



Sweet pepper (*Capsicum annuum*) response to the inoculation of native arbuscular mycorrhizal fungi and the parasitism of root-knot *Meloidogyne incognita*

Respuesta de chile dulce (*Capsicum annuum*) a la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares nativos y al parasitismo del nematodo agallador *Meloidogyne incognita*

Herrera-Parra, E.¹, Ramos-Zapata, J.², Basto-Pool, C.¹, Cristóbal-Alejo, J.^{3*}

¹Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Km. 25 Carretera Antigua a Mérida-Motul, Mocochoá, CP. 97450, Yucatán, México. ²Departamento de Ecología Tropical. Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias Universidad Autónoma de Yucatán. Km. 15.5 Carretera Mérida-Xmatkuil, CP. 97315 Mérida, Yucatán, México. ³Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Km. 16.3 Antigua carretera Mérida-Motul, Conkal. CP. 97345 Yucatán, México.

Cite this paper/Como citar este artículo: Herrera-Parra, E., Ramos-Zapata, J., Basto-Pool, C., Cristóbal-Alejo, J. (2021). Sweet pepper (*Capsicum annuum*) response to the inoculation of native arbuscular mycorrhizal fungi and the parasitism of root-knot *Meloidogyne incognita*. *Revista Bio Ciencias* 8, 982. doi: <https://doi.org/10.15741/revbio.08.e982>



ABSTRACT

Under greenhouse conditions, two experiments were established with the main goal of estimating the effect of three native species of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), in the initial growth, 47 days after the sowing of sweet pepper (*Capsicum annuum*), and in the biocontrol at 50 days after inoculation of *M. incognita*. In both experiments, five treatments were included: three consisting for each species of AMF: T1 = *Funneliformis geosporum*, T2 = *Claroideoglossum claroideum*, and T3 = *Glomus ambisporum*, with the incorporation of 50 % chemical fertilization, T4 = 100 % chemical fertilization, and T5 = a control (only water, without AMF and fertilization). In the second experiment, in addition to the three treatments with AMF, one with a chemical

Article Info/Información del artículo

Received/Recibido: June 16th 2020.

Accepted/Aceptado: December 10th 2020.

Available on line/Publicado: January 28th 2021.

RESUMEN

En condiciones de invernadero se establecieron dos experimentos con el objetivo de estimar el efecto de especies nativas de hongos micorrízicos arbusculares (AMF), en el crecimiento inicial, a los 47 días posteriores a la siembra de chile dulce (*Capsicum annuum*) y en el biocontrol a los 50 días posteriores a la inoculación de *M. incognita*. En ambos experimentos se incluyeron cinco tratamientos: tres constituidos por cada especie de AMF: T1 = *Funneliformis geosporum*, T2 = *Claroideoglossum claroideum* y T3 = *Glomus ambisporum*, con la incorporación de un 50 % de fertilización química, T4 = fertilización química 100 % y T5 = un control (solo agua, sin AMF y sin fertilización). En el segundo experimento además de los tres tratamientos con AMF se incluyó uno con nematocida químico y otro sin nematocida químico y sin AMF. Los tratamientos se establecieron en un diseño experimental completamente al azar. A los 47 días posteriores a la siembra, *G. ambisporum* promovió un crecimiento significativo ($p \leq 0.01$) de la altura de plántulas (20.50 %), biomasa aérea seca (30.43 %) y

*Corresponding Author:

Jairo Cristóbal-Alejo. Tecnológico Nacional de México/Campus Conkal, Km. 16.3 Antigua carretera Mérida-Motul, Conkal. CP. 97345 Yucatán, México. <http://www.itconkal.edu.mx/>. E-mail.: jairoca54@hotmail.com.

nematicide and the other without chemical nematicide and AMF were included. The treatments were established in a completely randomized experimental design. At 47 days after planting, *G. ambisporum* promoted significant growth ($p \leq 0.01$) of the seedlings at height (20.50 %), dry aerial biomass (30.43 %), and fresh root weight (24.7 %) concerning 100 % chemical fertilization. The mycorrhizal colonization was high (96.97-100 %). At 50 days after the inoculation of the nematode *F. geosporum* and *G. ambisporum* significantly reduced ($p \leq 0.01$) the index of galling to 79.65 %. The effect of the nematicide to reduce the reproduction of the nematode was tantamount ($p \leq 0.01$) to that achieved with *F. geosporum* and *G. ambisporum*, with reductions in egg production of 89 % and females formation of 69.73 %. The fungal species favored plant growth; these species are a potential microbial resource for the biocontrol of *M. incognita*.

KEY WORDS

Capsicum annuum, *M. incognita*, arbuscular mycorrhizal fungus.

Introduction

In Mexico, approximately 161, 285 hectares are dedicated to the cultivation of *Capsicum annuum* L. where at least 3, 296, 874 t of fruits are produced, which positions the country as the second largest producer in the world (SIAP, 2017). For its cultivation it is required healthy, vigorous seedlings, with developed roots, of excellent quality and that survive the conditions that prevail in the definitive sites for its cultivation (Estrada-Luna & Davies, 2003). Agrochemicals are applied to nourish the seedlings and keep them free of pests and diseases. However, these products are not used rationally and consequently cause high production costs and soil and groundwater contamination (Pérez *et al.*, 2011). Likewise, in greenhouses and fields, plants with dwarfism, chlorosis, wilt, nodules or galls in the root system and reduction in the number and size of fruits are frequently observed, which reduces their yield. These symptoms have been associated with the presence of the root-knot nematodes *Meloidogyne incognita* (Herrera-Parra *et al.*, 2011). Globally, it causes production losses of at least 100 billion dollars (Bartlem *et al.*, 2014). The toxicity of chemical nematicides applied

peso fresco de raíz (24.7 %) en relación a la fertilización química al 100 %. La colonización micorrízica fue alta (96.97-100 %). A los 50 días posteriores a la inoculación del nematodo *F. geosporum* y *G. ambisporum* redujeron significativamente ($p \leq 0.01$) el índice de agallamiento en 79.65 %. El efecto del nematicida químico para reducir la reproducción del nematodo fue igual ($p \leq 0.01$) al obtenido con *F. geosporum* y *G. ambisporum* con reducciones de producción de huevos en 89 % y de formación de hembras de 69.73 %. Las especies de hongos favorecieron el crecimiento de las plantas y son un recurso potencial microbiano para el biocontrol de *M. incognita*.

PALABRAS CLAVE

Capsicum annuum, *M. incognita*, hongo micorrízico arbuscular.

Introducción

En México se destinan aproximadamente 161, 285 ha al cultivo de *Capsicum annuum* L. donde se producen al menos 3, 296, 874 t de frutos, lo que posiciona al país como segundo productor mundial (SIAP, 2017). Para su cultivo se requiere de plántulas sanas, vigorosas, con raíces desarrolladas, de excelente calidad y que sobrevivan a las condiciones que prevalecen en los sitios definitivos para su cultivo (Estrada-Luna y Davies, 2003). Para la nutrición de las plántulas y mantenerlas libres de plagas y enfermedades se aplican agroquímicos. Sin embargo, el uso de estos productos no se realiza racionalmente y en consecuencia ocasionan costos de producción altos y contaminación del suelo y mantos freáticos (Pérez *et al.*, 2011). Así mismo, en invernadero y campo con frecuencia se observan plantas con enanismo, clorosis, marchitez, nódulos o agallas en el sistema radical y reducción en el número y tamaño de frutos, lo que disminuye su rendimiento. Estos síntomas se han asociado con la presencia del nematodo agallador *Meloidogyne incognita* (Herrera-Parra *et al.*, 2011). A nivel mundial causa pérdidas de producción en al menos 100 mil millones de dólares (Bartlem *et al.*, 2014). La toxicidad de nematicidas químicos que se aplican para su control, persiste en el ambiente y causan daños en la salud humana, lo que hace necesaria la búsqueda de alternativas de control compatibles con el ambiente y la fauna que habita en los ecosistemas (Xie *et al.*, 2015).

Una alternativa ecológica es el uso de hongos micorrízicos arbusculares (AMF), éstos participan en la diversificación,

for their control persists in the environment and causes damage to human health, making it necessary to seek control alternatives compatible with the environment and the fauna that inhabits the ecosystems (Xie et al., 2015).

An ecological alternative is the use of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF), which participate in the diversification, restoration, conservation of ecosystems and productivity of agricultural crops (Lara-Pérez, et al., 2014; Bona et al., 2016). They favor nutrient translocation, improve photosynthetic rate, and regulate stomatal conductance (Bárzana et al., 2014; Zayed et al., 2017). Reports indicate that in *C. annuum*, they reduce abiotic stress, increase height, leaf area (Castillo et al., 2009), biomass, and fruit yield (Ortas et al., 2011; López-Gómez et al., 2015).

On the other hand, in nematode-parasitized crops, AMF act as direct competition for penetration sites, spaces and nutrients, alter the composition of radical exudates, modify root morphology or activate defense mechanisms (Schouteden et al., 2015) which reduces the penetration of the infective phase of the nematode (J_2), reproduction and root damage. The interactions of AMF-*Capsicum*-nematode can vary, with reported increases, decreases or no effect on plant growth (Erdoğan et al., 2017; Bazghaleh et al., 2018), or on the nematode's ability to reproduce (Herrera-Parra et al., 2014). These responses are modulated by the origin of the AMF, the conditions where they are incorporated, and by functional symbiosis with the host (Ju-Kyeong et al., 2009). The best benefit of the AMF-plant association has been recorded with the use of native AMF; this condition makes them adapted to abiotic conditions, which favors their establishment and the colonization of local hosts (Cofcewicz et al., 2001).

In southeastern Mexico, few studies consider the evaluation of native AMF as growth promoters of tropical horticultural species and biological control of phytoparasitic nematodes, and little is known about the effect of native AMF species on the initial growth of *C. annuum* and on the duck system *C. annuum*-*M. incognita*. In the present study, two experiments were designed: the first, to estimate the effect of three AMF species on the initial growth responses of sweet pepper (*C. annuum*) and the second, to evaluate the biocontrol of *M. incognita* with the inoculation of the same AMF in the same cultivar.

restauración, conservación de ecosistemas y productividad de cultivos agrícolas (Lara-Pérez et al., 2014; Bona et al., 2016). Favorecen la translocación de nutrientes, mejoran la tasa fotosintética y regulan la conductancia estomática (Bárzana et al., 2014; Zayed et al., 2017). Reportes señalan que en *C. annuum*, reducen el estrés abiótico, incrementan la altura, el área foliar (Castillo et al., 2009), la biomasa y el rendimiento de frutos (Ortas et al., 2011; López-Gómez et al., 2015).

Por otra parte, en cultivos parasitados por nematodos, los AMF actúan como competencia directa por sitios de penetración, espacios y nutrientes, alteran la composición de exudados radicales, modifican la morfología de la raíz o activan mecanismos de defensas (Schouteden et al., 2015) lo que reduce la penetración de la fase infectiva del nematodo (J_2), la reproducción y el daño en las raíces. Las interacciones de AMF-*Capsicum*-nematodo pueden variar, al reportarse incrementos, reducciones o efecto nulo en el crecimiento de las plantas (Erdoğan et al., 2017; Bazghaleh et al., 2018), o en la capacidad de reproducción del nematodo (Herrera-Parra et al., 2014). Estas respuestas son moduladas por el origen de los AMF, las condiciones donde se incorporan y por la simbiosis funcional con el hospedero (Ju-Kyeong et al., 2009). El mejor beneficio de la asociación AMF-planta se ha registrado con el uso de AMF nativos; esta condición hace que estén adaptados a las condiciones abióticas, lo que favorece su establecimiento y la colonización de hospederos locales (Cofcewicz et al., 2001).

En el sureste de México pocos son los estudios que contemplan la evaluación de AMF nativos, como agentes promotores de crecimiento de especies hortícolas tropicales y de control biológico de nematodos fitoparásitos, y poco se conoce sobre el efecto de especies nativas de AMF en el crecimiento inicial de *C. annuum* y en el patosistema *C. annuum*-*M. incognita*. En el presente estudio se diseñaron dos experimentos: el primero, para estimar el efecto de tres especies de AMF en las respuestas de crecimiento inicial de chile dulce (*C. annuum*) y el segundo, para evaluar el biocontrol de *M. incognita* con la inoculación de los mismos AMF en el mismo cultivar.

Material y Métodos

Origen de los hongos micorrízicos arbusculares

Los AMF se aislaron de suelo proveniente de la selva baja caducifolia del Sureste de México, en la reserva ecológica Cuxtal, con ubicación de 20° 52' 07.44" N y 89°

Material and Methods

Origin of arbuscular mycorrhizal fungi

The AMF were isolated from soil from the lowland deciduous forest of southeastern Mexico, in the Cuxtal ecological reserve, with locations of 20°52' 07.44" N and 89°36' 51.64" W. The soil type is Leptosol with depths varying from 0 to 25 cm (Díaz-Garrido *et al.*, 2005). The climate is warm sub-humid with rain in summer and winter. The average annual precipitation is 900 mm with an average annual temperature of 27.5 °C (García, 1973). The dominant vegetation is tropical deciduous forest (Flores & Espejel, 1994).

Propagation, extraction and identification of arbuscular mycorrhizal fungi

To identify the AMF, the collected soil was sifted and mixed with sterile sand (1:1 v/v) and placed in 10 kg pots for propagation. Sorghum (*Sorghum bicolor* L.) seeds were then planted as a trap crop (Sieverding, 1991). The pots were kept in greenhouses at an average of 36 ± 2 °C and relative humidity of 64 %, and were irrigated at field capacity. After 12 weeks and with the purpose of stimulating the sporulation of the AMF, irrigation was suspended. In week 16, spore extraction was carried out, according to the method of wet sifting and decanting and centrifugation (Gerdermann & Nicholson, 1963), where 100 g of soil from each propagation pot were processed and homogenized with Tween 20 (0.05 %) in water, the solution was filtered through a series of sieves with 600, 425, 90 and 25 µm mesh opening, and from the retained fractions, spores were extracted and deposited in 1.5 mL vials provided with sterile distilled water.

The identification was made by comparing and contrasting the morphological characteristics of the spores, with genus- and species-specific descriptors, available on the website of the International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (West Virginia University, 2020), the taxonomy of Glomeromycota (Schenck & Perez, 1990; Schüßler & Walker, 2010). Spores were separated by species and deposited in vials. According to morphological characteristics three species were identified: *Funneliformis geosporum* C. Walker & A. Schüßler, *Claroideoglossum claroideum* C. Walker A. and *Glomus ambisporum* C. Walker & A. Schüßler. For the conservation of the spores, they were disinfected by removing the sterile water from the vials and adding Tween 20 at 0.05 %, they were centrifuged at 500 rpm for

36' 51.64" W. El tipo de suelo es Leptosol con profundidad que varía de 0 a 25 cm (Díaz-Garrido *et al.*, 2005). El clima es cálido sub-húmedo con lluvias en verano e invierno. La precipitación media anual es de 900 mm con temperatura media anual es de 27.5 °C (García, 1973). La vegetación dominante está compuesta por bosques tropicales caducifolios (Flores & Espejel, 1994).

Propagación, extracción e identificación de los hongos micorrízicos arbusculares

Para identificar a los AMF, el suelo colectado se tamizó y mezcló con arena estéril (1:1 v/v) y se colocó en macetas de 10 kg para su propagación. En seguida, como cultivo trampa (Sieverding, 1991) se sembraron semillas de sorgo (*Sorghum bicolor* L.). Las macetas se mantuvieron en invernadero en promedio a 36 ± 2 °C y humedad relativa en promedio del 64 %, se realizaron riegos a capacidad de campo. Después de 12 semanas y con el propósito de estimular la esporulación de los AMF se suspendió el riego. En la semana 16 se realizó la extracción de esporas, de acuerdo al método de tamizado y decantación en húmedo y centrifugación (Gerdermann & Nicholson, 1963), donde se procesaron 100 g de suelo de cada maceta de propagación, se homogenizó con Tween 20 (0.05 %) en agua, la solución se filtró a través de una serie de tamices con apertura de mallas de 600, 425, 90 y 25 µm, y de las fracciones retenidas se extrajeron las esporas y se depositaron en viales de 1.5 mL de capacidad provistos con agua destilada estéril.

La identificación se realizó comparando y contrastando las características morfológicas de las esporas, con descriptores específicos para género y especie, disponibles en el sitio web del International Culture Collection of Arbuscular and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi (West Virginia University, 2020), la taxonomía de Glomeromycota (Schenck & Pérez, 1990; Schüßler & Walker, 2010). Las esporas se separaron por especies y se depositaron en viales. De acuerdo con las características morfológicas se identificaron tres especies: *Funneliformis geosporum* C. Walker & A. Schüßler, *Claroideoglossum claroideum* C. Walker A. y *Glomus ambisporum* C. Walker & A. Schüßler.

Para la conservación de las esporas se desinfectaron mediante la extracción del agua estéril de los viales y se le adicionó Tween 20 a 0.05 %, se centrifugaron a 500 rpm por un minuto, en seguida se eliminó el sobrenadante y se adicionó Cloramina T al 2 %, se centrifugó a 500 rpm durante 15 minutos, ambos procedimientos se repitieron

one minute, then the supernatant was removed and 2 % Chloramine T was added. The water was centrifuged at 500 rpm for 15 minutes, both procedures were repeated twice. Finally, the supernatant was removed and a mixture of gentamicin (100 ppm) and streptomycin (200 ppm) was added to each vial and kept at 4 °C until inoculation.

Evaluation of arbuscular mycorrhizal fires in the initial growth of sweet pepper (*C. annuum*).

Five treatments were evaluated, three constituted by each species of AMF: T1 = *F. geosporum*, T2 = *C. claroideum* and T3 = *G. ambisporum*, with the incorporation of 50 % of chemical fertilization, two control treatments: T4 = 100 % chemical fertilization (Polyfeed®, 17-17-17, Haifa, Mexico, 2 g L⁻¹ of water) without AMF, applied twice a week, from 10 days after sowing (das) and T5 = one control (only water, without AMF and without fertilization).

Before the establishment of the experiment, soil was sterilized by means of steam dragging for three days for 1 hour at 90 °C, and ten germination trays of 72 cavities were filled. In six of these, 30 spores of each AMF were deposited in each cavity, the remaining four served as controls, without AMF inoculation. In the trays were planted sweet pepper seeds (*C. annuum*) type Criollo previously disinfected with sodium hypochlorite 1 % followed by two washings with sterile distilled water. The trays were covered until the germination of the seeds and were kept in the greenhouse at an average of 28 ± 2 °C, with an average relative humidity of 64 % and an average light intensity of 400 lux with the application of irrigation at field capacity.

After 47 das the growth variables were estimated at 30 seedlings: seedling height, dry air biomass, fresh and dry root weight. The percentage of mycorrhizal colonization was estimated in five plants per treatment. The roots were washed with running water and deposited in cassettes for tissue, then they were passed through KOH at 10 %, H₂O₂ at 30 %, HCL at 30 %, with heating and rinsing with running water. Finally, trypan blue was added and they were left to rest for 24 hours. After this time, trypan blue was removed and the roots were rinsed with running water (Phillips & Hayman, 1970).

Later, permanent preparations were made, 10 sections of roots were taken and mounted on an object holder, with the help of brown paper they were pressed to soften

dos veces. Finalmente se retiró el sobrenadante y se adicionaron a cada vial una mezcla de gentamicina (100 ppm) y estreptomycin (200 ppm) y se mantuvieron a 4 °C hasta su inoculación.

Evaluación de hogos micorrízicos arbusculares en el crecimiento inicial de chile dulce (*C. annuum*).

Se evaluaron cinco tratamientos, tres constituidos por cada especie de AMF: T1 = *F. geosporum*, T2 = *C. claroideum* y T3 = *G. ambisporum*, con la incorporación de un 50 % de fertilización química, dos tratamientos testigos: T4 = fertilización química 100 % (Polyfeed®, 17-17-17, Haifa, México, 2 g L⁻¹ de agua) sin AMF, aplicada dos veces por semana, a partir de los 10 días después a la siembra (dds) y T5 = un control (solo agua, sin AMF y sin fertilización).

Previo al establecimiento del experimento, se esterilizó suelo mediante arrastre de vapor durante tres días por 1 hora a 90 °C, y se llenaron diez charolas de germinación de 72 cavidades. En seis de éstas por cada cavidad se depositaron 30 esporas de cada AMF, las cuatro restantes sirvieron para los testigos, sin la inoculación de AMF. En las charolas se sembraron semillas de chile dulce (*C. annuum*) tipo Criollo previamente desinfectada con hipoclorito de sodio al 1 %, seguido de dos lavados con agua destilada estéril. Las charolas se cubrieron hasta la germinación de las semillas y se mantuvieron en invernadero en promedio a 28 ± 2 °C, con humedad relativa promedio de 64 % e intensidad lumínica promedio de 400 luxes con la aplicación de riegos a capacidad de campo.

Transcurridos 47 dds se estimaron en 30 plántulas las variables de crecimiento: altura de plántula, biomasa aérea seca, peso fresco y seco de raíz. En cinco plantas por tratamiento se estimó el porcentaje de colonización micorrízica. Las raíces se lavaron con agua corriente y se depositaron en casetes para tejidos, posteriormente se pasaron por KOH al 10 %, H₂O₂ al 30 %, HCL al 30 %, con calentamientos y enjuagues con agua corriente. Finalmente se incorporó azul de tripano y se dejaron reposar por 24 h. Transcurrido este tiempo se eliminó el azul de tripano y las raíces se enjuagaron con agua corriente (Phillips & Hayman, 1970).

Posteriormente se realizaron preparaciones permanentes, se tomaron 10 secciones de raíz y se montaron en un porta objeto, con la ayuda de papel estraza se presionaron para ablandarlas, enseguida se adicionaron dos gotas

them, then two drops of polyvinyl alcohol and an object cover were added. The samples were labeled and placed in the drying oven at 47 °C for 72 hours. Finally, the structures of the AMF (mycelium, spores, vesicles and coils) were observed in an optical microscope and the percentage of colonization was quantified (McGonigle *et al.*, 1990).

Nematode control experiment

Obtaining J₂ from *M. incognita*

Commercial plantations in production of sweet pepper (*C. annuum*) parasitized by *M. incognita* were sampled in the municipality of Tixpehual, Yucatan, located 20°58'40"N and 89°26'30"W at an altitude of 8 meters above sea level. The gilled roots were deposited in paper bags and kept at 6 °C in refrigeration for 24 hours. They were washed with running water and egg masses were extracted with syringes under the stereoscopic microscope (Leica M80, USA). They were disinfected with 1 % sodium hypochlorite for one minute and washed with sterile distilled water until the disinfectant was removed. The eggs were incubated in a microbiological culture oven at 25 ± 1 °C for three days until the J₂ hatched. Then, they were concentrated in a 500 mL flask, 1 mL was taken and counted to calibrate the inoculum. Adult females were extracted from the gilled roots to identify the species by morpho-taxonomic characters (Ayuob, 1980).

Control bioassay of *M. incognita* in greenhouse

In order to estimate the biocontrol of *M. incognita* with AMF, plastic pots of 2 kg capacity were filled with sterile soil. Before transplanting, a hole of 3 cm in diameter and 5 cm deep was made and 1 mL of water was inoculated containing 1,000 larvated eggs and 300 J₂ of *M. incognita*, then a 47-day-old sweet chili bell pepper (*C. annuum*) seedling inoculated with the AMF was transplanted, as indicated in the first experiment and coming from this one.

In this experiment there was an adjustment of the nutrition of the plants from the inoculation of the nematode. This consisted in a fertilization with chemical balance 2:1:1, with the sources: urea (Magro®, 46-00-00, Fertinova, Mexico), potassium nitrate (Ultrasol®, 12-00-46, SQM, Mexico) and monoammonium phosphate (MAP®, 12-61-00, Greenhow S. A. de C. V. Mexico), applied twice a week.

de alcohol polivinílico y un cubre objeto. Las muestras se etiquetaron y se metieron a la estufa de secado a 47 °C por 72 h. Finalmente se observaron en un microscopio óptico las estructuras de los AMF (micelio, esporas, vesículas y enrollamientos) y se cuantificó el porcentaje de colonización (McGonigle *et al.*, 1990).

Experimento de control del nematodo

Obtención de J₂ de *M. incognita*

Se muestrearon plantaciones comerciales en producción de chile dulce (*C. annuum*) parasitadas por *M. incognita*, en el municipio de Tixpehual, Yucatán, localizado 20°58'40"N y 89°26'30"W a una altitud de 8 metros sobre nivel del mar. Las raíces agalladas se depositaron en bolsas de papel y se conservaron a 6 °C en refrigeración durante 24 h. Se lavaron con agua corriente y se extrajeron masas de huevos con jeringas bajo el microscopio estereoscópico (Leica M80, USA). Éstas se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 1 % durante un minuto y se lavaron con agua destilada estéril hasta eliminar el desinfectante. Los huevos se incubaron en una estufa de cultivo microbiológico a 25 ± 1 °C durante tres días hasta la eclosión de los J₂. Posteriormente, se concentraron en un matraz de 500 mL, se tomó 1 mL y se contabilizaron para calibrar el inoculo. De las raíces con agallas se extrajeron hembras adultas para identificar la especie mediante caracteres morfotaxonomícos (Ayuob, 1980).

Bioensayo de control de *M. incognita* en invernadero

Para estimar el biocontrol de *M. incognita* con los AMF, se llenaron con suelo estéril, macetas de plástico de 2 kg de capacidad. Previo al trasplante se realizó un hoyo de tres cm de diámetro y cinco cm de profundidad y se inoculó 1 mL de agua que contenía 1,000 huevos larvados y 300 J₂ de *M. incognita*, enseguida se trasplantó una plántula de chile dulce (*C. annuum*) de 47 días de edad inoculadas con los AMF, como se indica en el primer experimento y provenientes de éste.

En este experimento hubo un ajuste de la nutrición de las plantas a partir de la inoculación del nematodo. La cual consistió en una fertilización con equilibrio químico 2:1:1, con las fuentes: urea (Magro®, 46-00-00, Fertinova, México), nitrato de potasio (Ultrasol®, 12-00-46, SQM, México) y fosfato monoamónico (MAP®, 12-61-00, Greenhow S. A. de C. V. México), aplicada dos veces por semana.

Five treatments were also evaluated in this experiment: three constituted the AMF species: T1 = *F. geosporum*, T2 = *C. claroideum* and T3 = *G. ambisporum*, two control treatments: T4 = a 24 % oxamyl nematicide in a dose of 1 mL L⁻¹ of water (Vydate®, Dupont, Mexico), applied to the soil at the time of transplant, with nematodes and without AMF and T5 = a control, with nematodes and without AMF. Each treatment was constituted by 15 plants that constituted the repetitions, distributed in greenhouse conditions, indicated in the first experiment.

The treatments were evaluated 50 days after inoculation with *M. incognita*, and the following variables were considered as biocontrol variables of the nematode: the galling index estimated with a scale of radical damage for root-knot nematodes (Taylor & Sasser, 1983), the number of eggs and females per gram of root (Herrera-Parra et al., 2014). As growth variables were measured: plant height, number of flower buds per plant, dry aerial biomass per plant, fresh root weight, root length and finally by volumetric displacement, root volume. As variables associated with AMF, the percentage of colonization in the roots of five plants per treatment was estimated according to the techniques of Phillips and Hayman (1970) and McGonigle et al. (1990) indicated in the first experiment.

Experimental design and data analysis

A completely randomized experimental design was used in the experiments. With the obtained data, analysis of variance was made and for the case of data related to total mycorrhizal colonization and the galling index, which did not comply with the assumptions of normal distribution, they were transformed to homogenize variances by means of the sine arc function [$y = \arcsin(x/100)$]. Tukey's method ($p \leq 0.05$) was applied as a mean comparator, using the statistical package InfoStat 2018.

Results and Discussion

Response of sweet pepper (*C. annuum*) seedlings to inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi

AMF promoted significant growth ($p \leq 0.01$) of *C. annuum* seedlings at 47 das compared to control

En este experimento también se evaluaron cinco tratamientos: tres constituyeron las especies de AMF: T1 = *F. geosporum*, T2 = *C. claroideum* y T3 = *G. ambisporum*, dos tratamientos testigos: T4 = un nematicida oxamil 24 % en dosis de 1 mL L⁻¹ de agua (Vydate®, Dupont, México), aplicado al suelo al momento del trasplante, con nematodos y sin AMF y T5 = un control, con nematodos y sin AMF. Cada tratamiento estuvo constituido por 15 plantas que constituyeron las repeticiones, distribuidas en condiciones de invernadero, indicadas en el primer experimento.

Los tratamientos se evaluaron a los 50 días después de la inoculación con *M. incognita*, se consideraron como variables de biocontrol del nematodo: el índice de agallamiento estimado con una escala de daño radical para nematodos agalladores (Taylor & Sasser, 1983), el número de huevos y hembras por gramo de raíz (Herrera-Parra et al., 2014). Como variables de crecimiento se midieron: altura de planta, número de botones florales por planta, biomasa aérea seca por planta, peso fresco de raíz, longitud de raíz y finalmente por desplazamiento volumétrico, volumen de raíz. Como variables asociadas a los AMF se estimó el porcentaje de colonización en las raíces de cinco plantas por tratamiento de acuerdo con las técnicas de Phillips y Hayman (1970) y McGonigle et al. (1990) indicadas en el primer experimento.

Diseño experimental y análisis de datos

En los experimentos se utilizó un diseño experimental completamente al azar. Con los datos obtenidos se realizaron análisis de varianza y para el caso de los datos relacionados con la colonización total micorrízica y el índice de agallamiento, que no cumplieron con los supuestos de distribución normal, se transformaron para homogenizar varianzas mediante la función de arco seno [$y = \arcsin(x/100)$]. Se aplicó como comparador de medias el método de Tukey ($p \leq 0.05$), mediante el paquete estadístico InfoStat 2018.

Resultados y Discusión

Respuesta de plántulas de chile dulce (*C. annuum*) a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares

Los AMF promovieron un crecimiento significativo ($p \leq 0.01$) de las plántulas de *C. annuum* a los 47 dds en

seedlings. Treatments involving *C. claroideum* and *G. ambisporum* increased the height of the seedlings by up to 20.50 % relative to those inoculated with *F. geosporum* and 100 % chemical fertilization, and by up to 73 % relative to those of the control (Table 1).

A significant effect ($p \leq 0.01$) of dry aerial biomass production was obtained with *G. ambisporum* with gains of 97 % in relation to the control seedlings, in addition it surpassed the 100 % chemical fertilization and *F. geosporum* with which up to 0.32 ± 0.03 g of dry aerial biomass was registered. Also, *C. claroideum* improved this response variable as did *G. ambisporum* and 100 % chemical fertilization (Table 1).

Root growth was significantly increased ($p \leq 0.01$) with *C. claroideum* and *G. ambisporum* and significantly increased fresh (90 %) and dry (98 %) root biomass, relative to the control. The averages of fresh and dry root biomass with 100 % chemical fertilization were equal to those caused by *F. geosporum* and lower than those of *C. claroideum* and *G. ambisporum* (Table 1). In the cultivation of *C. annuum*, a preliminary growth phase under protected conditions is required to obtain seedlings with desirable characteristics for establishment in production systems (Macías-Rodríguez *et al.*, 2013). At this stage, inoculation with *C. claroideum* and *G. ambisporum* is an alternative to improve seedling growth (height, aerial and root biomass), even with better characteristics than those obtained with 100 % chemical fertilization. These effects have been observed in cultivars of *C. annuum* Ancho with *Glomus spp + Gigaspora sp.* and the incorporation of medium-dose fertilization ($P 22 \mu\text{g mL}^{-1}$) where higher dry biomass was estimated (Alonso-Contreras, 2013). In cultivars such as Jalapeño, De árbol and Serrano with the inoculation *Rhizophagus intraradices* (formerly *Glomus intraradices*) and *Glomus zac-19* improved the emission of leaves, stem diameters and aerial biomass (González-Mendoza *et al.*, 2015). In *C. frutescens* they favored initial growth with *F. mosseae* and *Racocetra fulgida* (formerly *Scutellospora fulgida*) in combination with 50 % of bovine manure (Jiménez *et al.*, 2017). Other reports indicate that AMF significantly increase photosynthetic activity, chlorophyll content, and assimilation of water and immobile nutrients from the soil (Alvarado-Carrillo *et al.*, 2014; Lehman & Rilling, 2015), reduce biotic and abiotic stress (Khalid *et al.*, 2016; Tchabi *et al.*, 2019), which favors the growth of the initial phase of crops as observed in this study.

comparación a las plántulas del control. Los tratamientos que incluyeron a *C. claroideum* y *G. ambisporum* incrementaron la altura de las plántulas hasta un 20.50 % en relación a las inoculadas con *F. geosporum* y a las de fertilización química al 100 %, y hasta un 73 % en relación a las del control (Tabla 1).

Un efecto significativo ($p \leq 0.01$) de producción de biomasa aérea seca se obtuvo con *G. ambisporum* con ganancias de un 97 % en relación a las plántulas del control, además superó a la fertilización química al 100 % y a *F. geosporum* con los que se registró hasta un 0.32 ± 0.03 g de biomasa aérea seca. También, *C. claroideum* mejoró esta variable respuesta al igual que *G. ambisporum* y la fertilización química al 100 % (Tabla 1).

El crecimiento de raíces se incrementó significativamente ($p \leq 0.01$) con *C. claroideum* y *G. ambisporum* e incrementaron significativamente la biomasa fresca (90 %) y seca (98 %) de raíz, en relación a las del control. Los promedios de biomasa fresca y seca de raíz con la fertilización química al 100 % fueron iguales a los causados con *F. geosporum* e inferiores a los de *C. claroideum* y *G. ambisporum* (Tabla 1). En el cultivo de *C. annuum* se requiere una fase preliminar de crecimiento en condiciones protegidas, para obtener plántulas con características deseables para su establecimiento en los sistemas de producción (Macías-Rodríguez *et al.*, 2013). En esta etapa la inoculación con *C. claroideum* y *G. ambisporum* es una alternativa para mejorar el crecimiento de las plántulas (altura, biomasa aérea y radical), incluso con mejores características a las obtenidas con la fertilización química al 100 %. Estos efectos se han observado en cultivares de *C. annuum* Ancho con *Glomus spp + Gigaspora sp.* y la incorporación de fertilización a dosis media ($P 22 \mu\text{g mL}^{-1}$) donde se estimaron mayor biomasa seca (Alonso-Contreras, 2013). En cultivares como Jalapeño, De árbol y Serrano con la inoculación *Rhizophagus intraradices* (antes *Glomus intraradices*) y *Glomus zac-19* mejoraron la emisión de hojas, diámetros de tallos y biomasa aérea (González-Mendoza *et al.*, 2015). En *C. frutescens* favorecieron el crecimiento inicial con *F. mosseae* y *Racocetra fulgida* (antes *Scutellospora fulgida*) en combinación con el 50 % de estiércol de bovino (Jiménez *et al.*, 2017). Otros reportes señalan que los AMF incrementan significativamente la actividad fotosintética, el contenido de clorofila y la asimilación de agua y nutrientes inmóviles del suelo (Alvarado-Carrillo *et al.*, 2014; Lehman & Rilling, 2015), reducen el estrés biótico y abiótico (Khalid *et al.*, 2016; Tchabi *et al.*, 2019) lo que favorece el crecimiento de la fase inicial de los cultivos como se observó en este estudio.

Of the three AMF species, *F. geosporum* was the least favorable to seedling growth. This response may have been modulated by compatibility between AMF and the host and no functional mutualistic symbiosis was established (Jin *et al.*, 2017; Bazghaleh *et al.*, 2018), which does not show a positive effect on plant biomass production (Rosheim, 2016; Avio *et al.*, 2017). The results indicated that AMF with medium fertilization doses favored the growth of *C. annuum* seedlings and that the incorporation of these microorganisms can be a complementary alternative for seedling production, which reduces the use of chemical fertilizers and damage to the environment.

The AMF species: *F. geosporum*, *C. claroideum* and *G. ambisporum* colonized the roots of *C. annuum* seedlings, with significant difference ($p \leq 0.01$). In particular, *G. ambisporum* had greater colonization (100 ± 0.00 %), followed by *F. geosporum* (98.66 ± 0.95 %) and *C. claroideum* (96.97 ± 1.73 %). Seedlings with 100 % chemical fertilization and those of the control had less than 10 % root colonization (Table 1). The estimated colonization percentages in the seedlings inoculated with these fungi suggest that in this growth stage they

De las tres especies de AMF, *F. geosporum* fue la que menos favoreció el crecimiento de las plántulas. Esta respuesta pudo estar modulada por la compatibilidad entre el AMF y el hospedero y no se establece una simbiosis mutualista funcional (Jin *et al.*, 2017; Bazghaleh *et al.*, 2018), lo que no manifiesta efecto positivo sobre la producción de biomasa en las plantas (Rosheim, 2016; Avio *et al.*, 2017). Los resultados indicaron que los AMF con dosis medias de fertilización favorecieron el crecimiento de las plántulas de *C. annuum* y que la incorporación de estos microorganismos puede ser una alternativa complementaria para la producción de plántulas, lo que reduce el uso de fertilizantes químicos y daños al ambiente.

Las especies de AMF: *F. geosporum*, *C. claroideum* y *G. ambisporum* colonizaron las raíces de las plántulas de *C. annuum*, con diferencia significativa ($p \leq 0.01$). En particular, *G. ambisporum* tuvo mayor colonización (100 ± 0.00 %), seguido de *F. geosporum* (98.66 ± 0.95 %) y *C. claroideum* (96.97 ± 1.73 %). Las plántulas con la fertilización química al 100 % y las del control tuvieron menos del 10 % de colonización de las raíces (Tabla 1). Los porcentajes de colonización estimados en las plántulas inoculadas con estos hongos sugieren que en esta etapa

Table 1.
Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on sweet pepper seedlings (*C. annuum*) at 47 days after planting.

Tabla 1.
Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en plántulas de chile dulce (*C. annuum*) a los 47 días posteriores a la siembra.

Treatment	Seedling height (cm)	Dry aerial biomass (g)	Fresh root biomass (g)	Dry root biomass (g)	Colonization (%)
* <i>F. geosporum</i>	10.40 ± 0.42 ^b	0.26 ± 0.03 ^c	0.81 ± 0.11 ^b	0.09 ± 0.02 ^c	98.66 ± 0.95 ^b
* <i>C. claroideum</i>	13.90 ± 1.09 ^a	0.42 ± 0.08 ^{ab}	1.09 ± 0.20 ^{ab}	0.16 ± 0.04 ^a	96.97 ± 1.73 ^c
* <i>G. ambisporum</i>	13.76 ± 0.93 ^a	0.46 ± 0.11 ^a	1.21 ± 0.24 ^a	0.16 ± 0.03 ^{ab}	100 ± 0.00 ^a
** 100 % Chemical Fertilization	11.05 ± 0.51 ^b	0.32 ± 0.03 ^{bc}	0.91 ± 0.01 ^b	0.11 ± 0.07 ^{bc}	6.18 ± 0.73 ^e
Control	3.75 ± 0.14 ^c	0.01 ± 0.05 ^d	0.12 ± 0.13 ^c	0.003 ± 0.02 ^d	9.51 ± 0.44 ^d
LSD	1.24	0.12	0.28	0.48	0.06

The table shows averages ± standard deviation. Growth variables: n = 30. Colonization = 5. LSD = Least significant difference. Equal letters within the same column are statistically equal (Tukey, $p \leq 0.05$).

* Treatments that included 50 % chemical fertilization.

** Treatment that included 100 % chemical fertilization.

La tabla muestra promedios ± desviación estándar. n = 30. LSD = diferencia mínima significativa. Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

*Tratamientos que incluyeron un 50 % de fertilización.

** Tratamiento que incluyó 100 % de fertilización.

allow the colonization of their roots, which may be a strategy to increase growth success in early stages of the crop, where better P translocation, photosynthetic rate and dry biomass production have been reported (Alonso-Contreras *et al.*, 2013; Nana *et al.*, 2015).

Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on *M. incognita*

In the control plants inoculated with *M. incognita*, without arbuscular mycorrhizal fungi and without the application of nematicide, the symptoms of the disease were observed: chlorosis, decrease in growth and galls formation. In these plants there were higher index of galls (51.60 ± 37.24), number of eggs (408.30 ± 282.54) and females (60.80 ± 41.97) ($p \leq 0.01$) (Table 2).

The galling index was significantly reduced ($p \leq 0.01$) with the inoculation of *F. geosporum* and *G. ambisporum*, which reduced damages by 79.65 % in relation to the control plants (Table 2). This potential has been reported with *R. intraradices* (formerly *G. intraradices*) against *Nacobbus aberrans* (Lax *et al.*, 2011), with *Rhizophagus intraradices*, *Funneliformis mosseae* against *Rotylenchulus reniformis* (Herrera-Parra *et al.*, 2014), with *G. bagyarajii*, *G. macrocarpum* against *M. incognita* (Raghavendra *et al.*, 2016), with *Gigaspora albida*, *Claroideoglossum etunicatum* and *Acaulospora morrowiae* (formerly *Acaulospora longula*) against *M. arenaria* (Da Silva *et al.*, 2017), which evidences the effectiveness as microbial biocontrol agents.

C. claroideum and the nematicide treatment, although statistically not different from the control, showed a tendency to reduce the galling index by up to 38 %. The effect with *C. claroideum* was related to its ability to improve root length and branching, which allowed new spaces available for nematode feeding and new infections, which caused more damage and up to 87 % of egg production and 51 % of female formation, in relation to the plants treated with nematicide. This treatment did not prevent the penetration of J_2 , but significantly reduced the reproduction of the nematode with 44.40 ± 3.20 eggs and 18.40 ± 1.89 females, and its effect to reduce the damage was the same as with *F. geosporum* and *G. ambisporum*, which limited the production of eggs by 89 % and the formation of females by 69.73 %, in relation to the control plants (Table 2).

de crecimiento permiten la colonización de sus raíces, lo que puede ser una estrategia para incrementar el éxito del crecimiento en etapas tempranas del cultivo, donde se han reportado mejor translocación de P, tasa fotosintética y producción de biomasa seca (Alonso-Contreras *et al.*, 2013; Nana *et al.*, 2015).

Efecto de hongos micorrízicos arbusculares en *M. incognita*

En las plantas control inoculadas con *M. incognita*, sin hongos micorrízicos arbusculares y sin la aplicación de nematicida, se observaron los síntomas de la enfermedad: clorosis, disminución del crecimiento y formación de agallas. En estas plantas hubo mayor índice de agallamiento (51.60 ± 37.24), número de huevos (408.30 ± 282.54) y hembras (60.80 ± 41.97) ($p \leq 0.01$) (Tabla 2).

El índice de agallamiento se redujo significativamente ($p \leq 0.01$) con la inoculación de *F. geosporum* y *G. ambisporum*, con los que se redujeron daños de un 79.65 % en relación a las plantas control (Tabla 2). Este potencial se ha reportado con *R. intraradices* (antes *G. intraradices*) contra *Nacobbus aberrans* (Lax *et al.*, 2011), con *Rhizophagus intraradices*, *Funneliformis mosseae* contra *Rotylenchulus reniformis* (Herrera-Parra *et al.*, 2014), con *G. bagyarajii*, *G. macrocarpum* contra *M. incognita* (Raghavendra *et al.*, 2016), con *Gigaspora albida*, *Claroideoglossum etunicatum* y *Acaulospora morrowiae* (antes *Acaulospora longula*) contra *M. arenaria* (Da Silva *et al.*, 2017), lo que evidencia la efectividad como agentes microbianos de biocontrol.

C. claroideum y el tratamiento nematicida, a pesar de que estadísticamente no tuvieron un efecto diferente al control, mostraron una tendencia en reducir el índice de agallamiento hasta un 38 %. El efecto con *C. claroideum* se relacionó con su capacidad de mejorar la longitud y ramificación de raíces lo que permitió nuevos espacios disponibles para la alimentación del nematodo y nuevas infecciones, lo que causó mayor daño y hasta un 87 % de producción de huevos y un 51 % en la formación de hembras, en relación con las plantas tratadas con el nematicida. Este tratamiento, no impidió la penetración de los J_2 , pero redujo significativamente la reproducción del nematodo con 44.40 ± 3.20 huevos y 18.40 ± 1.89 hembras, y su efecto para reducir el daño fue igual que con *F. geosporum* y *G. ambisporum*, los que limitaron la producción de huevos del 89 % y de formación de hembras del 69.73 %, en relación a las plantas control (Tabla 2).

The ability of AMF to reduce damage and reproduction of endoparasitic nematodes (Lax *et al.*, 2011; Herrera-Parra *et al.*, 2014; Tchabi *et al.*, 2019), is associated with competition among organisms for carbon sources, spaces and sites of infection, since these are organisms with the same physiological needs and struggle to establish themselves in the same place where they obtain resources for their feeding (Vos *et al.*, 2014; Schouteden *et al.*, 2015). It is also related to the production of radical exudates, such as phenols, flavonoids and organic acids (Hage-Ahmed *et al.*, 2013); which disorient the J₂ of the nematode and prevent its penetration and allow functional symbiosis between plants and AMF, allowing the activation of the host defense system (Cervantes-Gómez *et al.*, 2015). This action prepares the plant and allows a defense response also against foliar pathogens (Pérez-Ortega *et al.*, 2015, Reyes-Tena *et al.*, 2016).

Effect of AMF on *C. annuum* growth

The decrease in root damage and reduction of nematode reproduction by AMF favored plant growth. In the control plants the growth was significantly lower ($p \leq 0.01$) than in the plants treated with AMF and nematicide.

The plants with higher height were the ones inoculated with *F. geosporum* and *C. claroideum*, these treatments presented the same effect as nematicide and registered

La capacidad de los AMF para reducir el daño y la reproducción de nematodos endoparásitos (Lax *et al.*, 2011; Herrera-Parra *et al.*, 2014; Tchabi *et al.*, 2019), está asociado con la competencia que se establece entre organismos por fuentes de carbono, espacios y sitios de infección, ya que se trata de organismos con las mismas necesidades fisiológicas y luchan por establecerse en el mismo sitio donde obtienen recursos para su alimentación (Vos *et al.*, 2014; Schouteden *et al.*, 2015). También está relacionado con la producción de exudados radicales, como fenoles, flavonoides y ácidos orgánicos (Hage-Ahmed *et al.*, 2013); que desorientan al J₂ del nematodo e impiden su penetración y permiten la simbiosis funcional entre plantas y AMF, lo que permite la activación del sistema de defensa de los hospederos (Cervantes-Gómez *et al.*, 2015). Esta acción prepara a la planta y permite una respuesta de defensa también contra patógenos foliares (Pérez-Ortega *et al.*, 2015, Reyes-Tena *et al.*, 2016).

Efecto de AMF en el crecimiento de *C. annuum*

La disminución de los daños en las raíces y reducción de la reproducción del nematodo por los AMF favoreció el crecimiento de las plantas. En las plantas control el crecimiento fue significativamente menor ($p \leq 0.01$) que en las plantas tratadas con los AMF y el nematicida.

Las plantas con mayor altura fueron las inoculadas con *F. geosporum* y *C. claroideum*, estos tratamientos presentaron el mismo efecto que el nematicida y registraron plantas

Table 2.
Reproduction variables of *M. incognita* estimated 50 days after inoculation with the nematode in sweet pepper (*C. annuum*).

Tabla 2.
Variables de reproducción de *M. incognita* estimadas a los 50 días posteriores a la inoculación con el nematodo en plantas de chile dulce (*C. annuum*).

Treatments	Galling index (%)	Number of eggs per g of root	Number of females per g of root
<i>F. geosporum</i>	15.50 ± 5.27 ^b	155.20 ± 17.40 ^b	24.00 ± 2.30 ^b
<i>C. claroideum</i>	32.00 ± 9.66 ^{ab}	344.20 ± 30.54 ^a	37.40 ± 4.35 ^{ab}
<i>G. ambisporum</i>	10.50 ± 6.45 ^b	163.20 ± 20.50 ^b	25.70 ± 4.00 ^b
Nematicide	30.00 ± 10.32 ^{ab}	44.40 ± 3.20 ^b	18.40 ± 1.89 ^b
Control	51.60 ± 37.24 ^a	408.30 ± 282.54 ^a	60.80 ± 41.97 ^a
LSD	23.12	162.24	24.15

The table shows averages ± standard deviation. n = 15. LSD = Least significant difference. Equal letters within the same column are statistically equal (Tukey, $p \leq 0.05$).

La tabla muestra promedios ± desviación estándar. n = 15. DMS = diferencia mínima significativa. Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

plants 75 % higher than control ones (Table 3). Similar reports showed height increases of *C. annuum* cv plants. Cacho de Cabra with the inoculation of *C. claroideum* (Castillo *et al.*, 2009) and in the Jalapeño, Serrano and De árbol cultivars, with the inoculation of *Glomus spp.* and *R. intraradices* significantly favored the growth in height, in relation to the control plants (González-Mendoza *et al.*, 2015). The functional interaction between AMF and plants increases the production of gibberellins and cytokines (Alonso-Contreras *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2016), reduces abiotic stress and nematode damage (Baum *et al.*, 2015). Factors that favor the growth of plants still parasitized by these phyto-parasites.

The highest number of flower buds was presented in the plants inoculated with the AMF and the nematicide, on average they ranged from 8 ± 0.78 to 11 ± 0.87 , the control plants did not emit flower buds (Table 3). This response was associated to the capacity that the AMF have to translocate nutrients such as N, P, K, Ca, Cu, Mg, Zn, Fe (Nana *et al.*, 2015; He *et al.*, 2017) which favors better nutrition, growth and emission of flower buds, e.g. studies with *G. caledonium* and *R. intraradices* in *C. annuum* promoted greater emission of flowers, associated with better contents of P and Zn (Ortas *et al.*, 2011). In species such as *Heliconia stricta*, inoculation of *Rhizophagus intraradices* and Zac 29 strain increased the number of buds and flowers, improved nutritional status and photosynthetic activity (Uc-Ku *et al.*, 2019).

A significant increase was registered ($p \leq 0.01$) of dry aerial biomass with the nematicide ($2.69 \text{ g} \pm 0.45$) and *F. geosporum* ($2.20 \text{ g} \pm 0.30$), with the rest of the AMF, increases higher than the control were registered up to 95 % (Table 3). This response has been observed in crops inoculated with AMF (González-Mendoza *et al.*, 2015; Zayed *et al.*, 2017; Uc-Ku *et al.*, 2019) in which changes in photosynthetic activity are reported to favor CO₂ fixation, capture efficiency and P translocation, which is reflected in greater growth, foliar expansion and biomass production.

With *C. claroideum* and *G. ambisporum* the plants had 21 % longer roots than those treated with the nematicide and 75 % than those of the control. The roots with the highest fresh weight ($p \leq 0.01$) were achieved with the nematicide (5.86 ± 1.80) and with *F. geosporum* (5.03 ± 1.53). With the rest

un 75 % más altas que las del control (Tabla 3). Reportes similares mostraron incrementos de altura de plantas de *C. annuum* cv. Cacho de Cabra con la inoculación de *C. claroideum* (Castillo *et al.*, 2009) y en los cultivares Jalapeño, Serrano y De árbol, con la inoculación de *Glomus spp.* y *R. intraradices* favorecieron significativamente el crecimiento en altura, en relación a las plantas control (González-Mendoza *et al.*, 2015). La interacción funcional entre los AMF y las plantas incrementan la producción de giberelinas y citocinas (Alonso-Contreras *et al.*, 2013; Pereira *et al.*, 2016), reducen el estrés abiótico y los daños por el nematodo (Baum *et al.*, 2015). Factores que favorecen el crecimiento de las plantas aun parasitadas por estos fitoparásitos.

El mayor número de botón floral se presentó en las plantas inoculadas con los AMF y el nematicida, en promedio oscilaron de 8 ± 0.78 a 11 ± 0.87 , las plantas control no emitieron botones florales (Tabla 3). Esta respuesta se asoció a la capacidad que tienen los AMF para translocar nutrimentos como N, P, K, Ca, Cu, Mg, Zn, Fe (Nana *et al.*, 2015; He *et al.*, 2017) lo que favorece mejor nutrición, crecimiento y emisión de botones florales, e.g. estudios con *G. caledonium* y *R. intraradices* en *C. annuum* promovieron mayor emisión de flores, asociado con mejores contenidos de P y Zn (Ortas *et al.*, 2011). En especies como *Heliconia stricta*, la inoculación la de *Rhizophagus intraradices* y la cepa Zac 29 aumentaron el número de brotes y flores, mejoraron el estado nutricional y la actividad fotosintética (Uc-Ku *et al.*, 2019).

Se registró un incremento significativo ($p \leq 0.01$) de biomasa aérea seca con el nematicida ($2.69 \pm 0.45 \text{ g}$) y *F. geosporum* ($2.20 \pm 0.30 \text{ g}$), con el resto de los AMF se registraron incrementos superiores al control de hasta un 95 % (Tabla 3). Esta respuesta se ha observado en cultivos inoculados con AMF (González-Mendoza *et al.*, 2015; Zayed *et al.*, 2017; Uc-Ku *et al.*, 2019) en los que se reportan cambios de la actividad fotosintética para favorecer la fijación de CO₂, la eficiencia de captación y translocación de P, lo que se refleja en mayor crecimiento, expansión foliar y producción de biomasa.

Con *C. claroideum* y *G. ambisporum* las plantas tuvieron un 21 % de raíces más largas que las tratadas con el nematicida y un 75 % que las del control. Las raíces con mayor peso fresco ($p \leq 0.01$) se lograron con el nematicida (5.86 ± 1.80) y con *F. geosporum* (5.03 ± 1.53). Con el resto de los AMF se incrementó hasta un 88 % en relación a las plantas control. El

of the AMF it increased up to 88 % in relation to the control plants. The largest volume of roots was estimated with the nematicide ($8.70 \pm 1.56 \text{ cm}^3$) and a significant increase (95 %) in root size with the incorporation of the AMF in relation to those of the control (Table 3). The highest percentage of mycorrhizal colonization was estimated with *G. ambisporum* (68.83 %). With *C. claroideum* and *F. geosporum* the roots had 42.98 %. The plants treated with the nematicide and those of the control presented a 6.36 % of colonization, which could be due to spores introduced by air currents.

The results obtained in this study showed that with native species of AMF as a biological resource, it can be used to

mayor volumen de raíces se estimó con el nematocida ($8.70 \pm 1.56 \text{ cm}^3$) y un incremento significativo (95 %) en tamaño de las raíces con la incorporación de los AMF en relación a las del control (Tabla 3). El mayor porcentaje de colonización micorrízica se estimó con *G. ambisporum* (68.83 %). Con *C. claroideum* y *F. geosporum* las raíces tuvieron un 42.98 %. Las plantas tratadas con el nematocida y las del control presentaron un 6.36 % de colonización, que pudo deberse a esporas introducidas por las corrientes de aire.

Los resultados obtenidos en este estudio mostraron que con especies nativas de AMF como recurso biológico, puede emplearse para disminuir el estrés biótico que inducen

Table 3.
Sweet pepper (*C. annuum*) growth mycorrhizae and its response to *M. incognita*

Tabla 3.
Crecimiento de chile dulce (*C. annuum*) micorrizado y su respuesta a *M. incognita*

Treatments	Plant height (cm)	Floral button number	Dry aerial biomass (g)	Root length (cm)	Fresh root weight (g)	Root volume (cm ³)
<i>F. geosporum</i>	24.30 ± 2.45 ^a	8.00 ± 0.78 ^b	2.20 ± 0.30 ^{ab}	19.35 ± 3.18 ^b	5.03 ± 1.53 ^{ab}	5.80 ± 2.14 ^b
<i>C. claroideum</i>	21.00 ± 3.68 ^{ab}	12.00 ± 0.87 ^a	1.76 ± 0.51 ^b	25.25 ± 0.75 ^a	3.74 ± 0.19 ^{bc}	4.40 ± 1.50 ^{bc}
<i>G. ambisporum</i>	19.40 ± 1.83 ^b	11.00 ± 1.08 ^a	1.82 ± 0.42 ^b	23.55 ± 1.75 ^a	3.37 ± 0.62 ^c	2.80 ± 1.03 ^c
Nematicide	22.40 ± 2.06 ^{ab}	11.00 ± 0.87 ^a	2.69 ± 0.45 ^a	19.95 ± 1.72 ^b	5.86 ± 1.80 ^a	8.70 ± 1.56 ^a
Control	5.90 ± 4.20 ^c	--	0.09 ± 0.08 ^c	6.20 ± 4.30 ^c	0.44 ± 0.44 ^d	0.25 ± 0.23 ^d
LSD	3.80	1.03	0.49	3.37	1.42	1.83

The table shows averages ± standard deviation. n = 15. LSD = Least significant difference. Equal letters within the same column are statistically equal (Tukey, $p \leq 0.05$).

La tabla muestra promedios ± desviación estándar. n=15. LSD = diferencia mínima significativa. Letras iguales dentro de misma columna son estadísticamente iguales (Tukey, $p \leq 0.05$).

reduce the biotic stress induced by root pathogens such as *M. incognita* and to favor the growth of *C. annuum* in the study conditions evaluated.

patógenos de raíz como *M. incognita* y favorecer el crecimiento de *C. annuum* en las condiciones de estudio evaluadas.

Conclusion

The greatest growth in the initial stage was obtained with *C. claroideum* and *G. ambisporum* and their ability to promote growth was greater than that obtained with seedlings treated with 100 % chemical fertilization and control plants. AMF colonized the roots in the initial growth stage of *C. annuum*. The best biocontrol of the nematode was obtained with the inoculation of *F. geosporum* and

Conclusión

El mayor crecimiento en la etapa inicial se obtuvo con *C. claroideum* y *G. ambisporum* y su capacidad para favorecer el crecimiento fue mayor a la obtenida con las plántulas tratadas con la fertilización química al 100 % y las plantas control. Los AMF colonizaron las raíces en la etapa inicial de crecimiento de *C. annuum*. El mejor biocontrol del nematodo se obtuvo con la inoculación de *F. geosporum* y *G. ambisporum*. Los AMF muestran

G. ambisporum. The AMF show potential as microbial agents to favor the growth in the initial stage of *C. annuum* and as biocontrol agents of *M. incognita* in the study conditions evaluated.

potencial como agentes microbianos para favorecer el crecimiento en etapa inicial de *C. annuum* y como agentes de biocontrol de *M. incognita* en las condiciones de estudio evaluadas.

References

- Avio, L., Sbrana, C., Giovannetti, M. and Frassinetti, S. (2017). Arbuscular mycorrhizal fungi affect total phenolics content and antioxidant activity in leaves of oak leaf lettuce varieties. *Horticulturae*, 224: 265-271. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2017.06.022>
- Alvarado-Carrillo, M., Díaz-Franco, A. and Peña del Río, Ma. De los A. (2014). Productividad de tomate mediante micorriza arbuscular en agricultura protegida. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 15(3): 513-518. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342014000300014
- Alonso-Contreras, R., Aguilera-Gómez, L. I., Rubí-Arreaga, M., González-Huerta, A., Olalde-Portugal, V. and Rivas-Manzano, V. (2013). Influencia de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y desarrollo de *Capsicum annuum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 4 (1): 77-88. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v4n1/v4n1a6.pdf>
- Ayoub, M.S. (1980). Plant nematology an agricultural training aid. Department of food and agriculture division of plant industry laboratory services nematology. California. Sacramento, USA, p. 157.
- Bartlem, D. G., Jones, M. G. K. and Hammes, U. Z. (2014). Vascularization and nutrient delivery at root-knot nematodes feeding sites in host roots. *Journal of Experimental Botany*, 65 (7): 1789-1798. <https://doi.org/10.1093/jxb/ert415>
- Baum, C., El-Tohamy, W. and Gruda, N. (2015). Increasing the productivity and product quality of vegetable crops using arbuscular mycorrhizal fungi: a review. *Scientia Horticulturae*, 187:131-141. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.03.002>
- Bárzana, G., Aroca, R., Bienert, G. P., Chaumont, F. and Ruiz-Lozano, J. M. (2014). New insights into the regulation of aquaporins by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in maize plants under drought stress and possible implications for plant performance. *Molecular Plant Microbe Interactions*, 27(4): 349-363. <https://doi.org/10.1094/MPMI-09-13-0268-R>
- Bazghaleh, N., Hamel, C., Gan, Y., Taran, B. and Knight, J. D. (2018). Genotypic variations in the responses of chickpea to arbuscular mycorrhizal and non mycorrhizal fungal endophytes. *Canadian Journal of Microbiology*, 64 (4): 256-275. <https://doi.org/10.1139/cjm-2017-0521>
- Bona, E., Sacarafoni, A., Marsano, F., Boatti, L., Copetta, A., Massa, N., Gamalero, E., D'Agostino, G., Cavaletto, M. and Berta, G. (2016). Arbuscular mycorrhizal symbiosis affects the grain proteome of *Zea mays*: a field study. *Scientific Reports*, 6: 26439. <https://doi.org/10.1038/srep26439>
- Castillo, R. C., Sotomayor, S. L., Ortíz, O. C., Leonelli, C. G., Borie, B. F. and Rubio H. R. (2009). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on an ecological crop or chili peppers (*Capsicum annuum* L.). *Chilean Journal of Agricultural Research*, 69 (1): 79-87. <https://doi.org/10.4067/S0718-58392009000100010>
- Cervantes-Gámez, R. G., Bueno-Ibarra, M. A., Cruz-Mendivil, A., Calderón-Vázquez, C. L., Ramírez-Douriet, C. M., Maldonado-Mendoza, I. E., Villalobos-López, M. A., Valdez-Ortiz, A. and López-Meyer, M. (2015). Arbuscular mycorrhizal symbiosis-induced expression changes in *Solanum lycopersicum* leaves revealed by RNA-seq analysis. *Plant Mol. Biol. Rep.*, 34, 89–102. <https://doi.org/10.1007/s11105-015-0903-9>
- Cofcewicz, E. T., Medeiros, C. A. B., Carneiro, R. M. D. G. and Pierobom, C. R. (2001). Interação dos fungos micorrízicos arbusculares *Glomus etunicatum* e *Gigaspora margarita* e o nematóide das galhas *Meloidogyne javanica* em tomateiro. *Fitopatologia Brasileira*, 26 (1): 65-70. <https://doi.org/10.1590/S0100-41582001000100011>
- Díaz-Garrido, S., Bautista, F., Delgado, C. and Castillo-González, M. (2005). Mapas parcelarios de suelos en Mérida, Yucatán, México. In: Bautista F, Palacio G (eds.) Caracterización y manejo de los suelos de la península de Yucatán. Implicaciones agropecuarias, forestales y ambientales. Universidad Autónoma de Campeche, Instituto Nacional de Ecología, Mérida, 145–158.

- Da Silva Campos, M. A., Da Silva, S. F. B., Yano- Melo, A. M., De Melo, N. F. and Maia, L. C. (2017). Application of arbuscular mycorrhizal fungi during the acclimatization of *Alpinia purpurata* to induce tolerance to *Meloidogyne arenaria*. *The Plant Pathology Journal*, 33(3): 329–336. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.04.2016.0094>
- Erdoğan, Ç., Demirel, D. M., Ekinçalp A., Sensoy, S. and Demir, S. (2017). Variations in response of determinate common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) genotypes to arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) inoculation, *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 4:1-9 <https://doi:10.3906/tar-1609-68>
- Estrada-Luna, A. A. & Davies, Jr. F. T. (2003). Arbuscular mycorrhizal fungi influence water relations, gas exchange abscisic acid and growth of micropropagated chile ancho pepper (*Capsicum annuum*) plantlets during acclimatization and post-acclimatization. *Journal of Plant Physiology*. 160 (9): 1073-1083. <https://doi.org/10.1078/0176-1617-00989>
- Flores Guido, J., S. & Espejel Carbajal, M. I. (1994). Tipos de vegetación de la península de Yucatán. Fascículo 3. Etnoflora Yucatanense. Facultad de Medicina Veterinaria y Zootecnia. Universidad Autónoma de Yucatán. Mérida.
- García Amaro, E. (1973). Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- González-Mendoza, D., García-López, A., Ceceña-Duran, C., Grimaldo-Juárez, O., Avilés-Marín, M., Pérez-Luna, Y. and Álvarez-Gutiérrez, P. (2015). Hongos micorrízicos arbusculares y sus efectos en el crecimiento de diferentes cultivares de *Capsicum annuum* L. *Phyton*, 84:345-350. http://www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar/vol84-2/Gonzalez_Mendoza.pdf
- Gerdemann, J. & Nicholson, T. (1963). Spores of mycorrhizal endogene species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological Society*, 46: 235-244. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0).
- He, L., Li, C. & Liu, R. (2017). Indirect interactions between arbuscular mycorrhizal fungi and *Spodoptera exigua* alter photosynthesis and plant endogenous hormones. *Mycorrhiza*, 27:1-11. <https://doi.org/10.1007/s00572-017-0771-2>
- Hage-Ahmed, K., Moyses, A., Voglgruber, A., Hadacek, F. and Steinkellner, S. (2013). Alterations in root exudation of intercropped tomato mediated by the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus mosseae* and the soilborne pathogen *Fusarium oxysporum* f.sp. *lycopersici*. *J. Phytopathol.*, 161, 763–773. <https://doi.org/10.1111/jph.12130>
- Herrera-Parra, E., Lozano-Contreras, M. G., Santamaría-Basulto, F., Cristóbal-Alejo, J., Cabrera-H. A. J. and Marbán-Mendoza, N. (2014). Inoculantes micorrízicos para el control de *Rotylenchulus reniformis* (Tylenchida: Hoplolaimidae) en *Carica papaya* cv. Maradol. *Nematropica*, 44: 218-227.
- Herrera-Parra, E., Cristóbal-Alejo, J., Tun-Suárez, J. M., Góngora-Jiménez, J. A. and Lomas-Barrié, T. C. (2011). Nematofauna nociva (*Meloidogyne* spp.) en cultivos hortícolas tropicales: distribución y perspectivas de manejo en Yucatán. En: Recursos genéticos microbianos de la zona golfo sur-sureste de México. SUBNARGEN. Edit. Morevalladolid S de R. L. de C. V. 125-136.
- Jiménez, J. J., Ramírez, M., Petit, B., Colmenares, C. and Parra, I. (2017). Efecto de hongos micorrízicos arbusculares y estiércol de bovinos en el crecimiento inicial y pigmentación en *Capsicum frutescens* L. *Bioagro*, 29(2):137-144. <https://www.redalyc.org/pdf/857/85751092008.pdf>
- Jin, L., Wang, Q., Wang, Q. Wang, X. and Gange, C. A. (2017). Mycorrhizal-induced growth depression in plants. *Symbiosis*, 72:81-88. <https://doi.org/10.1007/s13199-016-0444-5>
- Ju-Kyeong, E. & Ahn-Heum, E. 2009. Differential growth response of various crop species arbuscular mycorrhizal inoculation. *Mycobiology*, 31(1):72-76. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3749461/pdf/mb-37-72.pdf>
- Khalid, M. E., Ahmed, S. El-Din. and Abdallah, M. E. (2016). The impact of arbuscular mycorrhizal fungi in mitigating salt-induced adverse effect in sweet basil (*Ocimum basilicum* L.). *Saudi Journal of Biological Sciences*, 24 (1):170-179. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2016.02.010>
- Lehman, A. & Rilling, C. M. (2015). Arbuscular mycorrhizal contribution to copper, manganese and iron nutrient concentrations in crops-A meta-analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 81: 147-158. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2014.11.013>
- Lara-Pérez, L., Noa-Carrazana, J. C., Landa-López, A. de J., Hernández-González, S., Oros-Ortega, I. and Andrade-Torres, A. (2014). Colonización y estructura de la comunidad de hongos micorrízicos arbusculares en *Alsophila firma* (Cyatheaceae) en bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*, 62(2):1609-1632. <https://doi:10.15517/rbt.v62i4.13324>

- Lax, P., Becerra G. A., Soteras, F., Cabello, M. and Doucet, M. E. (2011). Effect of the arbuscular mycorrhizal fungus *Glomus intraradices* on the false root-knot nematode *Nacobbus aberrans* in tomato plants. *Biology and Fertility of Soils*, 47: 591-597. <https://doi.org/10.1007/s00374-010-0514-4>
- López-Gómez, B. F., Alarcón, A., Quintero-Lizaola, R. and Lara-Herrera A. (2015). Selección de cepas de hongos micorrízicos arbusculares en dos sistemas de producción de chile. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 6(6): 1203-1214. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-09342015000600005
- McGonigle, T. P., Miller, M. H., Evans, D. G., Fairchild, G. L. and Swan, J. A. (1990). A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular arbuscular mycorrhizal. *New Phytol*, 115:495-501. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1990.tb00476.x>
- Macías-Rodríguez, H., Muñoz-Villalobos, J. A., Velásquez-Valle, M. A., Potisek-Talavera, M. C. and Villa-Castorena, M. M. (2013). Chile Habanero: Descripción de su cultivo en la península de Yucatán. *Revista Chapingo Serie Zonas Áridas*. 12 (2): 37-43. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=455545057001>
- Nana, W. L., Pokaa, N. A., Fokom, R., Nguemezi, T. S., Mangaptche, L. E., Eke, P., Kuate, J. and Etoa, F. X. (2015). Effect of nitrogen levels and arbuscular mycorrhizal fungi on biomass production, mineral nutrition, sugar and total phenolic content of two *Zea mays* cultivars. *American Journal of Experimental Agriculture*, 9 (1): 1-11. <https://doi.org/10.9734/AJEA/2015/18088>
- Ortas, I., Sari, N., Akpınar, C. and Yetisir, H. (2011). Screening mycorrhiza species for plant growth, P and Zn uptake in pepper seedling grown under greenhouse conditions. *Scientia Horticulturae*, 128 (2): 92-98. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.12.014>
- Pérez-Castañeda, L., Castañón-Nájera, G. Ramírez-Meraz, M. and Mayek-Pérez, N. (2015). Avances y perspectivas sobre el estudio del origen y la diversidad genética de *Capsicum* spp. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 2 (4): 117-128. http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-90282015000100009
- Pérez-Ortega, E., de la Noval, B., Martínez-Coca, B., Torres-de la Noval., Medina-Carmona, A., Hernández, A. and León, O. (2015). Inducción de mecanismos de defensa en plantas de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) micorrizadas frente al ataque de *Oidiopsis taurica* (Lev.) Salm. *Cultivos Tropicales*, 36 (1):98-106. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362015000100013
- Phillips, G. M. & Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions British Mycological Society*, 55 (1):158-161. [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
- Pereira, J. A. P., Vieira, C., Freitas, M. S. M., Prins, C. L., Martins, M. A. and Rodrigues, R. (2016). Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on *Capsicum* spp. *Journal of Agricultural Science*, 154 (5), 828-894. <https://doi.org/10.1017/S0021859615000714>
- Raghavendra, K. M., Ashwin, R. and Bagyaraj, D. J. (2016). Screening arbuscular Mycorrhizal fungi in order to select the best for alleviating wilt disease complex of *Capsicum*. *Proceeding of the National Academy of Sciences, India Section B: Biological Science*, 88 (2):679-684. <https://doi.org/10.1007/s40011-016-0804-1>
- Rosheim, M. L. (2016). Plant genotype influences mycorrhiza benefits and susceptibility to a soil pathogen. *The American Midland Naturalist*, 175 (1): 103-102. <https://doi.org/10.1674/amid-175-01-103-112.1>
- Reyes-Tena, A., Quiñone-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G. and López-Pérez, L. (2016). Mycorrhizae in *Capsicum annuum* L. To promote growth and biosecurity against *Phytophthora capsici* L. *Revista Mexicana de Ciencia Agrícolas*, 4(16):857-870. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7n4/2007-0934-remexca-7-04-00857-en.pdf>
- Schouteden, N., De Waele, D., Panis, B. and Vos, C. M. (2015). Arbuscular mycorrhizal fungi for the biocontrol of plant-parasitic nematodes: A review of the mechanisms involved. *Frontiers in Microbiology*, 6: 1280. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.01280>
- Sieverding, E. (1991). Vesicular–arbuscular mycorrhizal management in tropical agrosystems. Technical Cooperation, Federal Republic of Germany.
- Schenck, N. C. & Pérez, Y. (1990). Manual for the identification of VA mycorrhizal fungi, 3rd ed. Synergistic, Gainesville.
- Schüßler, A. & Walker, C. (2010). The Glomeromycota. A species list with new families and new genera. The Royal Botanic Garden Kew, Kew. www.amf-phlogeny.com

- Servicio de información agroalimentaria y pesca [SIAP]. (2015). Secretaría de Agricultura Ganadería Desarrollo Rural Pesca y Alimentación. México. <http://infosiap.siap.gob.mx/>
- Taylor, A. & Sasser J. N.. (1983). Biología, Identificación y control de los nematodos de nódulo de la raíz (especies de *Meloidogyne*). p. 89-95. Proyecto Internacional de *Meloidogyne*. Departamento de Fitopatología. Universidad del Estado de Carolina del Norte, Raleigh, EEUU.
- Tchabi, A., Mawuko, S. B., Agboka, K., Kodjo, T. A. and Penouskou, E. (2019). Screening for native arbuscular mycorrhizal fungi to promote *Solanum macrocarpum* l. yield and *Meloidogyne* spp. suppression in the field conditions. *Journal of Pharmaceutical, Chemical and Biological Sciences*, 6(4). 282-291. <https://www.jpCBS.info>
- Uc-Ku, A. G., Arreola-Enríquez, J., Carrillo-Ávila, E., Osnaya-González, Ma. M., Alarcón, A., Ferrera-Cerrato, R. and Landeros-Sánchez, C. (2019). Inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de Heliconia. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 10 (5): 1057-1069. <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.1608>
- Vos, C. M., Yang, Y., de Coninck, B. and Cammune, B. P. A. (2014). Fungal (-like) biocontrol organisms in tomato disease control. *Biological Control*, 74: 65-81. <https://doi.org/10.1016/j.biocontrol.2014.04.004>
- West Virginia University. (2020). *International culture collection of (vesicular) arbuscular mycorrhizal fungi*. Recuperado 21 de enero 2021, <https://invam.wvu.edu/>
- Xie, H., Yan, D., Mao, L., Wang, Q., Li, Y., Ouyang, C., Guo, M. and Cao, A. (2015). Evaluation of methyl bromide alternatives efficacy against soil-borne pathogens, nematodes and soil microbial community. *Plos One*, 10 (2): e0117980. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0117980>
- Zayed, M. S., El-Moneim, H. G. A., Mohammed, S. H. and Ali, A. W. M. I. (2017). Role of endomycorrhizae and *Pseudomonas fluorescens* on the acclimation of micropropagated *Stevia rebaudiana* Bert. plantlets. *African Journal of Plant Science*, 11(3): 38-47. <https://doi.org/10.5897/AJPS2016.1494>