeds were disinfected with a commercial chlorine solution at 3% (active chlorine at 6%) for 10 min and then washed with distilled water thrice for 5 min. Subsequently, they were placed in plastic germinator trays with sterilized sand under light and environmental conditions. The seeds and substrate were kept hydrated all the time. From the 28 days after sowing, the seeds were considered germinated when they showed a homogenous size (in average, 2 cm high, four leaves, and 9 mm of stem diameter), and transplanted to greenhouse bags.

Posteriormente, se pusieron a germinar en charolas de plástico con arena esterilizada, bajo condiciones de luz y humedad ambiental. Las semillas junto con el sustrato se mantuvieron hidratadas todo el tiempo. A partir de los 28 días después de la siembra, las semillas germinaron y cuando estas presentaron un tamaño homogéneo (en promedio 2 cm alto, 4 hojas y 9 mm de diámetro de tallo), fueron trasplantadas a bolsas de vivero.

Inoculación

Las plantas de guayaba, fueron trasplantadas a bolsas de polietileno negras con 2.5 kg de arena y suelo (1:1 v/v) esterilizada como medio de crecimiento. En el centro de la bolsa se hizo una cavidad donde se colocó la plántula y al momento del trasplante, se realizó la inoculación de los diferentes consorcios micorrízicos directamente al sistema radical. De cada consorcio de HMA, se cuantificó la cantidad de esporas por gramo y se tomaron los gramos necesarios para inocular con aproximadamente 80 esporas y para el tratamiento sin HMA se inoculó con 10 g de arena estéril por plántula. Una vez realizado la inoculación, las plántulas estuvieron durante 125 días en invernadero y se regaron con agua desmineralizada a capacidad de campo según se requiriera. Se generaron siete tratamientos (cinco consorcios nativos, el inóculo comercial INIFAP y un tratamiento sin HMA), cada tratamiento se repitió siete veces y la unidad experimental fue una planta de guayaba. El arreglo experimental del ensayo fue en bloques totalmente aleatorizado.

Variables de Crecimiento Vegetal, Calidad de Planta y Micorrización

Se realizó un muestreo destructivo a los 125 días después del trasplante (ddt), donde se registró altura de planta de forma manual con un flexómetro, el diámetro del tallo utilizando un vernier digital, el área foliar se midió con un planímetro digital (LI-COR, LI-3100), la materia fresca de cada órgano se pesó con una balanza analítica (Mettler Toledo AT200), posteriormente las muestras se secaron (estufa a 60 °C por cuatro días) para determinar la materia seca. Como variables de calidad de planta se determinó la relación materia seca de la parte aérea entre la materia seca de la raíz (MSPA/MSR), el cual determina el balance entre la superficie transpirante y la superficie absorbente de la planta

Inoculation

The guava plants were transplanted in black polyethylene bags with 2.5 kg of sand and soil (1:1 v/v) sterilized with growth medium. The seedlings were placed in a cavity made in the center of the bag; at the moment of transplanting, inoculation of the different mycorrhizal consortia was performed directly in the radicle system. The number of spores of each AMF consortium was quantified per gram, and the necessary grams were taken to inoculate 80 spores, approximately; for the control group without AMF (w/AMF) treatment, 10 g of sterile sand per treatment were inoculated. Once inoculation was performed, the seedlings remained for 125 days in the greenhouse and were irrigated with demineralized water at field capacity as required. Seven treatments (five native consortia, the commercial INIFAP inoculant and one w/AMF) were generated; each treatment was replicated seven times, and the experimental unit was one guava plant. The factorial arrangement was a completely randomized block design.

Plant Growth, Quality, and Mycorrhization Variables

A destructive sampling was performed at 125 days after transplant; plant height was measured manually with a flexometer; the stem diameter with a Digital Vernier Caliper; leaf area with digital planimetry (LI-COR, LI-3100, Lincoln, NE, U.S.A.); and the fresh biomass of each organ was weighed with an analytical balance (Mettler Toledo AT200, Columbus, OH, U.S.A.); subsequently, the samples were stove-dried at 60 °C for four days to determine dry weight. The relationship DAPB / DRB (dry aerial part biomass and dry root biomass) was determined as plant quality variable to know the balance between the plant transpiration and absorption surfaces (Prieto *et al.*, 2009), robust index related to the plant photosynthetic capacity (Rueda-Sánchez *et al.*, 2013), and Dickinson's index, which expresses the equilibrium of biomass and robustness distribution, avoiding the selection of disproportionate plants and discarding those of lower height but with greater vigor (Dickson *et al.*, 1960). With respect to the microbiological variables, the mycorrhizal colonization percentage was determined by Phillips and Hayman's (1970) technique, subsequently determining the mycorrhizal

(Prieto *et al.*, 2009), el índice de robustez, que relaciona la resistencia de la planta con la capacidad fotosintética de la misma (Rueda-Sánchez *et al.*, 2013) y el índice de Dickson, que expresa el equilibrio de la distribución de la masa y la robustez evitando seleccionar plantas desproporcionadas y descartar plantas de menor altura pero con mayor vigor (Dickson *et al.*, 1960). Cómo variables microbiológicas se determinó el porcentaje de colonización micorrízica, mediante la técnica de Phillips y Hayman (1970) y posteriormente se determinó el porcentaje de colonización micorrízica con el método descrito por Mcgonigle *et al.* (1990). Para la cuantificación de esporas en el sustrato, se utilizó la técnica propuesta por Gerdemann y Nicolson (1963) y Brundrett *et al.* (1996).

Análisis Estadístico

A los datos se les realizó un análisis de varianza de una vía y pruebas de medias con la prueba de Tukey, ambas con una $P \leq 0.05$. Los valores porcentuales fueron transformados ($\arcsen\ n\%/100$) para la homogenización de la varianza (Gomez y Gomez, 1984). Se utilizó el software estadístico Statgraphics ver. XV (Statgraphics, 2005), para el procesamiento de los datos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de Plantas de Guayaba

El análisis estadístico presentó diferencias significativas ($P \leq 0.05$), entre los diferentes tratamientos en todas las variables de crecimiento evaluadas (Cuadro 1). A los 125 días después de la inoculación, las plantas de guayaba inoculadas con el inóculo INIFAP y sin HMA, obtuvieron los valores más bajos de crecimiento en todos los casos y resultaron estadísticamente iguales entre sí.

Por otro lado, la mayor mortalidad después del trasplante e inoculación se registró en las plantas sin HMA e inoculadas con el inóculo INIFAP, con un 43 y 58% respectivamente. Al respecto Estrada-Luna *et al.* (2000) y Machineski *et al.* (2018), mencionan que los HMA, incrementa la resistencia al estrés en frutales durante el trasplante y la aclimatación, debido a las ventajas que promueve la asociación simbiótica en la mejora en las relaciones hídricas, adquisición de nutrientes y crecimiento vegetativo, entre otras.

colonization percentage with the methods described by Mcgonigle *et al.* (1990). For spore quantification in the substrate, the technique proposed by Gerdemann and Nicolson (1963) and Brundrett *et al.* (1996) was used.

Statistical Analysis

A one-way analysis of variance (ANOVA) and Tukey's multiple range test were performed to the data, both with a value of $P \leq 0.05$. The percentage values were transformed ($\text{ArcSen } n\%/100$) for homogenization of variance (Gomez and Gomez, 1984). The statistical software Statgraphics ver. XV (Statgraphics, 2005) was used for data processing.

RESULTS AND DISCUSSION

Guava Plant Growth

The statistical analysis showed significant statistical differences ($P \leq 0.05$) among the different treatments in all the growth variables assessed (Table 1). At 125 days after inoculation, the guava plants with the INIFAP inoculant and those w/AMF obtained the lowest growth values in all the cases and resulted statistically equal between them.

On the other hand, the greatest mortality after transplant and inoculation was recorded in the plants with the treatments w/AMF and those with the INIFAP inoculant with 43 and 58%, respectively. In that respect, Estrada-Luna *et al.* (2000) and Machineski *et al.* (2018) mentioned that the AMF increased stress resistance in fruit trees during transplant and acclimation because of the advantages that the symbiotic association promoted by improving hydric relationships, nutrient acquisition, and plant growth, among others.

Likewise, the plants that survived in the treatments w/AMF and those with the INIFAP inoculant did not produce leaves during the time the experiment lasted (Table 1). The fact of finding the greatest mortality and the least plant growth in plants w/AMF or with the INIFAP inoculant might have been due to their disadvantage with respect to the mycorrhized plants; in the same manner, the effect that the colonization may have on guava plant survival was notorious in those inoculated with the CM consortium, which had

Cuadro 1. Efecto de la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares, sobre el crecimiento de plantas de guayaba evaluado a los 125 días después del establecimiento.**Table 1. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus application on guava plant growth assessed 125 days after establishment.**

Tratamiento / Treatment	A / H	D	MFT / TFB	MSR / DRB	MSPA / DAPB	MST / TDB	AF / LA
	cm	mm	g				cm ²
S / HMA w / AMF	2.17 c	0.93 c	0.01 d	0.0005 c	0.011 c	0.011 c	0.00 c
INIFAP	2.26 c	0.82 c	0.01 d	0.0004 c	0.006 c	0.006 c	0.00 c
CR	10.35 abc	2.18 bc	3.00 bcd	0.41 bc	0.73 abc	1.14 bc	19.78 c
PA	17.21 ab	3.33 ab	7.05 abc	0.95 abc	1.65 ab	2.61 ab	116.08 ab
CM	9.26 bc	2.10 bc	2.41 cd	0.34 bc	0.46 c	0.80 bc	43.45 bc
LC	18.12 ab	3.81 a	9.01 ab	1.22 ab	2.02 a	3.25 ab	152.72 a
EL	18.81 a	4.07 a	10.91 a	1.72 a	1.94 ab	3.66 a	145.19 a

S / HMA = sin hongo micorrízico arbuscular; PA = Paso Ancho; LC = Las Campesinas; CR = Carlos Rojas; EL = El Limón; CM = Cerro del Metate; A = altura de planta; D = diámetro de tallo; MFT = materia fresca total; MSR = materia seca de la raíz; MSPA = materia seca de la parte aérea; MST = materia seca total; AF = área foliar. Medias con letras distintas por columna, significa diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

w / AMF = without arbuscular mycorrhizal fungi; PA = Paso Ancho; LC = Las Campesinas; CR = Carlos Rojas; EL = El Limón; CM = Cerro del Metate; H = plant height; D = stem diameter; TFB = total fresh biomass; DRB = dry root biomass; DAPB = dry aerial part biomass; TDB = total dry biomass; LA = leaf area. Measurements with different letters per column mean significant differences ($P \leq 0.05$).

Así mismo se encontró que las plantas que lograron sobrevivir en los tratamientos sin HMA e inoculadas con el inóculo INIFAP, no produjeron hojas durante el tiempo que duró el ensayo (Cuadro 1). El hecho de encontrar la mayor mortalidad y el menor crecimiento en las plantas sin HMA o inoculadas con el inóculo INIFAP, pudo deberse a su desventaja respecto a plantas micorrizadas; así mismo, es notorio el efecto que puede tener la colonización en plantas sobre la sobrevivencia plantas de guayaba inoculadas con el consorcio CM tuvieron una supervivencia del 85% con apenas un 3% de colonización y su crecimiento fue mayor a lo alcanzado en plantas sin HMA e inoculadas con el inóculo INIFAP.

Por otro lado, el mayor crecimiento de plantas de guayaba obtenidas de semilla e inoculadas con diferentes especies y combinaciones de HMA ya ha sido reportada previamente (Estrada-Luna *et al.*, 2000; Schiavo y Martins, 2002; da Silva-Campos *et al.*, 2013; Mohandas *et al.*, 2013; Das *et al.*, 2017). En general, en este trabajo se encontró un aumento en el crecimiento de las plantas de guayaba propagadas por semilla cuando se les aplicó algún consorcio micorrízico. La efectividad de algunos de estos consorcios nativos ha sido comprobada en maíz, chile y frijol (Reyes-Tena

a survival of 85% with only 3% of colonization, and their growth was greater than that reached by the plants w/AMF and those with the INIFAP inoculant.

On the other hand, the greatest guava plant growth obtained from seeds and inoculated with different species and the arbuscular mycorrhizal fungus combination has been reported previously (Estrada-Luna *et al.*, 2000; Schiavo and Martins, 2002; da Silva-Campos *et al.*, 2013; Mohandas *et al.*, 2013; Das *et al.*, 2017). In general, this study found an increase in guava plants propagated by seeds when a mycorrhizal consortium was applied. The effectiveness of some of this native consortia has been proven in maize, chili, and bean (Reyes-Tena *et al.*, 2015, 2016), *Agave inaequidens* (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2016), and *Agave cupreata* (Trinidad-Cruz *et al.*, 2017b). This promotion effectiveness may have been caused by the diversity of the AMF species that contain inoculants; with this respect, Gavito and Varela (1995) and Bashan *et al.* (2000) mentioned that the inoculants constituted by more than one AMF species showed a greater benefit in their hosts. Furthermore, native mycorrhizal consortia are also known to be more effective than those constituted by exotic species or only one species (Bashan *et al.*, 2000; Ortas and Ustuner, 2014).

et al., 2015, 2016), *Agave inaequidens* (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2016) y *Agave cupreata* (Trinidad-Cruz *et al.*, 2017b). Esta efectividad en la promoción puede deberse a la diversidad de especies de HMA que contienen los inóculos; ante esto Gavito y Varela (1995) y Bashan *et al.* (2000) mencionan que los inóculos constituidos por más de una especie de HMA, presentan un mayor beneficio en sus hospedantes. Por otro lado, también se sabe que los consorcios micorrízicos nativos suelen ser más efectivos que, aquellos constituidos por especies exóticas o por una sola especie (Bashan *et al.*, 2000; Ortas y Ustuner, 2014). Otra posible causa de la mayor promoción del crecimiento en los consorcios micorrízicos podría ser por el método de propagación de estos (maceta trampa), ya que al propagar suelo rizosférico, a parte de los HMA este suelo contiene una diversidad de microorganismo principalmente bacterias asociados a las esporas o de vida libre que tienen la capacidad de promover el crecimiento vegetativo. Se tiene reportes de una mayor efectividad de los HMA cuando estos van acompañados de otros microorganismos (Panneerselvam *et al.*, 2012; Mohandas *et al.*, 2013). Así mismo, se tiene reportes de la presencia de actinomicetos como *Streptomyces fradiae*, *S. avermitilis*, *S. cinnamonensis*, *S. canus* y *Leifsonia poae* (Mohandas *et al.*, 2013) y algunas especies de pseudomonas como *Pseudomonas putida*, *P. aeruginosa*, *Brevibacillus* sp. y *Bacillus subtilis* (Panneerselvam *et al.*, 2012), colonizando esporas de HMA aislados de la rizosfera de plantas de guayaba. La promoción del crecimiento de las guayabas fue diferenciada y solo fue significativa en plantas de guayabas inoculadas con los consorcios LC, PA y EL, respecto a las plantas sin HMA o inoculadas con el inóculo INIFAP. La diferencia encontrada entre los consorcios probablemente sea por la diversidad de especies en cada uno de los consorcios, lo cual podría indicar una efectividad diferencial (Costa *et al.*, 2001; Robles-Martínez *et al.*, 2013). Las plantas inoculadas con los consorcios LC y EL, alcanzaron los mayores valores en todas las variables evaluadas. Los incrementos alcanzados por estas plantas respecto a plantas sin HMA, en promedio fueron de 9, 4.4, 332 y de más de 145 veces, para la altura de planta, diámetro de tallo, materia seca total y el área foliar respectivamente. Incrementos similares en variables de crecimiento han sido reportados en guayaba por efecto de la inoculación con HMA (Estrada-Luna *et al.*, 2000; da Silva-Campos *et al.*, 2013; Das *et al.*, 2017). Por otro lado, a pesar de

Another possible cause of greater growth promotion in mycorrhizal consortia could have been an effect of the propagation method (tramp pot) when rhizosphere soil propagates; besides the AMF, this soil had microorganism diversity, mainly bacteria associated to free-life spores that have the capacity of promoting plant growth. Some studies have reported a greater AMF effectiveness when they were applied jointly with other microorganisms (Panneerselvam *et al.*, 2012; Mohandas *et al.*, 2013). Similarly, other studies have reported the presence of actinomycetes, such as *Streptomyces fradiae*, *S. avermitilis*, *S. cinnamonensis*, *S. canus* and *Leifsonia poae* (Mohandas *et al.*, 2013) and some pseudomonas species, such as *Pseudomonas putida*, *P. aeruginosa*, *Brevibacillus* sp. and *Bacillus subtilis* (Panneerselvam *et al.*, 2012), colonizing AMF spores of the guava plant rhizosphere. Guava plant growth promotion was differentiated and only significant in the plants inoculated with the LC, PA, and EL consortia, with respect to those w/AMF or with the INIFAP inoculant. The difference found among the consortia was likely due to the species diversity of each one of them, which could indicate differential effectiveness (Costa *et al.*, 2001; Robles-Martínez *et al.*, 2013). The inoculated plants with the LC and EL consortia reached the greatest values in the variables assessed. The increments reached by these plants with respect to those w/AMF were 9, 4.4, 332 in average and more than 145 times for plant height, stem diameter, total dry biomass, and leaf area, respectively. Similar increments in growth variables have been reported in guava by the inoculation effect with AMF (Estrada-Luna *et al.*, 2000; da Silva-Campos *et al.*, 2013; Das *et al.*, 2017). On the other hand, despite recording an increase in size in guava plants inoculated with the CR, PA, and CM consortia, the result was not significant with respect to those w/AMF or with the INIFAP inoculant (Table 1). Mycorrhization of guava plants with some AMF species has not promoted growth; da Silva-Campos *et al.* (2013) did not find differences in leaf number and dry biomass of the aerial part of guava plants when they were inoculated with *Acaulospora lonbgula* and *Gigaspora albida*.

Guava Plant Quality Parameters

With respect to the quality attributes for broad-leaf trees (Rueda-Sánchez *et al.*, 2013), which are considered growth variables, an increase was found

que se registró un aumento en el tamaño de las plantas de guayaba inoculadas con los consorcios CR, PA y CM, este resultó no significativo respecto a las plantas sin HMA o inoculadas con el inóculo INIFAP (Cuadro 1). Se reporta que la micorrización de guayaba con algunas especies de HMA no promueven el crecimiento. da Silva-Campos *et al.* (2013), no encontraron diferencia en la cantidad de hojas y materia seca de la parte aérea de plantas de guayaba cuando fueron inoculadas con *Acaulospora lonbgula* y *Gigaspora albida*.

Parámetros de Calidad de Planta de Guayaba

Respecto a los atributos de calidad para plantas latifoliadas (Rueda-Sánchez *et al.*, 2013), los cuales consideran variables de crecimiento, se encontró un aumento de estos cuando las plantas de guayaba se inocularon con algún consorcio de HMA (Cuadro 2).

Las plantas sin HMA o inoculadas con el inóculo INIFAP, resultaron de baja calidad de acuerdo a su relación MSPA/MSR e índice de Dickson. De acuerdo a la relación MSPA/MSR, se tuvieron dos tipos de calidad de planta, baja (MSPA/MSR > 2.0), para plantas sin HMA o inoculadas con el inóculo INIFAP y alta (MSPA/MSR < 2.0), cuando estas fueron inoculadas con algún consorcio de HMA. Lo cual repercutiría en una mayor supervivencia de estas plantas, al momento

when guava plants were inoculated with any AMF consortia (Table 2).

The plants w/AMF or with the INIFAP inoculant showed the lowest quality, according to the DAPB/DRB relationship and Dickinson index. According to the DAPB/DRB relationship, two types of plant quality were obtained, low (DAPB/DRB > 2.0) for plants without AMF or with the INIFAP inoculant and high (DAPB/DRB < 2.0), when they were inoculated with any AMF consortium, which had a bearing in greater plant survival at the moment of transplanting to the field or in drought conditions (Prieto *et al.*, 2009). For the robustness index, no difference was found in plant quality between the plants inoculated with AMF and those w/AMF, which according to this index, the plants showed high quality (< 6.0). With respect to Dickinson’s Index, two types of plant quality were obtained: low (< 0.2), for guava plants w/AMF and with the INIFAP inoculant and CM; average (0.2 – 0.4), for the plants inoculated with CR and PA; and high (≥ 0.5), for plants inoculated with EL and LC (Table 2). According to plant quality parameters, those inoculated with AMF were the ones with the best size and vigor, which would be benefitted at the moment of transplanting to the field (Ortas and Ustuner, 2014). This greater vigor in plants may have been caused by an increase in the photosynthetic activity that plants

Cuadro 2. Efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares, sobre atributos de calidad de planta evaluado a los 125 días después del establecimiento.

Table 2. Effect of arbuscular mycorrhizal fungus inoculation on quality attributes of the plants assessed at 125 days after establishment.

Tratamiento / Treatment	Relación MSPA/MSR / Relationship DAPB/DRB	Calidad / Quality	Índice Robustez / Robustness index	Calidad / Quality	Índice Dickson / Dickson index	Calidad / Quality
S / HMA						
w / AMF	23.08	B / L	2.46	A / H	0.0004	B / L
INIFAP	17.05	B / L	3.00	A / H	0.0003	B / L
CR	1.55	A / H	4.65	A / H	0.34	M
PA	1.81	A / H	5.06	A / H	0.45	M
CM	1.29	A / H	4.46	A / H	0.14	B / L
LC	1.62	A / H	4.66	A / H	0.50	A / H
EL	1.15	A / H	4.63	A / H	0.64	A / H

S / HMA = sin hongo micorrízico arbuscular; PA = Paso Ancho; LC = Las Campesinas; CR = Carlos Rojas; EL = El Limón; CM = Cerro del Metate; MSPA = materia seca de la parte aérea; MSR = materia seca de la raíz; A = alta; M = media; B = baja. w / AMF = without arbuscular mycorrhizal fungus; PA = Paso Ancho; LC = Las Campesinas; CR = Carlos Rojas; EL = El Limón; CM = Cerro del Metate; DAPB = dry aerial part biomass; DRB = dry root biomass; H = high; M = medium; L = low.

del trasplante a campo o a condiciones de sequía (Prieto *et al.*, 2009). Para el índice de robustez, no se encontró diferencia en la calidad de planta entre plantas inoculadas con HMA y plantas sin HMA y de acuerdo con este índice, las plantas fueron de alta calidad (< 6.0). Respecto al índice de Dickson se tuvieron tres tipos de calidad de planta: baja (< 0.2), para plantas de guayaba sin HMA e inoculadas con el inóculo INIFAP y CM; media ($0.2 - 0.4$), para las plantas inoculadas con CR y PA y alta (≥ 0.5), en plantas inoculadas con EL y LC (Cuadro 2). De acuerdo a los parámetros de calidad de plantas, aquellas que son inoculadas con HMA resultaron ser de mejor porte y vigor, lo cual al momento de un trasplante a campo les resulte beneficioso (Ortas y Ustuner, 2014). Este mayor vigor en las plantas puede ser debido a un incremento en la actividad fotosintética que presentan las plantas al estar micorrizadas. Para el caso particular de guayaba, Estrada-Luna *et al.* (2000), reportan que guayabas propagadas por semilla e inoculadas con una mezcla de *Glomus diaphanum*, *Glomus albidum* y *Lomus claroides*, incrementaron su conductancia estomática y fotosíntesis neta respecto a plantas de guayaba sin micorrizar.

Porcentaje de Colonización Micorrízica

Se menciona que la guayaba es una planta altamente micotrófica, con un índice de dependencia micorrízica superior al 100% (Estrada-Luna *et al.*, 2000). Estos autores reportan valores de colonización del 94% cuando se utilizó una mezcla de *Glomus diaphanum*, *G. albidum* y *G. claroides*. Por su parte da Silva-Campos *et al.* (2013), reportan porcentajes del 32, 48 y 62% cuando las guayabas fueron inoculadas con *G. etunicatum*, *Gigasora albida* y *Acaulospora longula* respectivamente. Panneerselvam *et al.* (2012), reportaron un 65% de colonización en guayabas inoculadas con *Glomus mosseae*. En este trabajo se encontró que, las plantas de guayaba inoculadas con el inóculo INIFAP, no presentaron colonización (Figura 1), lo cual pudo generar la alta mortalidad y el crecimiento raquítrico encontrado en estas plantas. Varias pudieron ser las causas de no haber funcionado el inóculo INIFAP, entre éstas la viabilidad de las esporas, el medio de crecimiento, entre otras. El consorcio EL, alcanzó la mayor colonización (90%), aunque resultó significativamente similar

show when they are mycorrhized. In this particular case, Estrada-Luna *et al.* (2000) reported that guava plants propagated by seeds and inoculated with a mixture of *Glomus diaphanum*, *Glomus albidum* and *Lomus claroides* increased their net stomatal conductance and photosynthesis compared to those without mycorrhizal.

Mycorrhizal Colonization Percentage

Guava has been mentioned to be a highly mycotrophic plant with a mycorrhizal dependence of more than 100% (Estrada-Luna *et al.*, 2000). These authors reported colonization values of 94% when a mixture of *Glomus diaphanum*, *G. albidum* and *G. claroides* was used. On the other hand, da Silva-Campos *et al.* (2013) reported percentages of 32, 48, and 62% when guavas were inoculated with *G. etunicatum*, *Gigasora albida*, and *Acaulospora longula*, respectively. Panneerselvam *et al.* (2012) reported 65% of colonization in guavas inoculated with *Glomus mosseae*. This study found that guava plants with the INIFAP inoculant did not show colonization (Figure 1), which could have generated the high mortality and stunted growth found in these plants. Several causes might have taken place if the INIFAP inoculant did not function, for example, spore viability and growth medium, among others. The EL consortium reached the greatest colonization (90%) although it resulted significantly similar to that obtained with the consortia PA, LC, CR. In average, a colonization of 70% was recorded among the four consortia, which was 23 times more than that obtained with the CM consortium that only colonized 3%. The low colonization for this consortium could have been due to species diversity that this inoculant contained, indicating a possible plant selectivity by the AMF symbiont (Costa *et al.*, 2001; Barea and Azcón-Aguilar, 2013).

Spore Production

Spore production in the environment varied significantly ($P \leq 0.05$) depending on the AMF inoculant (Figure 2). The greatest spore production was recorded in the EL consortium, producing

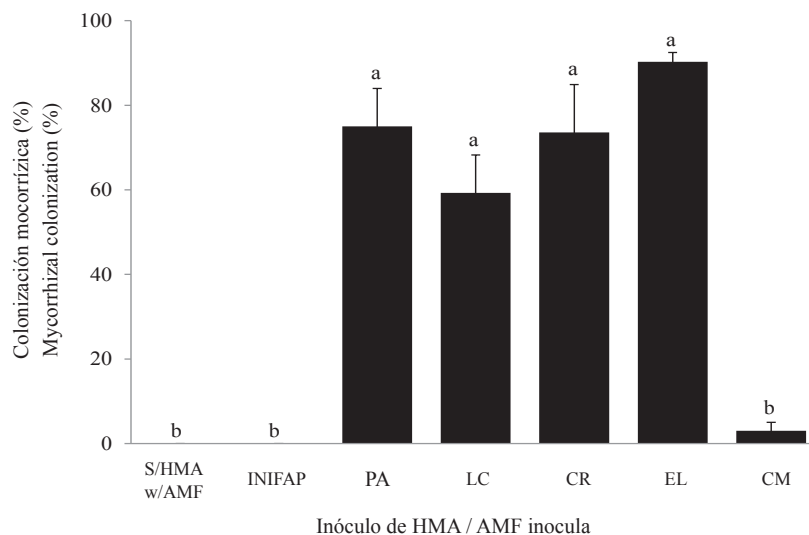


Figura 1. Colonización micorrízica en raíces de plantas de Guayaba con distintos hongo micorrízico arbuscular (HMA), a los 125 días del establecimiento. S/HMA = sin hongo micorrízico arbuscular; PA = Paso Ancho; LC = Las Campesinas; CR = Carlos Rojas; EL = El Limón; CM = Cerro del Metate. Líneas sobre barras indican el error estándar. Letras distintas sobre las barras, indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Figure 1. Mycorrhizal colonization in guava plant roots with different AMF, at 125 days of establishment. w/AMF = without arbuscular mycorrhizal fungus; PA = Paso Ancho; LC = Las Campesinas; CR = Carlos Rojas; EL = El Limón; CM = Cerro del Metate. Lines on bars indicated standard error. Different letters on bars indicate significant differences ($P \leq 0.05$).

a lo obtenido con los consorcios PA, LC, CR. En promedio entre los cuatro consorcios se registró un 70% de colonización; este valor fue 23 veces más que lo obtenido con el consorcio CM quien solo colonizó un 3%. La baja colonización por este consorcio pudo deberse a la diversidad de especies que contenía este inóculo, indicando una posible selectividad de la planta por el simbiote de HMA (Costa *et al.*, 2001; Barea y Azcón-Aguilar, 2013).

Producción de Esporas

La producción de esporas en el medio de crecimiento varió significativamente ($P \leq 0.05$), dependiendo del inóculo de HMA (Figura 2). La mayor producción de esporas se registró en el consorcio EL, produciéndose más de 40 esporas por gramo de sustrato seco, el cual fue estadísticamente diferente al resto de los inóculos. En promedio, la producción en este consorcio fue de más de 5 veces lo producido en el resto de los inóculos. Le siguieron los inóculos LC y CR, donde en promedio

more than 40 spores/g of dry substrate, which was statistically different to the rest of the inoculants. In average the production in this consortium was five times more than that produced by the rest of the inoculants, followed by LC and CR inoculants where they produced 15 spores/g in average; the least spore production was recorded for the INIFAP, PA, and CM inoculants where they produced 3 spores/g of substrate in average. On the other hand, Panneerselvam *et al.* (2012) reported a production of 14.7 spores g^{-1} of dry substrate when the guava plants were inoculated only with *Glomus mosseae*. The spore production with the EL and CM consortia was related to the colonization percentage and plant growth, which indicated a certain selectivity by the species contained in the respective inoculants. In the case where a greater spore production was observed, it could have been due to a greater red mycelial production by these AMF that increased spore production (Azcón and Barea, 2015).

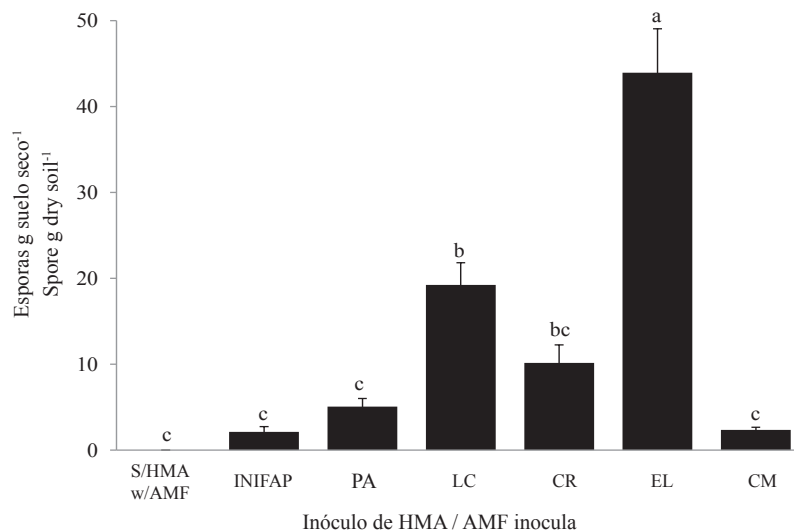


Figura 2. Producción de esporas en el sustrato de crecimiento de plantas de Guayaba con distintos HMA, a los 125 días del establecimiento. S/HMA = sin hongo micorrizico arbuscular; PA = Paso Ancho; LC = Las Campesinas; CR = Carlos Rojas; EL = El Limón; CM = Cerro del Metate. Líneas sobre barras indican el error estándar. Letras distintas sobre las barras, indican diferencia significativa ($P \leq 0.05$).
Figure 2. Spore production in the substrate of guava plants with different arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) at 125 days of establishment. w/AMF = without arbuscular mycorrhizal fungus; PA = Paso Ancho; LC = Las Campesinas; CR = Carlos Rojas; EL = El Limón; CM = Cerro del Metate. Lines on bars indicate standard error. Different letters on bars indicate significant differences ($P \leq 0.05$).

produjeron 15 esporas por gramo y la menor producción de esporas se registró en los inóculos INIFAP, PA y CM donde en promedio se produjeron tres esporas por gramo de sustrato. Por su parte Panneerselvam *et al.* (2012), reportan una producción de 14.7 esporas por gramo sustrato seco, cuando plantas de guayaba fueron inoculadas solo con *Glomus mosseae*. La producción de esporas con los consorcios EL y CM, tuvo relación con el porcentaje de colonización y el crecimiento de las plantas, lo cual indicaría una cierta selectividad por las especies contenidas en los respectivo inóculos. En el caso donde hubo una mayor producción de esporas, pudo deberse a que estos HMA produjeron una mayor red micelial, lo cual incrementó la producción de esporas (Azcón y Barea, 2015).

CONCLUSIONES

Entre los diferentes consorcios evaluados, el denominado El Limón (EL) promovió el mejor desarrollo y calidad de planta. Las plantas presentaron una alta dependencia a la micorrización y es probable

CONCLUSIONS

Among the different consortia assessed, the one named El Limón (EL) promoted the best plant development and quality. The plants showed a height dependent on mycorrhization, which was likely colonized by more than one arbuscular mycorrhizal fungi species (AMF). The greatest mortality rate was recorded in plants w/AMF or with the INIFAP inoculant. The colonization percentages found were similar to those reported in other studies using monospecific inoculants or AMF mixtures. The use of AMF should be a practice for sustainable production of guava plants under greenhouse conditions.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was financed by the Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Michoacán under the project "Utilización de recursos microbianos para el control biológico de la pudrición del cogollo de agave tequilero en la DOT-Michoacán"

este siendo colonizado por más de una especie de hongos micorrízicos arbusculares (HMA). La mayor tasa de mortalidad se registró, en las plantas sin HMA o inoculadas con el inóculo INIFAP. Los porcentajes de colonización encontrados resultaron ser similares a lo reportado en otros trabajos utilizando inóculos mono-específicos o mezclas de HMA. El uso de HMA, podría ser una práctica recomendable para la producción sustentable de plantas de guayaba bajo condiciones de vivero.

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por el Fondo Mixto CONACYT-Gobierno del Estado de Michoacán, bajo el proyecto “Utilización de recursos microbianos para el control biológico de la pudrición del cogollo de agave tequilero en la DOT-Michoacán” (MICH-2010-03-148208), y el programa de investigación 2014 de la Coordinación de la Investigación Científica de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Así mismo agradecemos al Ing. Agr. Iván Eduardo Torres Valladares, por su apoyo en esta investigación y a Diana Fischer por los servicios editoriales en inglés.

-Fin de la versión en español-

REFERENCIAS / REFERENCES

- Azcón-Aguilar, C. and J. M. Barea. 2015. Nutrient cycling in the mycorrhizosphere. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 25: 372-396. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000035>.
- Barea, J. M. and C. Azcón-Aguilar. 2013. Evolution, biology and ecological effects of arbuscular mycorrhiza. pp. 1-34. In: A. F. Camisao y C. C. Pedroso (eds.). *Symbiosis: Evolution, biology and ecological effects*. Nova Science. New York, NY, USA. ISBN: 978-1-62257-211-3.
- Bashan, Y., E. A. Davis, A. Carrillo-García, and R. G. Linderman. 2000. Assessment of VA mycorrhizal inoculum potential in relation to the establishment of cactus seedlings under mesquite nurse-trees in the Sonoran desert. *Appl. Soil Ecol.* 14: 165-176. doi: [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00050-0](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00050-0).
- Brundrett, M., N. Bougher, B. Dell, T. Grove, and N. Malajczuk. 1996. Working with mycorrhizas in forestry and agriculture. ACIAR Monograph 32. Canberra, Australia. ISBN: 186320 181 5.
- Brussaard, L., P. C. de Ruiter, and G. G. Brown. 2007. Soil biodiversity for agricultural sustainability. *Agric. Ecosyst. Environ.* 121: 233-244. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.12.013>.
- (MICH-2010-03-148208) and the 2014 research program of the Coordinación de la Investigación Científica at Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Likewise, the authors are grateful to Iván Eduardo Torres Valladares for his support in this research and Diana Fischer for editorial services in English.
- End of english version-
-
- Carreón-Abud, Y., M. Vega-Fraga, and M. E. Gavito. 2015. Interaction of arbuscular mycorrhizal inoculants and chicken manure in avocado rootstock production. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 15: 867-881. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162015005000060>.
- Costa, C. M. C., L. C. Maia, U. M. T. Cavalcante, and R. J. M. C. Nogueira. 2001. Influência de fungos micorrízicos arbusculares sobre o crescimento de dois genótipos de aceroleira (*Malpighia emarginata* D. C.). *Pesqui. Agropec. Bras.* 36: 893-901. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-204X2001000600007>.
- da Silva-Campos, M. A., F. S. Barbosa-da Silva, A. M. Yano-Melo, N. F. de Melo, E. M. R. Pedrosa, and L. Costa-Maia. 2013. Responses of guava plants to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi in soil infested with *Meloidogyne enterolobii*. *Plant Pathol. J.* 29: 242-248. doi: <http://dx.doi.org/10.5423/PPJ.OA.10.2012.0156>.
- Das, K., S. Sau, P. Datta, and D. Sengupta. 2017. Influence of bio-fertilizer on guava (*Psidium guajava* L.) cultivation in gangetic alluvial plain of west bengal, India. *J. Exp. Biol. Agric. Sci.* 5: 476-482. doi: [http://dx.doi.org/10.18006/2017.5\(4\).476.482](http://dx.doi.org/10.18006/2017.5(4).476.482).
- Dickson, A., A. L. Leaf, and J. F. Hosnerm. 1960. Quality appraisal of white spruce and white pine seedling stock in nurseries. *For. Chron.* 36: 10-13. doi: <https://doi.org/10.5558/tfc36010-1>.
- Estrada-Luna, A. A., F. T. Davies Jr., and J. N. Egilla. 2000. Mycorrhizal fungi enhancement of growth and gas exchange of micropropagated guava plantlets (*Psidium guajava* L.) during *ex vitro* acclimatization and plant establishment. *Mycorrhiza* 10: 1-8. doi: <https://doi.org/10.1007/s005720050280>.
- Gavito, M. and L. Varela. 1995. Response of “criollo” maize to single and mixed species inocula of arbuscular mycorrhizal fungi. *Plant Soil.* 176: 101-105. doi: <https://doi.org/10.1007/BF00017680>.
- Gerdemann, J. W. and T. H. Nicolson. 1963. Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted by wet sieving and decanting. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 46: 235-244. doi: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0).
- Gomez, K. A. and A. A. Gomez. 1984. Statistical procedures for agricultural research. John Wiley and Sons. New York, NY, USA.

- Granatstein, D., E. Kirby, H. Ostenson, and H. Willer. 2016. Global situation for organic tree fruits. *Sci. Hortic.* 208: 3-12. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.12.008>.
- Kumuran, S. and H. C. Azizah. 1995. Influence of biological soil conditioner on mycorrhizal versus non-mycorrhizal guava seedlings. *Trop Agric.* 72: 39-43.
- Machineski, G. S., C. A. Gotardo-Victola, C. H. O. Machineski, M. F. Guimarães, and E. L. Balota. 2018. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on early development of persimmon seedlings. *Folia Hortic.* 30: 39-46. doi: <https://doi.org/10.2478/fhort-2018-0004>.
- Mcgonigle, T., M. H. Miller, D. G. Evans, G. L. Fairchild, and J. A. Swan. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytol.* 115: 495-501. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x>.
- Mohandas, S., S. Poovarasa, P. Panneerselvam, B. Saritha, K. K. Upreti, R. Kamala, and T. Sita. 2013. Guava (*Psidium guajava* L.) rhizosphere *Glomus mosseae* spores harbor actinomycetes with growth promoting and antifungal attributes. *Sci. Hortic.* 150: 371-376. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2012.11.019>.
- Ortas, I. and O. Ustuner. 2014. The effects of single species, dual species and indigenous mycorrhiza inoculation on citrus growth and nutrient uptake. *Eur. J. Soil Biol.* 63: 64-69. doi: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2014.05.007>.
- Panneerselvam, P., S. Mohandas, B. Saritha, K. K. Upreti, Poovarasan, A. Monnappa, and V. V. Sulladmath. 2012. *Glomus mosseae* associated bacteria and their influence on stimulation of mycorrhizal colonization, sporulation, and growth promotion in guava (*Psidium guajava* L.) seedlings. *Biol. Agric. Hortic.* 28: 267-279. doi: <https://doi.org/10.1080/1448765.2012.741108>.
- Phillips, J. M. and D. S. Hayman. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Trans. Br. Mycol. Soc.* 55: 158-161. doi: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3).
- Prieto R., J. Á., J. L. García, J. M. Mejía, S. Huchin y J. L. Aguilar. 2009. Producción de planta del género *Pinus* en vivero en clima templado frío. Campo Experimental Valle del Guadiana. Centro de Investigación Regional Norte Centro. INIFAP. Publicación Especial Núm. 28. Durango, Dgo. México. ISBN: 978-607-425-133-3.
- Quiñones-Aguilar, E. E., A. C. Montoya-Martínez, G. Rincón-Enríquez, P. Lobit, and L. López-Pérez. 2016. Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal consortia on the growth of *Agave inaequidens*. *J. Soil Sci. Plant Nutr.* 16: 1052-1064. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162016005000077>.
- Reyes-Tena, A., L. López-Pérez, E. E. Quiñones-Aguilar y G. Rincón-Enríquez. 2015. Evaluación de consorcios micorrízicos arbusculares en el crecimiento vegetal de plantas de maíz, chile y frijol. *Biológicas* 17: 35-42.
- Reyes-Tena, A., E. E. Quiñones-Aguilar, G. Rincón-Enríquez, and L. López-Pérez. 2016. Mycorrhizae in *Capsicum annuum* L. to promote growth and biosecurity against *Phytophthora capsici* L. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 7: 857-870.
- Rillig, M. C. and D. L. Mummey. 2006. Mycorrhizas and soil structure. *New Phytol.* 171: 41-53. doi: <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2006.01750.x>.
- Robles-Martínez, M. L., C. Robles, F. Rivera-Becerril, M. P. Ortega-Larrocea y L. Pliego-Marín. 2013. Inoculación con consorcios nativos de hongos de micorriza arbuscular en *Agave angustifolia* Haw. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 4: 1231-1240.
- Rueda-Sánchez, A., J. D. Benavides-Solorio, J. T. Saenz-Reyez, H. J. Muñoz Flores, J. Á. Prieto-Ruiz y G. Orozco-Gutiérrez. 2013. Calidad de planta producida en los viveros forestales de Nayarit. *Rev. Mex. Cienc. For.* 5: 58-73.
- Schiavo, J. A. and M. A. Martins. 2002. Produção de mudas de goiabeira (*Psidium guajava* L.) inoculadas com o fungo micorrízico arbuscular *Glomus clarum*, em substrato agroindustrial. *Rev. Bras. Frutic.* 24: 519-523. doi: <https://doi.org/10.1590/S0100-29452002000200048>.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2017. Guayaba, reina de la Vitamina C [online]. Disponible en: <https://www.gob.mx/siap/articulos/guayaba-reina-de-la-vitamina-c?idiom=es> (Consulta: marzo 20, 2019).
- Statgraphics. 2005. StatGraphics centurion: ver. XV (User manual). StatPoint Technologies Inc. Warrenton, VA, USA.
- Trejo, D., D. Ferrera-Cerrato, R. García, L. Varela, L. Lara, and A. Alarcón. 2011. Effectiveness of native arbuscular mycorrhizal fungi consortia on coffee plants under greenhouse and field conditions. *Rev. Chil. Hist. Nat.* 84: 23-31. doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100002>.
- Trinidad-Cruz, J. R., E. E. Quiñones-Aguilar, L. V. Hernández-Cuevas, L. López-Pérez, and G. Rincón-Enríquez. 2017a. Arbuscular mycorrhizal fungi associated in the rhizosphere of *Agave cupreata* in mezcal regions from Michoacán, México. *Sci. Fungorum.* 45: 13-25.
- Trinidad-Cruz, J. R., E. E. Quiñones-Aguilar, G. Rincón-Enríquez, L. López-Pérez y L. V. Hernández-Cuevas. 2017b. Mycorrhization of *Agave cupreata*: Biocontrol of *Fusarium oxysporum* and plant growth promotion. *Rev. Mex. Fitopatol.* 35: 151-169. doi: <http://dx.doi.org/10.18781/r.mex.fit.1607-5>.
- Turrini, A., L. Avio, M. Giovannetti, and M. Agnolucci. 2018. Functional complementarity of arbuscular mycorrhizal fungi and associated microbiota: The challenge of translational research. *Front. Plant Sci.* 9: 1407. doi: <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01407>.