SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MEXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

EFECTO DE LAS MICORRIZAS EN EL DESARROLLO DE *Capsicum chinense*, Y EN LAS INTERACCIONES MULTITRÓFICAS EN *Bemisia tabaci* Y *Encarsia formosa.*

TESIS

Que presenta:

Jesús Román Patrón Castro

Como requisito parcial para

Obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez

Conkal, Yucatán, México

Enero, 2019

TecNM

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México, 31 de enero del 2019

El comité de tesis del candidato a grado: Jesús Román Patrón Castro, constituido por los CC. Dr. Horacio Salomón Ballina Gómez, Dra. Alejandra del Socorro González Moreno y Dr. Esaú Ruíz Sánchez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **EFECTO DE LAS MICORRIZAS EN EL DESARROLLO DE *Capsicum chinense*, Y EN LAS INTERACCIONES MULTITRÓFICAS EN *Bemisia tabaci* Y *Encarsia formosa*,** que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias, según lo establece el Capítulo 2, inciso 2.13.3, de los Lineamientos para la Operación de los Estudios de Posgrado en el Sistema Nacional de Institutos Tecnológicos, dictaminaron su aprobación para que pueda ser presentada en el examen de grado correspondiente.

ATENTAMENTE

Dr. Horacio Salomón. Ballina Gómez

Director de Tesis

Dra. Alejandra del Socorro González Moreno

Asesor de Tesis

Dr. Esaú Ruíz Sánchez

Asesor de Tesis

Conkal, Yucatán a 31 de enero de 2019

DECLARATORIA DE PROPIEDAD

Declaro que la información contenida en las secciones de materiales y métodos, resultados y discusión de este documento, es producto del trabajo de investigación realizado durante mi estudio de posgrado y con base en los términos de la Ley Federal del Derecho de Autor y la Ley de la Propiedad Industrial le pertenece patrimonialmente al Instituto Tecnológico de Conkal. En virtud de lo manifestado reconozco que los productos intelectuales o desarrollos tecnológicos que se deriven de lo correspondiente a dicha información son propiedad de la citada institución educativa.

Jesús Román Patrón Castro

AGRADECIMIENTO

Al **Instituto Tecnológico de Conkal**

A **CONACYT** por el apoyo económico que me brido, para poder estudiar una maestría en el Instituto Tecnológico de conkal.

Al **Dr. Horacio S. Ballina Gómez,** por haberme permitido trabajar con él y dirigir la tesis y por el conocimiento aprendiendo cosas nuevas durante todo el trascurso de la maestría.

Al **Dr. Esaú Ruíz Sánchez**, por la dedicación y por sus aportaciones en el trabajo de investigación.

A la **Dra. Alejandra González Moreno**, por cada una de sus palabras, aportaciones en la tesis y por su tiempo dedicado.

A mis maestros que me compartieron su conocimiento.

A mis compañeros de generación por todo lo vivido y lo aprendido durante estos dos años.

DEDICATORIAS

Mi tesis la dedico a las siguientes personas con mucho cariño.

A Dios por haberme dado vida, salud y de regalarme una familia maravillosa.

A mi hermosa esposa que sin duda fue un gran apoyo dúrate todo este tiempo que ha estado en las buenas pero sobre todo en los malos momentos brindándome su apoyo incondicional a cada momento.

A mi bebe hermoso que sin duda ha sido una gran fortaleza en mi vida y gran fuente de superación sin duda llegaste en el mejor momento en nuestras vidas, te amo chiquito hermoso.

Con mucho cariño mis padres que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento. Gracias por todo a mis padres ***Raúl Humberto Patrón y Arjona*** y ***María Fidelina Castro Briceño,*** sobretodo creer en mí, aunque hemos pasado momentos difíciles siempre han estado apoyándome y brindándome todo amor y cariño, por todo esto les agradezco de todo corazón y en que estén conmigo y siempre a mi lado.

A mi hermana ***Ligia Beatriz Patrón Castro*** gracias por estar siempre conmigo y por el apoyo incondicional eres lo máximo, te quiero mucho. Eres la mejor hermana, espero que sepas que eres muy especial para mí, has marcado mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

RESUMEN ix
ABSTRACT x
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL 1
1.1 Introducción 1
1.2 Antecedentes 2
1.3 HIPÓTESIS 6
1.4 Objetivos. 6
1.4.1 Objetivos Generales 6
1.4.2 Objetivos Específicos 6
1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL 7
1.6 Bibliografía 8
2.1 Resumen 12
2.2 Introducción 14
2.3 Materiales y métodos 15
2.3.1 Lugar de estudio 15
2.3.2 Obtención de material vegetal 15
2.3.3 Obtención de suelo y Esterilización de suelo 16
2.3.4 Trasplante 16
2.3.5 Aplicación de riego 16
2.3.6 Colecta de *Bemisia tabaci* 17
2.3.7 Obtención de *Encarsia formosa* 17
2.3.8 Cuantificación de las momias 17
2.3.9 Número de frutos producidos 17
2.3.10 Cuantificación de fenoles foliares totales 18
2.3.11 Tasas de Crecimiento Relativo (RGR). 18
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 20
2.4.1 Efecto de la micorriza *R. irregularis* sobre el crecimiento y la defensa vegetal 20
..... 20
2.4.2 Efecto de la micorriza *R. irregularis* sobre el crecimiento vegetal y su interacción con *Bemisia tabaci* 25
2.4.3 Efecto indirecto de las micorrizas sobre el parasitoidismo de *Encarsia formosa* en *B. tabaci* 26

2.4.4 Efecto de la interacción micorriza – *B. tabaci* y *E. formosa* en el rendimiento de plantas de *C. chinense* 28

2.5 Conclusiones 29

2.6 Literatura citada 30

ÍNDICE DE FIGURAS

Capitulo II

Figura 1. Efecto de las micorrizas en el crecimiento de plantas jóvenes y adultas……..20

Figura 2. Efecto de las micorrizas sobre las tasas de crecimiento relativo (TCR) en *Capsicum chinense* a los 28 y 43 ddt……..……..21

Figura 3. Efecto de las micorrizas sobre las defensas vegetales de *Capsicum chinense*, en plantas jóvenes y adultas……...…24

Figura 4. Efecto de la micorriza *R. irregularis* en el crecimiento en términos de la TCR_{Altura}, $TCR_{Diámetro}$, $TCR_{Biomasa}$, $TCR_{Área\ foliar}$ y Tasa de Producción Foliar (TPF) y su interacción con *B. tabaci* en plantas de *C. chinense* con diferentes fases fenológicas……25

Figura 5. Efecto de las micorrizas sobre el número de parasitoidismo de *E. formosa* en *B. tabaci*; y, el número de huevos y ninfas de *B. tabaci* en plantas de *C. chinense* con diferente estado fenológico…….…….27

ÍNDICE DE CUADROS

Capitulo II

Cuadro 1. Efecto de la interacción entre las micorrizas, *B. tabaci* y *E. formosa* en el rendimiento de plantas de *Capsicum chinense*…….29

RESUMEN

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es originario de Sudamérica, aunque también es ampliamente conocido en el sureste mexicano, donde forma parte de la gastronomía regional. La mayor superficie cultivada se encuentra en el estado de Yucatán, la producción ha sido limitada por *Bemisia tabaci* una de las principales plagas con mayores daños de importancia económica con pérdidas hasta del 90%. Los estudios sobre interacciones inter-específicas entre organismos han involucrado solo dos niveles tróficos. Por tal razón se planteó el objetivo de evaluar las interacciones multitróficas en *C. chinense*, usando como modelo de estudio el chile habanero, la micorriza arbuscular *Rhizophagus irregularis*, la mosquita blanca *Bemisia tabaci* y el parasitoide *Encarsia formosa*. Se utilizó un diseño factorial completamente al azar (2 micorriza × 2 *B. tabaci* × 2 *E. formosa*), tanto en plantas jóvenes como adultas, en ambos casos en plantas de la variedad "Jaguar" con 30 días de germinación. El tratamiento con micorriza se inoculó con una solución de 3 esporas/L. En el caso de las plantas jóvenes, el estudio se realizó en condiciones de invernadero y en las plantas adultas en condiciones de campo. En ambos casos, las plantas se introdujeron dentro de exclusorios de malla antiáfido. En las plantas jóvenes, se introdujeron 50 individuos de *B. tabaci* a los 30 ddt, posteriormente a los 18 días se introdujeron 10 pupas de *E. formosa* por planta. En las plantas adultas, se introdujeron 100 individuos de *B. tabaci* a los 65 días, posteriormente a los 86 días se introdujeron 20 pupas de *E. formosa*. Se realizaron mediciones cada 15 días de crecimiento vegetal y a los 97 días se contabilizó el porcentaje de parasitoidismo de *E. Formosa*. No se observaron diferencias significativas en cuanto a la altura, número de hojas, área foliar y a las tasas de crecimiento relativo entre las plantas control y las inoculadas con micorrizas. Asimismo, en los parámetros de defensa no se encontraron diferencias significativas. En los porcentajes de parasitoidismo si se observaron diferencias significativas, con las plantas con micorrizas presentando menores tasas de parasitoidismo. En general, las micorrizas presentaron efectos positivos para el crecimiento de *C. chinense* y para *B. tabaci*, pero negativos para la parasitoidización de *E. formosa*.

Palabras clave: *esporas, interacciones inter-especificas, insectos fitófagos, inoculación, parasitoides.*

ABSTRACT

Habanero pepper (*Capsicum chinense* Jacq.) is native to South America, although it is also widely known in the Mexican southeast, where it is part of regional cuisine. The largest cultivated area is in the state of Yucatan, production has been limited by *Bemisia tabaci* one of the major pests with major economic damages with losses up to 90%. Studies on inter-specific interactions between organisms have involved only two trophic levels. For this reason, the objective of this study was evaluating multitrophic interactions in *C. chinense* using as a study model the habanero pepper, the arbuscular mycorrhiza *Rhizophagus irregularis*, the whitefly *B. tabaci* and the parasitoid *Encarsia formosa*. A completely random factorial design was used (2 mycorrhizae × 2 *B. tabaci* × 2 *E. formosa*), both in young and adult plants of the variety "Jaguar" with 30 days of germination. The mycorrhiza treatment was inoculated with a solution of 3 spores L^{-1}. In the case of young plants, the study was conducted under greenhouse conditions and in adult plants under field conditions. In both cases, the plants were introduced into anti-aphid mesh exclusions. In young plants, 50 individuals of *B. tabaci* were introduced at 30 dat, after 18 days, 10 pupae of *E. formosa* per plant were introduced. In adult plants, 100 individuals of *B. tabaci* were introduced at 65 days, after 20 days, 20 pupae of *E. formosa* were introduced. Measurements were made every 15 days of plant growth and at 97 days the percentage of *E. formosa* parasitoidism was recorded. No significant differences were observed regarding height, number of leaves, leaf area and relative growth rates between control plants and those inoculated with mycorrhizae. Also, no significant differences were found in the defense parameters. In the percentages of parasitoidism if significant differences were observed, with the plants with mycorrhizae presenting lower rates of parasitoidism. In general, mycorrhizae showed positive effects for the growth of *C. chinense* and for *B. tabaci*, but negative for the parasitoidization of *E. formosa*.

Key words: *spores, inter-específic interactions, phytophagous insects, inoculation, parasitoids.*

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Introducción

México es el país del mundo con la mayor diversidad genética de *Capsicum*; su riqueza genética se debe en gran parte a sus diversos climas y suelos, pero también a las prácticas tradicionales de cultivo que efectúan los pequeños productores utilizando las semillas de los frutos seleccionados de plantas nativas (Latournerie *et al.*, 2002). En México los principales estados productores son: Chihuahua, Sinaloa, Guanajuato, Zacatecas y Sonora. Las variedades que más se cultivan son: jalapeño, serrano, poblano, pimiento morrón y habanero. En el país existen alrededor de 150 000 hectáreas sembradas con más de dos millones de toneladas anuales de chile seco y verde. Esto representa un valor comercial de aproximadamente 13, 224 millones de pesos. México se ubica como el principal exportador de chile verde a escala internacional y es el segundo productor mundial (Agarre y muñoz, 2015).

Actualmente la producción de chile habanero ha sido limitada por una serie de factores entre los que se encuentran la incidencia de plagas y enfermedades (Borges-Gómez *et al*., 2010); de las cuales, la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) es una de las más agresivas al causar daños directos por su alimentación de la savia de la planta, así como daños indirectos por el crecimiento de hongos ("fumaginas"), consecuencia de la excreción de melaza del cuerpo de la mosca blanca (Brown, 1994; Marcano, 2001). Entre los daños más relevantes se encuentran clorosis del tomate y trasmisión del virus del amarillamiento; en más de 1000 cultivos provocan una disminución de la superficie fotosintética y dificulta la evapotranspiración, además de que el adulto de *Bemisia* puede transmitir de forma persistente más de cien especies virales pertenecientes a cuatro géneros: Begomovirus (Geminiviridae), Crinivirus (Closteroviridae), Carlavirus (Betaflexiviridae) e Ipomovirus (Potyviridae) (Marer, 1988).

Una de las estrategias que ha tenido beneficios en la producción agrícola mejorando el rendimiento de las plantas y su resistencia al ataque de plagas y enfermedades es la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) (Kaya *et al.*, 2003). Entre los

beneficios que aporta la simbiosis HMA-planta hospedante, están la promoción del crecimiento y mayor nutrición mineral de la planta (Allen *et al.*, 2001), tolerancia a patógenos del suelo y a condiciones abióticas adversas (Kaya *et al.*, 2003).

Numerosos estudios han demostrado los efectos de las micorrizas sobre el crecimiento y el éxito de las plantas (Barrer, 2009; Ochoa-Meza *et al*., 2011; Smith y Read, 2008; Espinosa *et al*., 2011). La mayoría de los estudios sobre interacciones inter-especificas entre organismos han involucrado solo dos niveles tróficos (Gonzalez-Megias y Müller, 2010; Johnson *et al*., 2011), por lo que el efecto de la inoculación micorrízica en las interacciones multitróficas se desconoce. De tal manera, profundizar en el conocimiento de las interacciones entre los subsistemas edáfico y epigeo abre un abanico de posibilidades para el manejo de las plagas de los cultivos. Por lo que en este trabajo se estudia el modelo: *Rhizophagus irregularis* (Micorriza), *Capsicum chinense* (Planta), *Bemisia tabaci* (Plaga agrícola), *Encarsia formosa* (Parasitoide), con el fin de comprender como funcionan estas interacciones multitróficas en los sistemas de producción agrícola y que garantizan la estabilidad del agrosistema.

1.2 Antecedentes

1.2.1 El chile habanero *Capsicum chinense*.

Ruiz-lau *et al*., (2011) menciona que las especies hortícolas de mayor importancia que se cultivan en el estado de Yucatán se agrupan taxonómicamente en dos familias botánicas: Solanáceas y Cucurbitáceas. Dentro de la familia de las solanáceas se encuentran, como principales cultivos, el tomate y el chile. Este último pertenece al género *Capsicum*. En Yucatán el chile *C. chinense* se encuentra distribuido en toda la Península, donde se observan diferentes formas, colores y tamaños del fruto.

Como cultivo, tiene gran importancia económica ocupando el segundo lugar, después del cultivo del tomate, en cuanto a superficie cultivada. La mayor superficie de cultivo se encuentra en la parte norte del estado, con más de 90 por ciento del volumen de la producción estatal (Ruiz-lau *et al*., 2011; Lopez et al., 2009).

La importancia económica del chile se basa principalmente en la utilización de sus frutos, industria alimentaria, industria farmacéutica. Según datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), el chile es a nivel mundial el quinto producto hortícola, por superficie cultivada. El interés por este cultivo no se centra únicamente en su importancia económica y consumo humano sino que también se ha demostrado que el chile es una fuente excelente de colorantes naturales, minerales y vitaminas A, C y E. (Ruiz-lau *et al*., 2011; Lopez et al., 2009).

1.2.2. Mosquita blanca *Bemisia tabaci.*

Yucatán es el estado de México con la mayor producción de *C. chinense*, la superficie total sembrada con este cultivo ha aumentado progresivamente durante la última década (SIAP, 2011). Sin embargo, los rendimientos de *C. chinense* permanecen bajos y se deben principalmente al efecto negativo de insectos plaga y patógenos. Las principales plagas de los chiles en tierras bajas tropicales de México son la mosca blanca "*Bemisia tabaci"* (Hemiptera: Aleyrodidae), el picudo del chile *Anthonomus eugenii* Cano (Coleoptera: Curculionidae); minadores de hojas del género Liriomyza (Diptera: Agromyzidae), así como algunas especies de ácaros (*Tetranychus* sp., *Polyphagotarsonemus latus*) (Soria-Fregoso *et al*., 1996; Tun-Dzul, 2001). Entre estas plagas, *B. tabaci* es la más dañina porque es un vector de varias especies de Begomovirus (Geminiviridae) (Morales y Anderson, 2001), que causan amarillamiento y deformación en hojas, retraso en el crecimiento de la planta, rendimientos más bajos y deformación de los frutos (Polston y Anderson, 1997).

Bemisia tabaci es un insecto del orden Homóptera, al cual pertenecen otros insectos como los pulgones y las chicharritas o cigarras (SAGARPA, 2006). Es considerada una de las 100 especies más invasoras del mundo los huevos son depositados en la parte de debajo de las hojas y se han citado 600 plantas hospederas, actualmente se distribuye prácticamente en todo el mundo y es vector de más de 100 virus de plantas (Lowe *et al*., 2004).

1.2.3. Importancia del parasitoide *Encarsia formosa*

Durante los últimos 15 años las moscas blancas han pasado de ser plagas secundarias a ser las plagas de mayor importancia en un gran número de cultivos, tanto en campo abierto o bajo invernaderos alrededor del mundo. La gravedad de los daños ocasionados por esta plaga y la dificultad para controlarla han obligado a los investigadores y productores, a grandes esfuerzos en la búsqueda de alternativas para su manejo. El control biológico se presenta como una de las alternativas más promisorias dentro de los programas de manejo integrado (López-Ávila *et al.*, 2001).

De los géneros reportados como parasitoides de las moscas blancas, *Encarsia*, *Eretmocerus* y *Amitus*, son considerados como los más promisorios en los programas de control biológico de *B. tabaci* y son los más estudiados en sus aspectos biológicos e interacciones planta-plaga-parasitoide, siendo por mucho *Encarsia formosa*, la especie mejor conocida y más estudiada (Gordh 1979).

Encarsia formosa es el parasitoide más utilizado a nivel mundial para el control de mosquita blanca, con resultados económicos favorables. En México, la importancia de este parasitoide se realiza desde 1993 incrementándose la demanda anual; en promedio se importan 7´500, 000 individuos por año (Gordh 1979). Este parasitoide es exclusivamente partenogenética produciendo solo hembras como descendencia por lo tanto son uniparentales, aunque algunas veces bajo condiciones de temperatura baja dan lujar a machos (Speyer, 1972).

1.2.4. Influencia de las micorrizas en interacciones tróficas

La interacción entre los componentes de una comunidad microbiana en los sistemas agrícolas puede manifestarse o no en algún atributo morfológico o fisiológico de interés antropocéntrico de la planta huésped. En algunos cultivos anuales y perennes se ha encontrado incremento en los diferentes componentes del rendimiento al inocular juntos hongos micorrizicos (Aguirre-Medina *et al*., 2012).

El término micorriza describe la asociación simbiótica de las raíces de plantas con hifas de hongos especializados del suelo, y se considera el órgano principal involucrado en la captación de nutrientes por la mayoría de las plantas terrestres (Yu, *et al.*, 2001).

Los efectos de las micorrizas sobre el crecimiento vegetal han sido ampliamente establecidos, varios autores han descrito que los hongos micorrízicos promueven la modificación de la arquitectura radical, disminuye del número de lesiones producidas por *Phytophthora capsici*, así como incrementa la actividad de las enzimas peroxidasa (PO) y catalasa (CAT) en el sistema radical de la plántula hospedera, asociadas con la tolerancia a diferentes patógenos (Espinoza-Victoria *et al*., 2004) .

Así mismo, las micorrizas no solo influyen en la planta hospedera, sino también en los diferentes niveles de la cadena trófica. Babikova *et al*. (2014) demostraron que las micorrizas pueden tener efectos en cascada hacia abajo ("top down") o hacia arriba ("bottom up") sobre infestaciones de áfidos en haba (*Vicia faba* L.). También demostraron que el momento de infestación por áfidos con respecto a la colonización por HMA es importante, plantas que fueron colonizadas por HMA antes que los áfidos (inoculación temprana) resultaron ser más del doble de atractivas para los áfidos y las plantas infectadas infestadas con áfidos y sin HMA resultaron ser repelentes para los áfidos.

También se ha demostrado que la inoculación con HMA puede influir en las interacciones tritróficas, afectando no solo a las plagas, sino también a sus enemigos naturales como los parasitoides. Stuart *et al.* (2011) encontraron un mayor número de mosquitas blancas en plantas de tabaco con HMA de dos cepas de hongos de los genotipos *Glomus etunicatum* (cepas de Arizona y Georgia) en comparación con los tratamientos sin inoculación. En cuanto la respuesta del parasitoide con los HMA se observó una diferencia significativa en cuanto a la abundancia de los parasitoides ya que fue mayor el número de parasitoides en los tratamientos con micorrizas. Así mismo se demostró que la utilización de diferentes cepas de HMA puede dar diferencias biológicamente importantes: la etapa ninfal de las mosquitas fue cinco veces menor en las plantas inoculadas con la cepa Arizona en comparación por las plantas que fueron inoculadas con la cepa Georgia. La abundancia de los parasitoides fue cuatro veces mayor en las plantas micorrizadas con cepas del aislado de Georgia en comparación con las plantas control.

1.3 HIPÓTESIS

Los efectos de las micorrizas sobre el crecimiento vegetal han sido ampliamente establecidos, siguiendo esta línea, es muy posible que esta influencia se extienda mucho más allá de la planta; en este contexto, podrían afectar de forma positiva las plagas, pero en forma negativa a los enemigos naturales de estas, ya que las plagas podrían recortar el ciclo de vida y de esa forma escapar de los enemigos naturales. El presente estudio usa el siguiente modelo de estudio: *Rhizophagus irregularis* (Micorriza), *Capsicum chinense* (Planta), *Bemisia tabaci* (Plaga agrícola), *Encarsia formosa* (Parasitoide).

1.4 Objetivos.

1.4.1 Objetivos Generales

Evaluar los efectos de las interacciones multitróficas desencadenadas por la micorriza *Rhizophagus irregularis* sobre *Capsicum chinense*, *Bemisia tabaci* y *Encarsia formosa* a lo largo de la ontogenia vegetal.

1.4.2 Objetivos Específicos

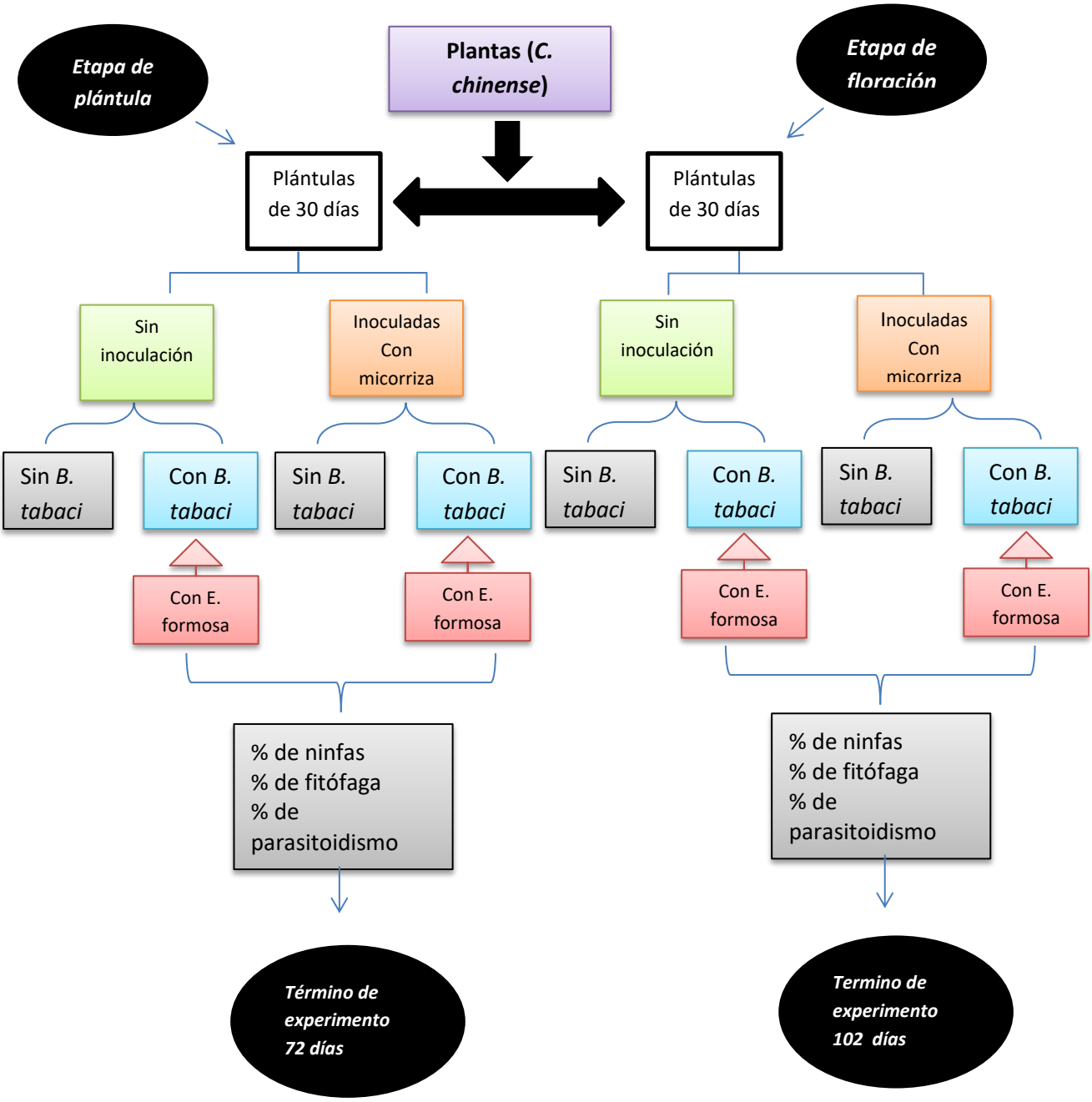
Evaluar la influencia de *Rhizophagus irregularis* sobre el crecimiento de *Capsicum chinense* a lo largo de su ontogenia.

Evaluar el efecto indirecto de *R. irregularis* sobre las poblaciones inmaduras y adultas de *Bemisia tabaci.*

Evaluar el efecto indirecto de *R. irregularis* sobre los porcentajes de parasitoidismo de *Encarsia formosa* sobre *B. tabaci*

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

El presente trabajo se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal ubicado al este del poblado de Conkal y a 16.3 km de la ciudad de Mérida, Yucatán, México.



1.6 Bibliografía

Aguirre, M. J. F.; Aguirre, C. J. F.; Cadena, I. J. y Avendaño, A. C. H. 2012. Biofertilización en plantas de la selva húmeda tropical. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 99 p.

Alarcón, A., Almaraz, S. Ferrera-Cerrato, R., Gonzalez-Chavez, M.A., Lara, H. M., Quintero, M. J. Santamaría, R. S. 2004. Manual: tecnología de hongos micorrizicos en la producción de especies forestales en vivero. En: FerreraCerrato, R., Alarcón, A. Lara H.M. (Eds). Micorrizas Arbusculares. Colegio de Postgraduados. SEMARNAT-PRONARE. México. 98 p.

Allen, B. L., Jolley, V. D., Robbins, C. W., Freeborne, L.L., 2001. Fallow versus wheat cropping of unamended and manure-amended soils related to mycorrizhal colonization, yield and plant nutrition of dry bean and sweet corn. Journal Plant Nutrition 24:921-943.

Babikova Zdenka, Lucy Gilbert, Toby Bruce, Sarah Y. Dewhirst, John A. Pickett and David Johnson. 2014. Arbuscular mycorrhizal fungi and aphids interact by changing host plant quaility and volatile emission. Functional Ecology 28, 375-385.

Barrer, S. E. (2009). El uso de hongos micorrizicos arbusculares como una alternativa para la agricultura. Facultad de Ciencias Agropecuarias, 7(1), 123-132.

Borges Gómez, L., L. Cervantes Cárdenas, J. Ruiz Novelo, M. Soria Fregoso, V. Reyes Oregel y E. Villanueva Couoh. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (Capsicum chinense Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. Terra Latinoamericana. 28:35-41.

Cardona, G., Peña-Venegas, C. P. y Arcos, A. (2008). Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (Capsicum sp.) en la Amazonia colombiana. Agronomía Colombiana, 26(3), 459-470.

Crowder, D. W; Nothfielde, T. D.; Strand, M. R. y Snyder, E. (2010). Organic agriculture promotes evenness and natural pest control. Nature, 466: 109-113.

Espinosa Ramón, Cardenas José, Puig Alfredo, Hernández Ariel. 2011. Utilización de cepas eficientes de hongos micorrizicos arbusculares en el desarrollo de portainjertos de aguacate en un sustrato suelo- cachaza. Departamento de Biofertilizantes y Nutrición de las Plantas. Habana Cuba.

Espinosa-Victoria D, González-Mendoza D, Placencia-de la Parra J, García-Espinosa R.2004. Reducción de la incidencia de phytophthora capsici Leo en el sistema radical de plántulas de chile pre-micorrizadas con Glumus intraradices. TERRA Latinoamericana, 22(2): 317-326.

González Megias, A. y Múller, C. 2010. Root herbivores and detritivores shape above-ground multirop hic assemblage through plant-mediated effects. Journal of Animal Ecology, 79:923-931.

Gordh, g .; Lacey, L. 1976: Estudios biológicos de Plagiomerus diaspidis Crawford, un parásito interno primario de insectos de la escala diaspídida (Hymenoptera: Encyrtidae; Homoptera: Diaspididae). Actas de la Sociedad Entomológica de Washington 78: 132-144.

Kaya, C. Higges, D., Kimak, H. Tas, I. 2003. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (Citrullus lanatus) grown under well-watered and water-stressed conditions. Plant Soil 253:287-292.

Latournerie-Moreno, L., J. L. Chávez-Servia, M. Pérez-Pérez, G. Castaño-Nájera, S. A. Rodríguez-Herrera, L. M. Arias-Reyes y P. Ramírez-Vallejo. 2002. Valoración in situ de la diversidad morfológica de chiles (Capsicum annum L. y Capsicum Chinense Jacq.) en YaxcabÁ, Yucatán. Fitotec. Mex. 25: 25-33.

López-Ávila, A. 1988. A comparative study of four species of Encarsia (Hymenoptera: Aphelinidae) as potential control agents for Bemisia tabaci (Gennadius) (Homóptera: Aleyrodidae). Unpublished Ph.D. Thesis. University of London, 1-302.

López-Ávila, A.; Cardona M., C.; García G., J.; Rendón, F.; Hernández, P. 2001. Reconocimiento e identificación de enemigos naturales de las moscas blancas (Homóptera: Aleyrodidae) en Colombia y Ecuador. Revista Colombiana de Entomología (Colombia) v. 27 no. 3-4 p. 137-141.

López-Puc Guadalupe, Canto-Flick Adriana y Santana-Buzzy Nancy. 2009. El reto biotecnológico del chile habanero. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Revista ciencia. Julio-Septiembre.

Lowe S., Browne M., Boudjelas S., De Poorter M. 2004 100 de las Especies Exóticas Invasoras más dañinas del mundo. Una selección del Global Invasive Species Database. Consultado enero 2019 en http://www.iucngisd.org/gisd/pdf/100Spanish.pdf

Nancy Ruiz-Lau, Fátima Medina Lara y Manuel Martínez Estévez. 2011. El chile habanero su origen y usos. Centro de Investigación Científica de Yucatán, Revista ciencia. Julio- Septiembre.

Marer, P J. 1988 .The safe and effective use of pesticides. Pesticide Application Compendium No. 1. University of California.

Morales, F. J., and P. K. Anderson. 2001. The emergence and dissemination of whitefly-transmitted geminiviruses in Latin America. Virol. 146: 415-441.

Ochoa-Meza Andrés , Noriega-Valenzuela Alba M. , López-Yanez Luis F. , Rodríguez Julio César , Rentería-Martínez María Eugenia , Moreno-Salazar Sergio. 2011. Influencia de la inoculación con hongos micorrizicos arbusculares en el desarrollo y producción de trigo en la costa de Hermosillo, Sonora. Departamento de Agricultura y Ganadería. Universidad de Sonora.

SAGARPA, 2006. Determinación del nivel riesgo fitosanitario para los cultivos de importancia económica en México. Consultado octubre 2016 en http://2006-2012.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Documents/potencialproductivo/especificos/problemas_fitosanitarios_3.pdf

SIAP-SAGARPA (2012) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. www.siap.sag

SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera). 2011. Agricultura, Producción Anual. http://www.siap. sagarpa.gob.mx (consultado marzo 2018.)

Soria-Fregoso, M. J., J. M. Tun-Suarez, R. H. Trejo, y S. R. Terán.1996. Tecnología para la Producción de Hortalizas a Cielo Abierto en la Península de Yucatán. Tercera edición, CIGA-Instituto Tecnológico Agropecuario No. 2. Conkal, México. 430 p.

Smith S.E., Read D.J. 2008. Mycorrhizal symbiosis. 3ra Ed. Academic Press.

Stuart C. Wooley and Timothy D. Paine. 2011, Infection by Mycorrhizal Fungi Increases Natural Enemy Abundance on Tabacco (*Nicotiana rustica*). Environmental Entomology, Entomological Society of America 40(1): 36-41.

Speyer. E. R. 1972. An important parasite of the greenhouse whitefly *trialerurodes vaporariorum*. Bull. Ent. Res. 17:301-308.

Tun-Dzul, J. C. 2001. Chile habanero. Características y tecnología de producción. Folleto técnico. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. México. 74 p

Yu, T. E., Egger, K. N., y Peterson, R. L. (2001). Ectendomycorrhizal associations-characteristics and functions. Mycorrhiza, 11, 167–177.

CAPITULO II. EFECTO DE LAS MICORRIZAS EN EL DESARROLLO DE *Capsicum chinense*, Y EN LAS INTERACCIONES MULTITRÓFICAS EN *Bemisia tabaci* Y *Encarsia formosa.*

2.1 Resumen

El chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.) es originario de Sudamérica, aunque también es ampliamente conocido en el sureste mexicano, donde forma parte de la gastronomía regional. La mayor superficie cultivada se encuentra en el estado de Yucatán, la producción ha sido limitada por *Bemisia tabaci* una de las principales plagas con mayores daños de importancia económica con pérdidas hasta del 90%. Los estudios sobre interacciones inter-específicas entre organismos han involucrado solo dos niveles tróficos. Por tal razón se planteó el objetivo de evaluar las interacciones multitróficas en *C. chinense*, usando como modelo de estudio el chile habanero, la micorriza arbuscular *Rhizophagus irregularis*, la mosquita blanca *B. tabaci* y el parasitoide *Encarsia formosa*. Se utilizó un diseño factorial completamente al azar (2 micorriza × 2 *B. tabaci* × 2 *E. formosa*), tanto en plantas jóvenes como adultas, en ambos casos en plantas de la variedad "Jaguar" con 30 días de germinación. El tratamiento con micorriza se inoculó con una solución de 3 esporas/L. En el caso de las plantas jóvenes, el estudio se realizó en condiciones de invernadero y en las plantas adultas en condiciones de campo. En ambos casos, las plantas se introdujeron dentro de exclusorios de malla antiáfido. En las plantas jóvenes, se introdujeron 50 individuos de *B. tabaci* a los 30 ddt, posteriormente a los 18 días se introdujeron 10 pupas de *E. formosa* por planta. En las plantas adultas, se introdujeron 100 individuos de *B. tabaci* a los 65 días, posteriormente a los 86 días se introdujeron 20 pupas de *E. formosa*. Se realizaron mediciones cada 15 días de crecimiento vegetal y a los 97 días se contabilizó el porcentaje de parasitoidismo de *E. formosa*.

No se observó diferencia significativa en cuanto a la altura, número de hojas, área foliar y a las tasas de crecimiento relativo entre las plantas control y las inoculadas con micorrizas. Asimismo, en los parámetros de defensa no se encontraron diferencias significativas. En los porcentajes de parasitoidismo si se observaron diferencias significativas, con las plantas con micorrizas presentando menores tasas de parasitoidismo.

En general, las micorrizas presentaron efectos positivos para el crecimiento de *C. chinense* y para *B. tabaci*, pero negativos para la parasitoidización de *E. formosa.*

Palabras clave: *esporas, interacciones inter-especificas, insectos fitófagos, inoculación, parasitoides.*

2.2 Introducción

México es el país del mundo con la mayor diversidad genética de *Capsicum*; su riqueza genética se debe en gran parte a sus diversos climas y suelos, pero también a las prácticas tradicionales de cultivo que efectúan los pequeños productores utilizando las semillas de los frutos seleccionados de plantas nativas (Latournerie *et al.*, 2002). En México los principales estados productores son: Chihuahua, Sinaloa, Guanajuato, Zacatecas y Sonora. Las variedades que más se cultivan son: jalapeño, serrano, poblano, pimiento morrón y habanero. En el país existen alrededor de 150 000 hectáreas sembradas con más de dos millones de toneladas anuales de chile seco y verde. Esto representa un valor comercial de aproximadamente 13, 224 millones de pesos. México se ubica como el principal exportador de chile verde a escala internacional y es el segundo productor mundial (Agarre y muñoz, 2015).

Actualmente la producción de chile habanero ha sido limitada por una serie de factores entre los que se encuentran la incidencia de plagas y enfermedades (Borges-Gómez *et al*., 2010); de las cuales, la mosca blanca (*Bemisia tabaci*) es una de las más agresivas al causar daños directos por su alimentación de la savia de la planta, así como daños indirectos por el crecimiento de hongos ("fumaginas"), consecuencia de la excreción de melaza del cuerpo de la mosca blanca (Brown, 1994; Marcano, 2001). Entre los daños se encuentran clorosis del tomate, virus del amarillamiento; en más de 1000 cultivos provocan una disminución de la superficie fotosintética y dificulta la evapotranspiración, además de que el adulto de *Bemisia* puede transmitir de forma persistente más de cien especies virales pertenecientes a cuatro géneros: Begomovirus (Geminiviridae), Crinivirus (Closteroviridae), Carlavirus (Betaflexiviridae) e Ipomovirus (Potyviridae) (Marer, 1988).

Una de las estrategias que ha tenido beneficios en la producción agrícola mejorando el rendimiento de las plantas y su resistencia al ataque de plagas y enfermedades es la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) (Kaya *et al.*, 2003). Entre los beneficios que aporta la simbiosis HMA-planta hospedante, están la promoción del crecimiento y mayor nutrición mineral de la planta (Allen *et al.*, 2001), tolerancia a patógenos del suelo y a condiciones abióticas adversas (Kaya *et al.*, 2003).

Numerosos estudios han demostrado los efectos de las micorrizas sobre el crecimiento y el éxito de las plantas (Barrer, 2009; Ochoa-Meza *et al*., 2011; Smith y Read, 2008; Espinosa *et al*., 2011). La mayoría de los estudios sobre interacciones inter-especificas entre organismos han involucrado solo dos niveles tróficos (Gonzalez-Megias y Müller, 2010; Johnson *et al*., 2011), por lo que el efecto de la inoculación micorrízica en las interacciones multitróficas se desconoce. De tal manera, profundizar en el conocimiento de las interacciones entre los subsistemas edáfico y epigeo abre un abanico de posibilidades para el manejo de las plagas de los cultivos. Por lo que en este trabajo se estudia el modelo: *Rhizophagus irregularis* (Micorriza), *Capsicum chinense* (Planta), *Bemisia tabaci* (Plaga agrícola), *Encarsia formosa* (Parasitoide), con el fin de comprender como funcionan estas interacciones multitróficas en los sistemas de producción agrícola y que garantizan la estabilidad del agrosistema.

2.3 Materiales y métodos

2.3.1 Lugar de estudio

El presente trabajo se realizó en el Instituto Tecnológico de Conkal, ubicado al este del poblado de Conkal y a 16.3 km de la ciudad de Mérida, capital del Estado de Yucatán, México.

2.3.2 Obtención de material vegetal

Se utilizaron plantas de chile habanero variedad “Jaguar” de 30 días de edad después de la germinación a las cuales se les inoculó micorrizas arbusculares del genero *Glomus*, producto comercial (micorrizafer). Para la inoculación de las plantas se utilizó 1.3 gr de micorrizar producto comercial y se diluyo en 6.3 ml de agua destilada por planta, lo que da una concentración de 3 esporas/ml por planta. Se integraron tres tratamientos más el testigo. Testigo (plantas sin micorrizas y sin *Bemisia tabaci*), T1 (plantas sin micorrizas con *Bemisia tabaci y Encarsia formosa*), T2 (plantas con micorrizas sin *Bemisia tabaci* o *Encarsia formosa*), T3 (plantas con micorrizas con *Bemisia tabaci y Encarsia formosa*).

2.3.3 Obtención de suelo y Esterilización de suelo

Se utilizó suelo del área de producción del Instituto Tecnológico de Conkal (ITC) lugar donde se llevó a cabo el experimento, para la cual se sustrajo la cantidad de 250 kg de suelo. Se colocó en costales y se llevó a cabo la esterilizaron por medio de vapor de agua, por un periodo de 3 horas aproximadamente. Se dejó reposar y de esta manera enfriar a temperatura ambiente por un periodo de 24 horas y después de ese tiempo se procedió a la utilización de suelo estéril.

2.3.4 Trasplante

El trasplante se llevó a cabo a los 35 días después de la germinación. Para el trasplante se utilizaron bolsas de polietileno de 4 L, las cuales se llenaron con suelo previamente estéril, para la eliminación de microorganismos no deseados y tener mayor control de los tratamientos. Después de que las bolsas de polietileno se llenaron con el suelo estéril, se realizó la inoculación de micorrizas arbusculares del género *Rhizophagus* a las plantas de chile habanero, y enseguida se humedeció el suelo, se realizó un orificio en él y se introdujo el cepellón de las plantas en cada uno de los tratamientos.

Las plantas trasplantadas se llevaron al sitio de estudio, a cada una de las plantas de chile habanero se le colocó una jaula de 1 metro de altura por 1 metro de ancho la cual fue forrada con malla anti-áfidos para proteger a las plantas de los daños de insectos fitófagos y de insectos herbívoros, así como la reducción de hongos fitófagos y de enfermedades causadas por virus que son trasmitidas por los insectos.

2.3.5 Aplicación de riego

Para la aplicación del riego y fertilización se tomó la recomendación de Soria (2012). Se aplicó la fórmula N50 P25 K100. El riego se aplicó cada segundo día y cada cuatro semanas se aumentaron las dosis de fertilizantes y agua que la planta requirió para su óptimo crecimiento en cada una de sus etapas fenológicas (planta joven, adulta, pre-reproductiva y reproductiva).

2.3.6 Colecta de *Bemisia tabaci*

Una vez que las plantas alcanzaron una altura de 50 cm aproximadamente a los 80 ddt se realizó la liberación *B. tabaci*. Para la obtención de *B. tabaci* se realizaron colectas de adultos en plantación de tomate y chile en las áreas de producción hortícola del instituto. Se liberaron 120 *B. tabaci* dentro de cada jaulas que contuvo una planta en su interior. Los adultos de *B. tabaci* se mantuvieron por un tiempo los 35 días, para asegurar establecimiento de ninfas de tercer instar en las plantas dentro de las jaulas. Las ninfas de tercer instar son altamente susceptibles a *Encarcia formosa*.

2.3.7 Obtención de *Encarsia formosa*

Los parasitoides (*E. formosa)* se obtuvieron de forma comercial de la empresa Koppert Biological Systems® en estado de pupa. Estas se colocaron con las plantas colocadas dentro de las jaulas y con presencia de *B. tabaci*, las cuales fueron previamente ingtroducidas.

2.3.8 Cuantificación de las momias

Para la cuantificación de los porcentajes de parasitoidismo en los diferentes tratamientos, se tomaron dos hojas por planta de las cuales se contabilizó un área de 2 x 2 cm^2 de cada una de las hojas por cada tratamiento. Luego se procedió a la cuantificación del número de ninfas parasitadas y número de ninfas no parasitadas. Una vez que se obtuvieron los datos de la cuantificación de ninfas parasitadas y no parasitadas para cada uno de los tratamientos, se realizaron los cálculos de número total por hoja y después del número total por planta, de esta manera se obtuvo el porcentaje de parasitoidismo en cada uno de los tratamientos en *Capsicum chinense.*

2.3.9 Número de frutos producidos.

Para la cuantificación de frutos por planta, se tomó el número de frutos producidos por planta de chile en cada tratamiento, se pesaron y se les hizo las mediciones cuantitativas como tamaño, largo, diámetro del fruto y del pedúnculo; y, diámetro apical e diámetro. De igual manera se estimó el promedio de la producción por tratamiento y luego se estimó la

producción total. Para la estimación total de la producción por tratamiento y por hectárea, se multiplicó el número total de frutos por el de plantas encontrado en una hectárea de chile.

2.3.10 Cuantificación de fenoles foliares totales

Para la cuantificación de los fenoles foliares, se introdujeron las hojas totales de la planta en la estufa a una temperatura de 55°C por 72 horas, las cuales se tomaron muestras de las plantas en seco, se maceraron las muestras y se utilizó 0.1 gr de muestra por planta, se le agregó 5 mL de metanol al 50%, zonificar la muestra con el metanol por 10 min, con 5 min de descanso y 10 min, centrifugar por 10 min. Se colectó el sobrenadante y a la pastilla se le agregó 2.5 mL de metanol al 50%, se centrifugó de nuevo por 10 min a 3000 rpm. Se colecta de nuevo el sobrenadante y se depositó con el ya obtenido antes.

Se tomó 100µL del sobrenadante de cada muestra y se sacaron 4 repeticiones por muestra a la cual se le adiciono Folin al 50% se dejó reposar por un tiempo de 8 min y después se le agrego 900 µL de agua destilada y de igual manera 2,500 µL de Carbonato al 20% y se dejó reposar por 45 min en la obscuridad. Luego se corrieron las absorbancias de cada una de las muestras para tener los resultados de la cuantificación de los fenoles totales.

2.3.11 Tasas de Crecimiento Relativo (RGR).

Este tipo de tablas explica hasta un 80% de las variaciones en comparación al crecimiento de las plantas. Que es igual a la razón del área foliar (LAR) por la tasa de asimilación neta (NAR).

Para las tasas de crecimiento relativo, se cuantificaron los valores de peso de las plantas en su etapa inicial, intermedia y final todo esto correspondiente a la evaluación. Con el fin de poder expresar cada valor de cada uno de los tratamientos y de esta manera poder determinar el crecimiento relativo de las plantas.

2.3. 12 Diseño experimental

Se aplicó un diseño estadístico de bloques completamente al azar.

Para evaluar el efecto de las micorrizas y el tiempo en el crecimiento de plantas jóvenes y adultas se usaron modelos lineales generalizados con una estructura factorial, se aplicó una distribución normal con una función de enlace identidad para todas las variables numéricas continuas; y una distribución de Poison y una función de enlace log para las variables de datos discretos. Se aplicaron pruebas pareadas de Bonferroni.

Para analizar el efecto de las micorrizas sobre las tasas de crecimiento relativo y las defensas entre tratamientos de micorrizas, se usaron pruebas de t para muestras independientes.

Para evaluar el efecto de las micorrizas sobre las tasas de crecimiento relativo y el tiempo se usaron modelos lineales generalizados con una estructura factorial, se aplicó una distribución normal con una función de enlace identidad para todas las variables, ya que en su totalidad fueron datos numéricos continuos. Se aplicaron pruebas pareadas de Bonferroni.

Para examinar el efecto de las micorrizas sobre el porcentaje de parasitoidismo de *E. formosa* en *B. tabaci* se emplearon pruebas de t para muestras independientes. Previo a los análisis se analizó la normalidad de los datos; en caso de ser requerido, los datos numéricos discretos como número de huevos, nifas y adultos, se transformaron mediante la raíz cuadrada.

Para analizar el efecto de las micorrizas sobre el rendimiento vegetal se usaron pruebas de t para muestras independientes. Previo a los análisis se analizó la normalidad de los datos; en caso de ser requerido, los datos numéricos discretos como número de frutos y semillas, se transformaron mediante la raíz cuadrada. Para el caso de peso, largo y diámetro de frutos, se transformaron con el logaritmo natural.

Todos los análisis se realizaron con el software SPSS 22 para Windows.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1 Efecto de la micorriza *R. irregularis* sobre el crecimiento y la defensa vegetal

No se encontraron efectos significativos de la interacción tiempo por micorriza sobre las variables de crecimiento (altura, diámetro del tallo y número de hojas acumuladas) tanto en plantas jóvenes como adultas. No obstante, el tiempo si afectó en forma estadísticamente significativa el crecimiento vegetal, siendo continuamente mayor conforme avanzaron los días (Fig. 1A-F). En el caso del factor micorriza, sólo produjo un incremento de la altura y diámetro en plantas jóvenes, en comparación con el tratamiento control (Fig. 1A).

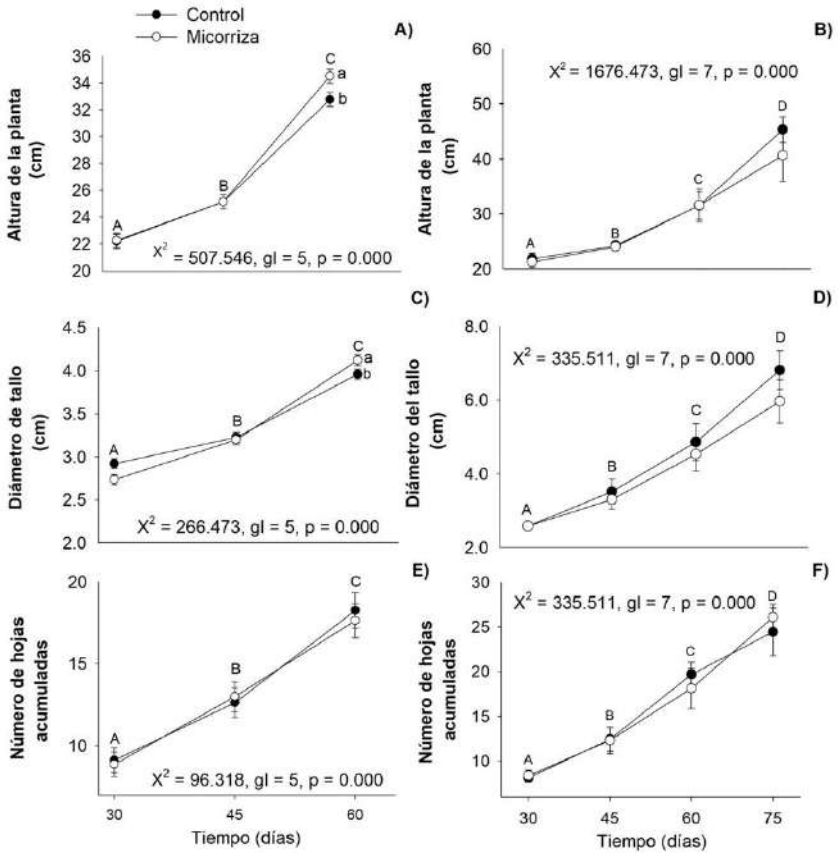


Figura 1. Efecto de las micorrizas en el crecimiento, altura de plantas jóvenes (A) y adultas (B); diámetro del tallo de plantas jóvenes (C) y adultas (D); número de hojas de plantas jóvenes (E) y adultas (F). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P<0.05$) (Mayúsculas entre tiempos; minúsculas entre tratamientos de micorriza).

Cuando se evaluaron las tasas de crecimiento en altura, diámetro y biomasa entre los tratamientos de micorrizas, sólo se observó una disminución significativa del crecimiento en $TCR_{Diámetro}$, tanto de plantas jóvenes como adultas (Fig 2C y D). Por ejemplo, la $TCR_{Diámetro}$ de las plantas jóvenes en el control fue de 0.014±0.00088 cm cm^{-1} $día^{-1}$ y con la micorriza 0.012 ± 0.00087 cm cm^{-1} $día^{-1}$. En el caso de las adultas, en el control la $TCR_{Diámetro}$ fue 0.24 ± 0.00040 cm cm^{-1} $día^{-1}$, en comparación con las inoculadas con micorriza 0.21 ± 0.00040 cm cm^{-1} $día^{-1}$ (Fig. 2C y D).

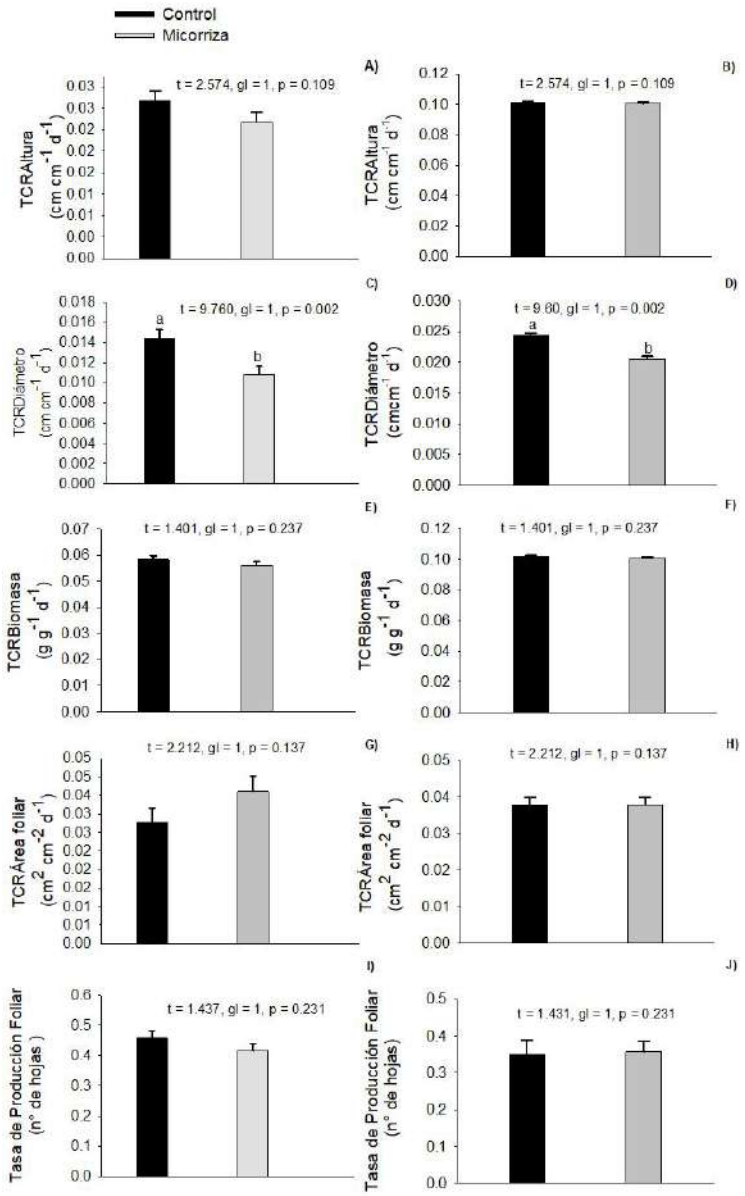


Figura 2. Efecto de las micorrizas sobre las tasas de crecimiento relativo (TCR) en *Capsicum chinense* a los 28 y 43 ddt. TCR_{Altura} de plantas jóvenes (A) y adultas (B);

$TCR_{Diámetro}$ del tallo de plantas jóvenes (C) y adultas (D); $TCR_{Biomasa}$ de plantas jóvenes (E) y adultas (F); $TCR_{Área\ foliar}$ en plantas jóvenes (G) y adultas (H); TPF en plantas jóvenes (I) y adultas (J). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas ($P<0.05$).

Estos resultados son parcialmente similares con los registrados por Aguirre-Medina *et al*. (2016) en el cual encontraron que el crecimiento en altura de la planta, diámetro de tallo y número de hojas incrementó con la inoculación de endomicorrizas y rizobacterias en plantas de *Capsicum annuum* L. a los 28 y 56 ddt. También, a los de García (2003) en el cual observó que al incrementar la colonización de micorriza aumentó significativamente la altura promedio de las plantas, número de hojas acumuladas y diámetro del tallo, elló mostró un efecto benéfico de la adición de micorrizas en las raíces en comparación con las plantas no inoculadas a los 40 y 80 ddt. Además, Pereira *et al.* (2001) al evaluar el efecto de las micorrizas en plantas de *Eucalyptus camaldulensis* en los primeros meses de vida, observaron mayor crecimiento en altura a diferencia de las plantas no inoculadas. Finalmente, González-Mendoza et al. (2015) igual obtuvieron resultados positivos en las plantas inoculadas con *R. intrarradices* expresado en una mayor altura, diámetro del tallo y mayor número de hojas.

De igual manera se observó resultados similares a los de Aguirre-Medina *et al*., (2007) ya que ellos a los 90 ddt observaron que las plantas inoculadas con *R. irregularis* obtuvieron la mayor altura en las plantas y así mismo se observó un mayor número de hojas en las plantas inoculadas .

Respecto a las defensas vegetales de *C. chinense*, sólo se encontró que el grosor de las hojas fue significativamente mayor en las plantas jóvenes inoculadas con micorrizas (Fig. 3E). Las otras variables como los fenoles foliares totales y la dureza foliar no difirieron por la inoculación de las micorrizas (Fig 3A, B, C, D y F). Resultados opuestos en cuanto a los fenoles foliares encontraron Walker *et al*. (2008) al evaluar la aplicación de fertilizantes a base de nitrógeno y fósforo, ya que observaron que a mayor fertilización incrementaron los niveles de defensa en las plantas.

En cuanto a los fenoles totales foliares García-Garrido y Ocampo, (2002) señala que hay mayor producción de los fenoles en las plantas jóvenes que en las plantas adultas. Como se puede apreciar en nuestros resultados, se obtuvo mayor cantidad de fenoles totales

las plantas jóvenes en comparación de las plantas adultas, esto sugiere que las señales de transducción y activación de genes de defensa en las primeras semanas después de la inoculación con HMA, pueden estar presente con mayor fuerza. Por otra parte Ramírez-Villete, (2010) menciona que las plantas producen respuestas de defensa de distinta intensidad, encontrando en diferentes plantas hospederas, o bien no son capaces de percibir las señales del HMA o impiden por completo la interacción; mientras que otras plantas producen respuestas de mediana o baja intensidad, las cuales bajo simbiosis pueden atenuarse y localizarse específicamente en algunas células.

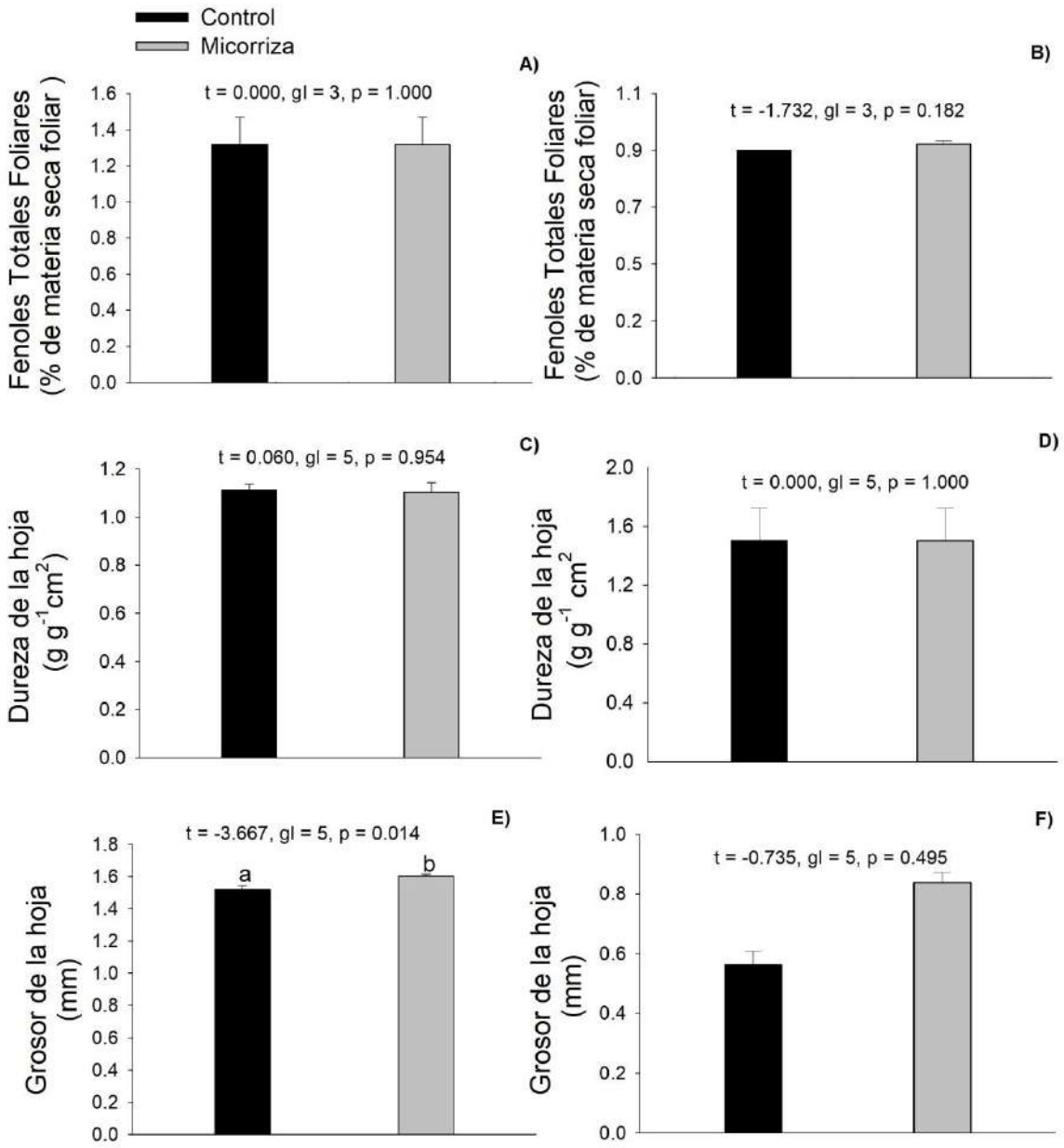


Figura 3. Efecto de las micorrizas sobre las defensas vegetales de *Capsicum chinense*. Fenoles totales foliares en plantas jóvenes (A) y adultas (B); dureza foliar en plantas jóvenes (C) y adultas (D); grosor foliar en plantas jóvenes (E) y adultas (F). Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

2.4.2 Efecto de la micorriza *R. irregularis* sobre el crecimiento vegetal y su interacción con *Bemisia tabaci*

Sólo se encontraron efectos significativos de la interacción Micorriza × *Bemisia tabaci* en la $TCR_{Área\ foliar}$ en plantas jóvenes (Fig. 4G) y la TPF en plantas adultas (Fig. 3J). En el primer caso, la $TCR_{Área\ foliar}$ incrementó su crecimiento cuando las plantas jóvenes fueron inoculadas con micorriza, esto a pesar de la presencia de *B. tabaci*. No fue el caso cuando las plantas no tuvieron micorriza (Fig. 4G). En el segundo caso de la TPF en plantas adultas, hubo un resultado similar al de la $TCR_{Área\ foliar}$, pero en este caso, en plantas adultas (Fig. 4J).

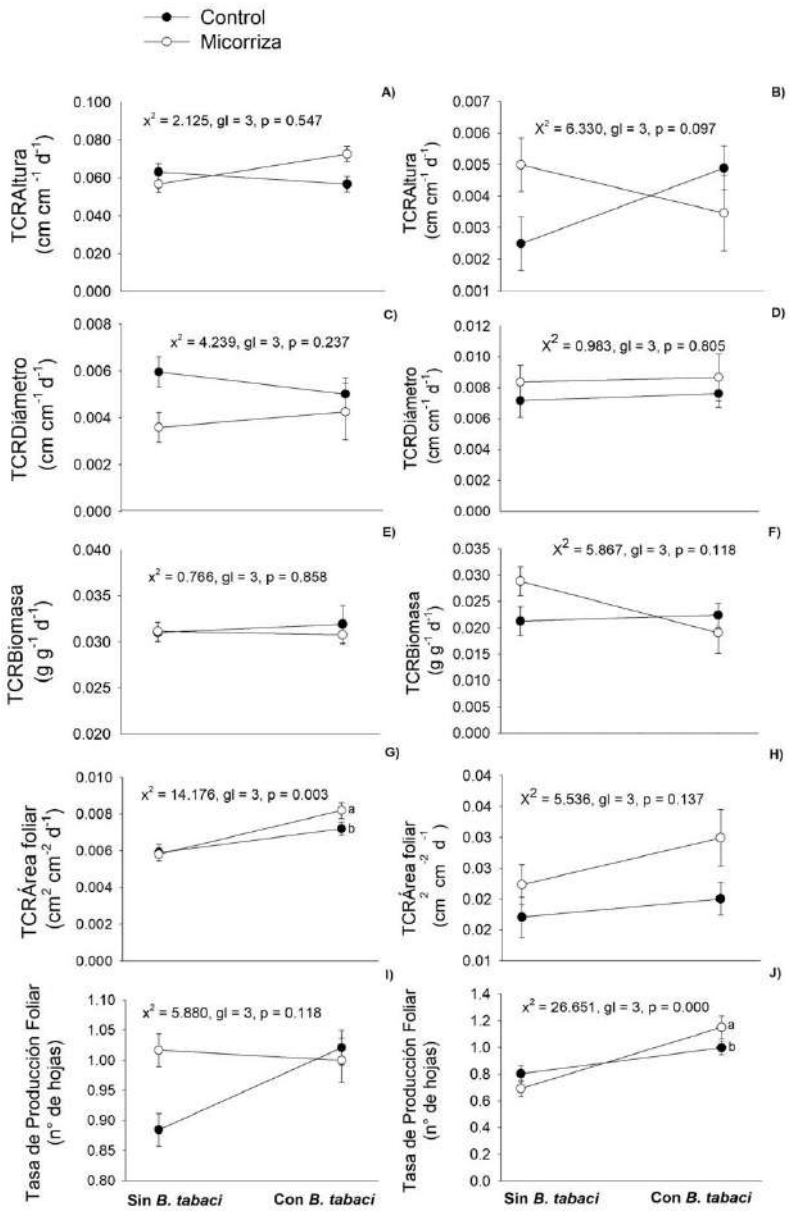


Figura 4. Efecto de la micorriza *R. irregularis* en el crecimiento en términos de la TCR_{Altura}, $TCR_{Diámetro}$, $TCR_{Biomasa}$, $TCR_{Área\ foliar}$ y Tasa de Producción Foliar (TPF) y su interacción con *B. tabaci* en plantas de *C. chinense* con diferentes fases fenológicas. A, C, E, G e I= plantas jóvenes; B, D, F, H, J= plantas adultas. Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

Estos resultados son similares a los reportados por Walker *et al*., (2008) en el cual observaron que cuando las plantas fueron fertilizadas, además de incrementar su crecimiento, fueron más palatables para los insectos herbívoros y como un resultado ulterior, un mayor número de ellos.

Manjarez-Martínez *et al* ., (1999) evaluaron la producción de biomasa en plantas de *Capsicum annuum* y observaron que la biomasa fue mayor en las plantas con micorriza a través de diferentes dosis de vermicomposta. Sin embargo, el tratamiento con micorriza más 1.25 g de vermicomposta presentó diferencias numéricas en cuanto al área foliar de las plantas, mientras que el tratamiento inoculado más 3.0 g de vermicomposta mantuvo diferencias en el peso seco de follaje. Las plantas con sólo vermicomposta crecieron poco y estadísticamente fueron iguales al testigo.

2.4.3 Efecto indirecto de las micorrizas sobre el parasitoidismo de *Encarsia formosa* en *B. tabaci*

A pesar que no se encontró alguna diferencia estadísticamente significativa en el parasitoidismo de *E. formosa* en ninfas de *B. tabaci*, si se observaron fuertes tendencias (P=0.05-0.08). En general, tanto las plantas jóvenes como adultas que crecieron bajo condiciones de micorrizas presentaron menor parasitoidismo de *E. formosa*, presencia de huevos y ninfas de *B. tabaci* (Fig. 5). Los casos donde fue más fuerte esta tendencia fueron en el número de huevos de *B. tabaci*, tanto en plantas jóvenes como adultas (Fig. 5C y D) y el número de ninfas en plantas adultas (Fig. 5F).

Nuestros resultados fueron contrarios a los de Stuart *et al*., (2011) ya que ellos encontraron que la abundancia de los parasitoides si fue influenciada por la inoculación de las micorrizas. Esto sugiere que la micorriza causa un efecto de deterrencia de las plantas

de *C. chinense* hacia la *B. tabaci*, lo cual disminuye directamente la probabilidad de parasitoidizar de *E. formosa*, debido a la escasez de mosquitas blancas (Babikova *et al.* 2014).

También nuestros resultados pueden atribuirse a un efecto de la arquitectura vegetal, lo cual pudo haber alterado la búsqueda para parasitar. Ello, debido a que las plantas con micorrizas presentaron un mayor tamaño de hojas (Gange *et al.*, 2003). Incluso, la densidad de mosquita blanca pudo haber afectado las respuestas de parasitoidización; esto ya que se ha visto que cuando la densidad de *B. tabaci* es alta, los enemigos naturales responden más a los volátiles emitidos por los insectos fitófagos más que por aquellos liberados por la planta (Gerling *et al*., 2001).

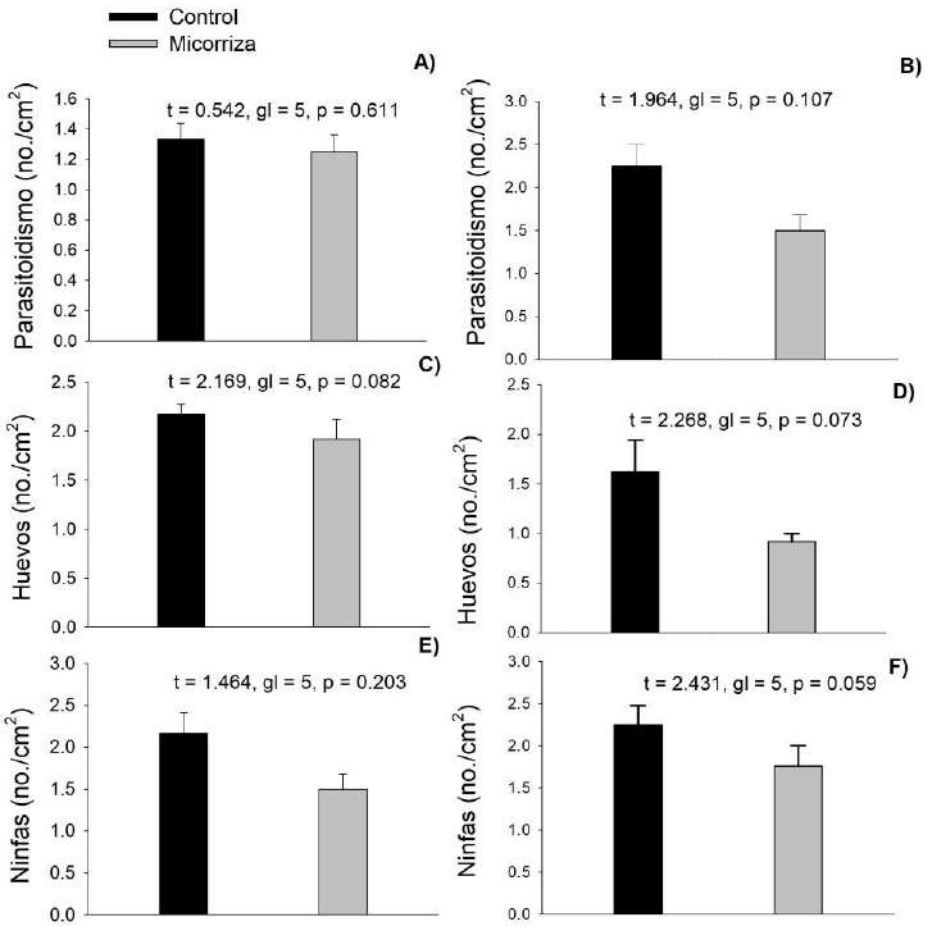


Figura 5. Efecto de las micorrizas sobre el número de parasitoidismo de *E. formosa* en *B. tabaci*; y, el número de huevos y ninfas de *B. tabaci* en plantas de *C. chinense* con diferente estado fenológico. A, C y E = plantas jóvenes; B, D y F= plantas adultas.

2.4.4 Efecto de la interacción micorriza – *B. tabaci* y *E. formosa* en el rendimiento de plantas de *C. chinense*

En general no se encontraron diferencias significativas entre las variables de rendimiento. Esto a pesar que el número de frutos y semillas tendió a incrementar en las plantas inoculadas con micorrizas (Cuadro 1). Sin embargo, cuando se analizaron por separado las plantas donde se introdujeron mosquitas blancas y el parasitoide *E. formosa* tanto en escenarios con y sin micorrizas, las plantas inoculadas con micorrizas mantuvieron un mayor rendimiento en todas las variables. A pesar de ello, el único incremento significativo fue en el peso del fruto en plantas sin micorrizas y en escenarios con *B. tabaci* y *E. formosa* (Cuadro 1). Otros trabajos como el de Aguirre-Medina *et al*., (2016) obtuvieron resultados similares al nuestro, ya que al evaluar la producción y tamaño de frutos de *Capsicum annuum* L. en plantas con inoculación de *R. intraradices*, no registraron diferencias en las plantas con micorrizas. No obstante, que García (2003) si ha registrado estas diferencias en el número de frutos, número de semillas, mayor peso del fruto, largo del fruto y diámetro del fruto en plantas inoculadas con micorrizas.

Observamos datos similares a los obtenidos por Manjarez-Martínez *et al*. (1999), ya que las plantas con micorrizas fueron las primeras en producir frutos. Ellos también observaron que el peso fresco de frutos fue mayor en plantas inoculadas más 3.0 g de vermicomposta kg^{-1} de suelo, este tratamiento también produjo el mayor peso seco de follaje y 4.5 frutos más por planta.

Cuadro 1. Efecto de la interacción entre las micorrizas, *B. tabaci* y *E. formosa* en el rendimiento de plantas de *Capsicum chinense*.

Variables	Frutos				Número de semillas
	Número	Peso (g)	Largo (cm)	Diámetro (cm)	
Control	291.1±19.5	8.29±0.37	4.19±0.12	2.76±0.04	43.3±4.1
Micorriza	245.6±19.5	8.78±0.37	4.17±0.12	2.69±0.04	55±4.1
			Control		
B. tabaci	207±27.6	7.56±0.53a	4.02±0.17	2.57±0.68	42.6±5.8
B. tabaci + E. formosa	230±27.6	9.02±0.53b	4.11±0.19	2.77±0.67	44±5.81
			Micorriza		
B. tabaci	240±27.6	8.91±0.58	4.37±0.19	2.8±0.68	53.6±5.82
B. tabaci + E. formosa	250±27.6	8.65±0.58	4.24±0.18	2.75±0.68	56.3±5.8

Letras diferentes indican diferencias estadísticamente significativas (P<0.05).

2.5 Conclusiones

Las plantas con *Rhizophagus irregularis* mostraron una mayor altura y mayor diámetro del tallo en comparación con las plantas sin inoculación en plantas jóvenes. En cuanto a las plantas adultas fueron ligeramente mayores que las plantas sin inoculación de micorrizas.

Rhizophagus irregularis mostró tanto en plantas jóvenes como en adultas un ligero efecto en las poblaciones inmaduras y en los huevos de debido a que se observó que las plantas inoculadas con micorrizas presentaron una menor incidencia de *B. tabaci.*

Las plantas jóvenes y adultas con inoculación de *Rhizophagus irregularis* mostraron un mayor porcentaje de parasitoidismo por parte de *Encarsia formosa*, en comparación con las plantas sin inóculo micorrízico tanto en plantas jóvenes como adultas. En general, Rhizophagus *irregularis* si presentó un efecto indirecto sobre los parasitoides.

2.6 Literatura citada

Aguirre, M. J. F.; Mendoza, L. J. A. Cadena, I. y Avendaño, A. C. 2007. La Biofertilizaciòn del cacao (Theobroma cacao) L. en vivero con (Azospirillum brasilense) Tarrand, Krieg et Döbereiner y (Glomus intraradices) Schenk et Smith. Interciencia. 32(8):1-6

Aguirre-Medina, Juan Francisco; Espinosa Moreno, Jorge Alejandro, 2016. Crecimiento y rendimiento de Capsicum annuum L. inoculado con endomicorriza y rizobacterias Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, vol. 7, núm. 7, septiembre-noviembre, pp. 1539-1550

Alarcón, A., Almaraz, S. Ferrera-Cerrato, R., Gonzalez-Chavez, M.A., Lara, H. M., Quintero, M. J. Santamaría, R. S. 2004. Manual: tecnología de hongos micorrizicos en la producción de especies forestales en vivero. En: FerreraCerrato, R., Alarcón, A. Lara H.M. (Eds). Micorrizas Arbusculares. Colegio de Postgraduados. SEMARNAT-PRONARE. México. 98 p.

Allen, B. L., Jolley, V. D., Robbins, C. W., Freeborne, L.L., 2001. Fallow versus wheat cropping of unamended and manure-amended soils related to mycorrizhal colonization, yield and plant nutrition of dry bean and sweet corn. Journal Plant Nutrition 24:921-943.

Barreiro, P. M. 1998. Una hortaliza de México para el mundo. Claridades Agropecuarias No.56. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México, D.F

Borges Gómez, L., L. Cervantes Cárdenas, J. Ruiz Novelo, M. Soria Fregoso, V. Reyes Oregel y E. Villanueva Couoh. 2010. Capsaicinoides en chile habanero (Capsicum chinense Jacq.) bajo diferentes condiciones de humedad y nutrición. Terra Latinoamericana. 28:35-41.

Cardona, G., Peña-Venegas, C. P. y Arcos, A. 2008. Ocurrencia de hongos formadores de micorriza arbuscular asociados a ají (Capsicum sp.) en la Amazonia colombiana. Agronomía Colombiana, 26(3), 459-470.

Crowder, D. W; Nothfielde, T. D.; Strand, M. R. Y Snyder, E. 2010. Organic agriculture promotes evenness and natural pest control. Nature, 466: 109-113.

García Francisco R. 2003. Concentración de reguladores del desarrollo vegetal inducida por hongos endomicorrizicos en dos cultivares de chile (*Capsicum annuum* L.) tesis doctoral, Universidad de Colima. Área Biotecnología.

Gange, A. C., V. K. Brown, and D. Aplin. 2003. Multitrophic links between arbuscular mycorrhizal fungi and insect parasitoids. Ecol. Lett. 6: 1051-1055.

García-Garrido, J.M. and Ocampo, J.A. (2002). Regulation of the Plant Defense Response in Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. Journal of Experimental Botany. 53 (373): 1377-1386.

Gerling, D.,O , Alomar, and J. Arno. 2001. Biological control of *Bemisia tabaci* using predators and parasitoids. Crop Protect. 20: 779-799.

González megias, A. & Múller, C. 2010. Root herbivores and detritivores shape above-ground multirop hic assemblage through plant-mediated effects. Journal of Animal Ecology, 79:923-931.

González-Mendoza D, A García-López, C Ceceña Duran, O Grimaldo-Juarez, M Aviles-Marín, y Pérez-Luna, P Álvarez-Gutiérrez, 2015. Hongos micorrizicos arbusculares y sus efectos en el crecimiento de diferentes cultivares de Capsicum annuum L. Revista Internacional de Botánica Experimental. Fundación Rómulo Raggio.

Kaya, C. Higges, D., Kimak, H. Tas, I. 2003. Mycorrhizal colonization improves fruit yield and water use efficiency in watermelon (Citrullus lanatus) grown under well-watered and water-stressed conditions. Plant Soil 253:287-292.

Manjarrez-Martínez M. J., Ferrera-Cerrato R. y. González-Chávez M. C. 1999. Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintetica de chile serrano. Area de Microbiología, Especialidad de Edafología, Colegio de Postgraduados, 56230 Montecillo, Estado de México. Terra Vol. 17 Numero 1.

Marer, P J. 1988 .The safe and effective use of pesticides. Pesticide Application Compendium No. 1. University of California.

Matthew Walker ,Susan E. Hartley and T. Hefin Joness, 2008. The relative importance of resources and natural enemies in determining herbivore abundance: thistles, tephritids and parasitoids. Journal of Animal Ecology 77, 1063–1071.

Latournerie-Moreno, L., J. L. Chávez-Servia, M. Pérez-Pérez, G. Castaño-Nájera, S. A. Rodríguez-Herrera, L. M. Arias-Reyes y P. Ramírez-Vallejo. 2002. Valoración in situ de la diversidad morfológica de chiles (Capsicum annum L. y Capsicum Chinense Jacq.) en YaxcabÁ, Yucatán. Fitotec. Mex. 25: 25-33.

Ramírez Gómez Margarita; Rodríguez Villate Alia. 2010. Señales de reconocimiento entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares. Microbiología de suelos. Corpoica Cienc. Tecnol. Agropecu. 11(1), 53-60.

Pereira Guillermo, Sánchez Manuel, Ríos Dancy, Herrera Miguel, 2001. Micorriza vesiculo arbuscular y su incidencia en su crecimiento de las plantas de *Eucalytus camaldolensis Dehnh.* Depto. Forestal Campus los Angeles 22(2) 39-44.

Soria, M., A. Trejo, J. Tun, y R. Terán. 2002. Paquete tecnológico para la producción de chile habanero (Capsicum chinense Jacq.). SEP. DGETA. ITA-2. Conkal, Yucatán, México.

SIAP-SAGARPA (2012) Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. México. www.siap.sag

Stuart C. Wooley and Timothy D. Paine, 2011. Infection by Mycorrhizal Fungi Increases Natural Enemy Abundance on Tobacco (Nicotiana rustica). Entomological Society of America. Environmental Entomology, 40(1):36-41.