SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

Tecnológico Nacional de México

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

INTERACCIÓN DEL CONSORCIO DE HONGOS MICORRÍZICOS NATIVOS-COMPOSTA Y SUS APORTES SOBRE EL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum)*

TESIS

Que presenta:

NIVARDO VALENTE MIS BAUTISTA

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

D.C. Carlos Juan Alvarado López

Conkal, Yucatán, México
Octubre, 2017

SEP
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México, 20 de Octubre de 2017.

El comité de tesis del candidato a grado: Nivardo Valente Mis Bautista, constituido por los CC. Carlos Juan Alvarado López, José María Tun Suárez, René Garruña Hernández y Jairo Cristóbal Alejo, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **Interacción del consorcio de hongos micorrízicos nativos-composta y sus aportes sobre el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*)**, que presenta como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical, 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. Carlos Juan Alvarado López
Director de Tesis

Dr. José María Tun Suárez
Co-director de Tesis

Dr. René Garruña Hernández
Asesor de Tesis

Dr. Jairo Cristóbal Alejo
Asesor de Tesis

Conkal, Yucatán, Octubre de 2017

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.

Nivardo Valente Mis Bautista

AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Tecnológico de Conkal por permitirme realizar mis estudios y contribuir a mi formación profesional.

A la División de Estudios de Posgrado e Investigación (DEPI) por darme la oportunidad de cursar mis estudios de maestría.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante mis estudios de posgrado.

A la Unidad Académica Bachillerato con Interacción Comunitaria (UABIC) de la Universidad Autónoma de Yucatán por las facilidades otorgadas para realizar las prácticas de campo en sus instalaciones.

AL Dr. Carlos Juan Alvarado López director de la tesis, por su tiempo, dedicación, consejos, su amistad y sobre todo porque sin conocerme depósito su confianza en mí. Gracias!!!

A mis asesores el Dr. José María Tun Suarez, el Dr. René Garruña Hernández, el Dr. Jairo Cristóbal Alejo y el M. C. Alfonso Pérez Gutiérrez por el tiempo destinado para la revisión de la tesis y por las sugerencias realizadas para mejorar el trabajo.

Al Área de Proyectos Sociales de la UABIC en especial a Paty Baas, Rodrigo López, Nadia Castillo, Lorena Castillo, Marisol Koyoc y Martin Sánchez, por su apoyo incondicional y por su amistad.

Al Coordinador Académico de la UABIC Mtro. Guillermo Arturo Contreras Gil por todas las facilidades otorgadas durante mis estudios.

A los alumnos de la Actividad Socio-comunitaria "Manos a la Tierra" quienes me motivan día a día para seguir preparándome profesionalmente.

A David Hernández, Rodrigo Cauich y Jorge Herrera por su apoyo, por haber hecho de estos dos años una gran aventura y sobre todo por la valiosa amistad, y a todos aquellos que me bridaron su apoyo. Gracias!!!

PARA TODO UN TIEMPO...

DEDICATORIA

A Dios y a mi familia

Gracias: Porque con su apoyo y dedicación ha llegado este día tan importante para mí. Por sus sabios consejos que me orientaron en el camino de la vida. Por sus esfuerzos y sacrificios, por velar por mi futuro, por apoyarme en mi formación profesional que representa la mejor de las herencias. Ayer su raíz fue mi raíz y su coraje mi coraje. Hoy soy su confianza y esperanza. Por todo el ayer, les dedico con cariño todo mi mañana. Con amor.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....iv
DEDICATORIA..... vi
ÍNDICE DE CONTENIDO..... vii
ÍNDICE DE CUADRO viii
ÍNDICE DE FIGURAS ix
RESUMEN..... x
ABSTRACT xi
CAPÍTULO I. ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE 1
1.1 INTRODUCCIÓN..... 1
1.2 ANTECEDENTES 2
1.2.1 Importancia de las micorrizas nativas 2
1.2.2 Abono orgánico: Composta, una fuente de nutrición 2
1.2.3 Cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum*) en México.....3
1.3 HIPÓTESIS 5
1.4 OBJETIVOS..... 5
1.4.1 Objetivo general 5
1.4.2 Objetivos específicos 5
1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL..... 6
1.6 LITERATURA CITADA 7
CAPÍTULO II. RESPUESTA DEL TOMATE CULTIVADO EN UN SUELO ENMENDADO CON UN CONSORCIO DE HONGOS MICORRÍZICOS NATIVOS Y COMPOSTA..... 100
2.1 RESUMEN 10
ABSTRACT 11
2.2 INTRODUCCIÓN..... 11
2.3 MATERIALES Y MÉTODOS..... 13
2.3.1 Sitio experimental 13
2.3.2 Hongos micorrízicos nativos 14
2.3.3 Elaboración del abono orgánico 14
2.3.4 Diseño experimental .....**¡Error! Marcador no definido.**15
2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 15

2.4.1 Efecto de la composta en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum)*.....15
2.4.2 Efecto del consorcio de HMA nativo y el sustrato en tomate..... 17
2.4.3 Efecto de la interacción de los tres factores.....18
2.4.4 Porcentaje de colonización.....21
2.5 CONCLUSIONES..... 21
2.6 AGRADECIMIENTOS..... 212
2.7 LITERATURA CITADA..... 222
2.8 ANEXOS.....25

ÍNDICE DE CUADRO

CAPÍTULO 1.

Cuadro

1.1 Hongos micorrízicos arbusculares, composta, e interacciones. 4

CAPÍTULO 2.

Cuadro

2.1 Efecto de la composta sobre las variables agronómicas y fisiológicas evaluadas a los 150 ddt 17
2.2 Efecto del consorcio de HMA nativo y la condición del sustrato en *Solanum Lycopersicum* a los 150 ddt 18
2.3 Efecto de la interacción composta y consorcio micorrizico nativo de HMA en *Solanum lycopersicum* a los 150 ddt. 25
2.4 Efecto de la interacción composta y competencia con otros microorganismo presentes en el suelo sobre las variables evaluadas en *Solanum lycopersicum* a los 150 ddt 26
2.5 Comparación de los tratamientos con sustrato estéril y control 1 **(**Fertilización convencional y sustrato estéril) 27
2.6 Comparación de los tratamientos con sustratos no estériles y control 2 **(**Fertilización convencional y sustrato no estéril) 28

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 1.

Figura

1.1 Estrategia experimental 6

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO 2.

Figura

2.1 Efecto de la interacción de los tres factores en el número de botones florales de *Solanum lycopersicum* a los 150 ddt 20

2.2 Efecto de la interacción de los tres factores en el número de frutos cosechados de *Solanum lycopersicum* a los 150 ddt 20

RESUMEN

Las técnicas actuales de producción agrícola deben estar enfocadas al uso eficiente de los recursos naturales, lo cual, tiende a incluir tres componentes importantes: a) microorganismos nativos, la importancia de utilizar un consorcio nativo de HMA es que los genotipos están adaptados a las características químicas, físicas y biológicas del suelo (Brundrett & Abbott 2002, Kosuta *et al.* 2005, Baar 2008, De la Rosa-Mera *et al.*, 2012); b) abonos orgánicos, elaborados a partir de los recursos naturales disponibles y c) cultivos hortícolas de interés económico. Entre los beneficios derivados de la interacción de estos tres componentes se puede mencionar que ayudan a mejorar la estructura del suelo y disminuir el uso de fertilizantes químicos (Espinosa-Morales 2015; Velasco *et al.*, 2001). El presente estudio tuvo como objetivo general: Evaluar el efecto del uso de un consorcio de hongos micorrízicos nativos y diferentes proporciones de composta sobre plantas de tomate cultivadas en un suelo pobre. El experimento se dividió en dos etapas, la primera consistió en obtener el inoculo líquido de hongos micorrízicos nativos y la composta, la segunda en establecer el cultivo para la evaluación de variables agronómicas y fisiológicas durante las cuatro fenofases del cultivo.

ABSTRACT

Current agricultural production techniques should be focused on the efficient use of natural resources, which tends to include three important components: a) native microorganisms, the importance of using a native HMA consortium is that the genotypes are adapted to the characteristics chemical, physical and biological properties of soil (Brundrett & Abbott 2002, Kosuta et al., 2005, Baar 2008, De la Rosa-Mera et al., 2012); b) organic fertilizers, made from the available natural resources and c) horticultural crops of economic interest. Among the benefits derived from the interaction of these three components, it can be mentioned that they help improve soil structure and decrease the use of chemical fertilizers (Espinosa-Morales 2015; Velasco et al., 2001). The objective of this study was to evaluate the effect of the use of a consortium of native mycorrhizal fungi and different proportions of compost on tomato plants grown on poor soil. The experiment was divided into two stages: the first consisted of obtaining the liquid inoculum of native mycorrhizal fungi and the compost; the second was to establish the crop for the evaluation of agronomic and physiological variables during the four phenofases of the crop.

CAPÍTULO I. ALTERNATIVAS DE PRODUCCIÓN EN EL CULTIVO DE TOMATE

1.1 INTRODUCCIÓN

Aprovechar los recursos disponibles de una forma racional y sobre todo natural, es una gran necesidad referente al uso indiscriminado de productos agroquímicos en los sistemas agrícolas (Alarcón y Cerrato, 2012). Por ello, la agricultura orgánica debe retornar a los ciclos cerrados de energía y materiales, maximizar el reciclaje, emplear sistemas de rotación, usar fertilizantes de origen orgánico y energías renovables (Guzmán y González, 2009; Márquez-Hernández *et al.,* 2013). La filosofía que da origen a este sistema productivo privilegia el objetivo de producir alimentos inocuos y de alta calidad procurando la salud ecológica a largo plazo (García-Hernández *et al.,* 2010; Márquez-Hernández *et al.,* 2013). Las técnicas de producción agrícola deben estar enfocadas al uso eficiente de los recursos naturales disponibles en nuestro entorno y considerar como componentes principales: microorganismos**,** abonos orgánicos y cultivos hortícolas (Espinosa-Morales, 2015; Velasco *et al.,* 2001).

Los microorganismos como las micorrizas facilitan la nutrición, crecimiento y desarrollo de las plantas; mejoran la tolerancia frente al estrés hídrico y a los agentes patógenos; facilitan la adaptación a suelos salinos y contribuyen con la disminución de la erosión en las áreas aledañas (Molina *et al.,* 2005).

Por otro lado, los abonos orgánicos en específico la composta convencional representa una alternativa ecológica para satisfacer la demanda nutrimental de los cultivos y sustituir el uso de fertilizantes inorgánicos, especialmente en cultivos orgánicos (Rippy *et al.,* 2004; Ochoa-Martinez *et al.,* 2009). Se ha comprobado que el uso de compostas puede satisfacer los requerimientos nutrimentales del cultivo de tomate en invernadero durante los primeros dos meses después del trasplante (Raviv *et al.,* 2004; Ochoa-Martínez *et al.,* 2009).

1.2 ANTECEDENTES

1.2.1 Importancia de las micorrizas nativas

La micorriza es una relación simbiótica entre las raíces de la planta y el hongo, esta simbiosis es común en la mayoría de las plantas terrestres (Ramírez-Hernández *et al.*, 2014). Generalmente se consideran siete tipos de micorrizas: arbuscular, ericoide, orquideoide, ectomicorriza, arbutoide, ectendomicorriza y monotropoide (Smith y Read, 1997), difieren en las estructuras que forman al establecer la simbiosis y el tipo de plantas que colonizan (hospederos), algunos hongos benefician en mayor grado a un determinado hospedante en comparación con otros (Rodríguez-Yon *et al.*, 2004), aun bajo las mismas condiciones edafoclimáticas (Trejo *et al.*, 2011), por ello es importante utilizar cepas o consorcios de HMA para dirigirlos a una especie vegetal o condición muy específica lo cual permitirá obtener resultados específicos (De la Rosa-Mera *et al*., 2012) debido a que los genotipos están adaptados a las características químicas, físicas y biológicas del suelo (Brundrett & Abbott 2002, Kosuta *et al.* 2005, Baar 2008).

1.2.2 Abono orgánico: Composta, una fuente de nutrición

Los abonos orgánicos consisten en la conversión biológica de diversos residuos de origen orgánico con base en el control de dos factores principales que son: la temperatura y la humedad (Alarcón y Cerrato, 2012).

Los tipos principales de compostas utilizados en la agricultura son: vermicomposta, bocashi y composta convencional, difieren en sus propiedades físicas y químicas debido a los materiales que se utilizan para su elaboración y el tiempo de maduración (Manjarrez-Martínez *et al.*, 1999).

De manera general algunas características de estos abonos son:

- Fuente rica en nutrimentos.
- Su aplicación en plantas puede contribuir significativamente en la estimulación o incluso inhibición del crecimiento y desarrollo vegetal.
- Funcionan como cubierta protectora del suelo y;
- Previene algunas enfermedades en las plantas.

1.2.3 Cultivo de Tomate (*Solanum lycopersicum*) en México

En México, el tomate es una de las principales hortalizas que se cultiva en grandes extensiones en los estados del Noroeste y Occidente (Canizal y Noe, 2017), la producción se realiza con base en una fertilización convencional (Espinosa-Morales, 2015), lo que implica un aumento en**:** la pérdida de suelos, la contaminación del manto freático, el uso excesivo y desmedido de los productos químicos comerciales y una fuerte tendencia sobre los productos químicos procedentes del extranjero, debido a esto se ha llegado a la necesidad de mejorar las prácticas de manejo y tecnologías de aplicación surgiendo de esta manera una nueva corriente para la práctica de una agricultura alternativa, basada en el concepto de la sustentabilidad de los ecosistemas productivos, que enfatiza el uso racional de los recursos naturales que intervienen en los procesos productivos y lógicamente excluyendo en lo posible el uso de agroquímicos de síntesis (Castelo-Gutiérrez *et al.*, 2014).

Bajo este contexto, se propone el uso de los abonos orgánicos en específico la composta convencional y el uso de un consorcio de hongos micorrízicos nativos, debido a que la interacción de ambos presenta ciertos beneficios:

- Funcionan como mejoradores de la estructura del suelo.
- Viables para incrementar y mejorar la producción.
- Disminuyen el uso de fertilizantes químicos.
- Incrementan la captación de nutrimentos minerales, especialmente aquellos que son poco móviles en el suelo, como en el caso del fósforo, cobre y zinc.
- Reducen la tensión fisiológica causada por microorganismos patógenos de la raíz.
- Contribuyen a la recuperación de áreas degradadas.

Los trabajos de investigación referente a las cepas o consorcios de HMA nativos, abonos orgánicos y las interacciones entre ambos que aportan resultados valiosos para enriquecer la nueva tendencia de la agricultura orgánica se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1: Hongos micorrízicos arbusculares, composta, e interacciones.

CULTIVO	ESPECIE DE HMA UTILIZADO	CONDICIONES DE CRECIMIENTO	RESULTADOS	REFERENCIA
Solanum lycopersicum Var. Vita.	*Glomus spurcum*	Condiciones semi controladas	El tiempo de germinación disminuye y el porcentaje de germinación aumenta en semillas inhibidas. Baja efectividad micorrízica en presencia de relaciones suelo/sustrato de 3/1.	De la Cruz *et al.*, 2011
Catharanthus roseus (L) G. Don.	Consorcio de HMA	Invernadero	El consorcio aislado de *R. mexicanus* promueve el crecimiento de *C. roseus.* Se presentó un solo género predominante (*Glomus*).	De la Rosa Mera *et al.*, 2012
Latuca sativa Var. Montemar	*Glomus intraradices*	Campo	La aplicación de composta en dosis de 6 t ha^{-1} resultó estadísticamente superior a la no aplicación en cuanto a peso fresco, peso seco y altura. La micorriza (*Glomus intraradices*) propicia mayor peso fresco de raíz en relación a los tratamientos donde no hubo aplicación sin reflejarse en el rendimiento del cultivo de lechuga.	Puebla-Hernández, 2012
Chile serrano (*Capsicum annuum* L.)	*Glomus spp.* Zac-19	Invernadero	A los 156 días, el área foliar, peso seco de follaje, volumen radical se incrementaron significativamente en todos los tratamientos con micorriza más vermicomposta. Sólo las plantas con micorriza produjeron frutos en todas las dosis de vermicomposta. La tasa fotosintética y conductancia estomática resultaron mayores en plantas con micorriza para todas las dosis de vermicomposta.	Manjarrez-Martínez *et al.*, 1999
Especies arbustivas: *Pistacia lentiscus, Retama sphaerocarpa,*	*Gloms desertícola*	Campo	La aplicación de compost produjo un aumento en la altura y diámetro basal en *lentisco* y *acebuche.* Sinergismo positivo entre la micorrización y la adición de compost en el aumento de la biomasa seca y asimilación de nutrientes en estas especies vegetales	Figueroa *et al.*,2001
Aguacate Haas (*Persea americana* Mill.)	Cepa *Glomus sp.* "Zac-19"	Invernadero	El efecto de suelo forestal en el desarrollo de planta fue favorable solamente mediante la adición de vermicomposta. La inoculación con hongos micorrízicos favoreció el desarrollo de planta en ambos sustratos tanto agrícola como forestal.	Soil *et al.*, 2000

1.3 HIPÓTESIS

La inoculación de un consorcio de hongos micorrízicos nativos con enmienda de composta convencional suplirá el uso de fertilizantes químicos en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) sobre un suelo pobre, sin afectar la producción y el crecimiento de las plantas.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 Objetivo general

Evaluar el efecto del uso de un consorcio de hongos micorrízicos nativos y diferentes proporciones de composta sobre plantas de tomate cultivadas en un suelo pobre.

1.4.2 Objetivos específicos

- Analizar las variables agronómicas del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*).
- Evaluar las variables fisiológicas del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*).
- Evaluar el rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*).

1.5 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL

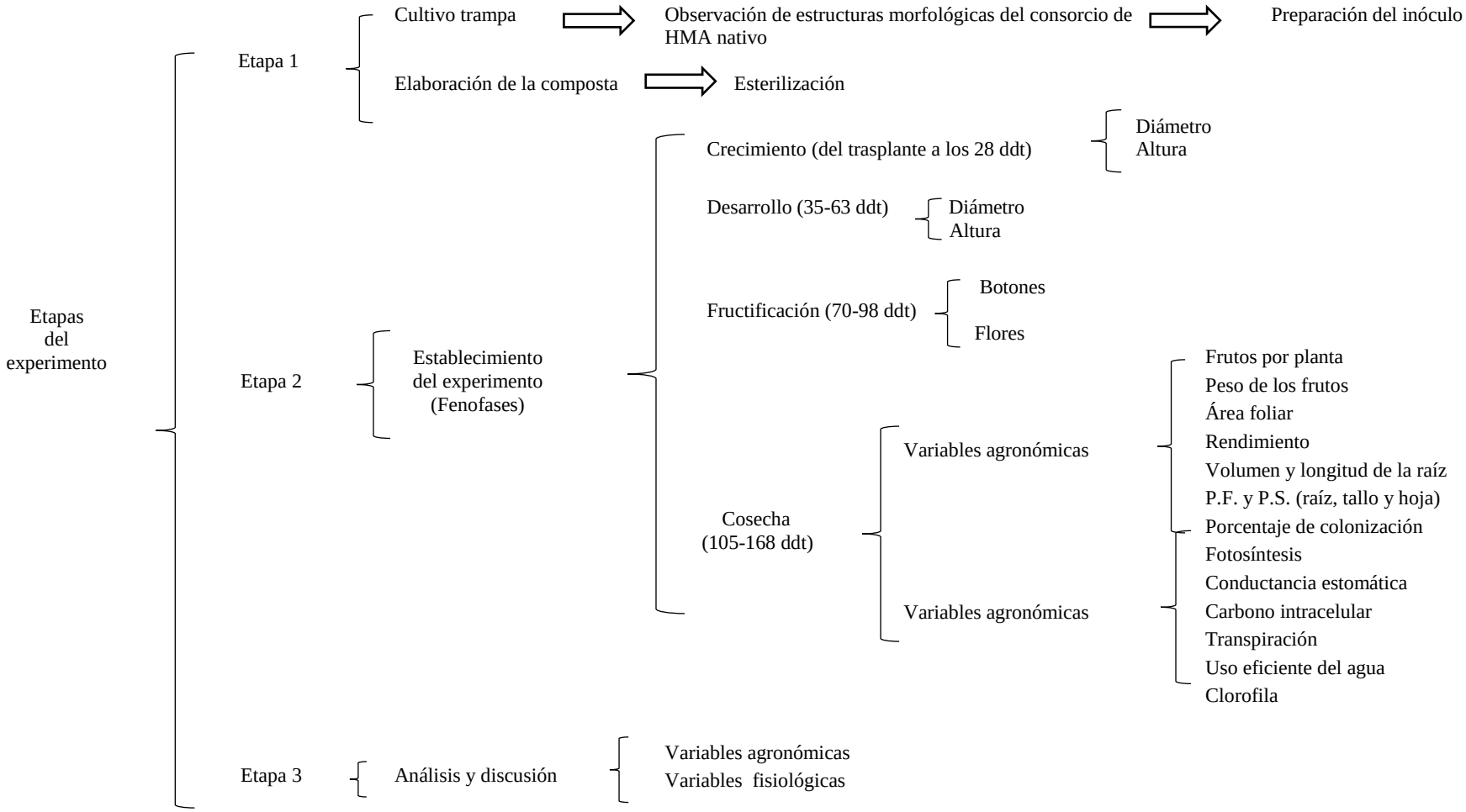

Figura: 1. Estrategia experimental.

1.6 LITERATURA CITADA

Alarcón, A., & Cerrato, R. F. (2012). Biofertilizantes: importancia y utilización en la Agricultura. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas, 26(2), 191-203.

Baar, J (2008). From production to application of arbuscular mycorrhizal fungi in agricultural systems: Requirements and needs. En: Varma A (ed) Mycorrhiza: 361-373. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

Brundrett M.C. & L.K. Abbott (2002). Arbuscular mycorrhizas in plant communities. En: Sivasithamparam K, K W Dixon & RL Barrett (eds.) Microorganisms in plant Conservation and biodiversity: 151-193. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.

Castelo-Gutiérrez, A., Gutiérrez - Coronado, M., Arellano - Gil, M., Castro - Espinoza, L., Lares-Villa, F., & Figueroa-López, P. (2014). Calidad postcosecha y de rendimiento de tomate cv. grandella bajo un sistema de producción orgánica y convencional en condiciones de casa sombra. In *Memoria del Congreso* (p. 15).

Canizal, V., & Noe, F. (2017). Evaluación del comportamiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) mediante la aplicación de fertilizantes orgánicos e inorgánicos bajo condiciones de Casa sombra.

De la Cruz, J. F., Batista, Y. S., & Torres, Á. S. (2011). Empleo de micorriza y humus de lombriz líquido (Liplant) para la producción de posturas en el cultivo del tomate bajo los principios de la agricultura sostenible. Revista Granma Ciencia. Vol., 15 (3).

De la Rosa-Mera, C., Ferrera - Cerrato, R., Alarcón, A., Sánchez-Colín, M. D. J., & Franco-Ramírez, A. (2012). Aislamiento de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares de plantas medicinales y su efecto en el crecimiento de vinca (*Catharanthus roseus*). Revista chilena de historia natural, 85(2), 187-198.

Espinosa-Morales, l. (2015). Evaluación de calidad en frutos de Tomate variedad Rio Grande al inocular micorrizas Nativas y comerciales con lombri composta. UAAAN. División de Agronomía. Departamento de Horticultura. Saltillo, Coahuila, México.

Figueroa, D., Barea, J. M., & A Viedma, J. F. (2001). Crecimiento y asimilación de nutrientes en cuatro especies arbustivas, sometidas a micorrización y adición de compost en condiciones semiáridas. In Congresos Forestales.

García-Hernández, J.L., Orona-Castillo, I., Salazar-Sosa, E., Vázquez-Vázquez, C.,. Zuñiga-Tarango, R., López-Martínez, J.D. y Rueda-Puente, E.O. (2010). Filosofía, desarrollo y adopción de la agricultura orgánica: el caso de México. AgroFaz 10: 19.

Guzmán, G.I. y González, M. (2009). Preindustrial agriculture versus organic agriculture. The land cost of sustainability. Land Use Policy 26: 502-510.

Kosuta, S., Winzer, T., & Parniske, M., (2005) Arbuscular mycorrhiza. En: Márquez AJ (ed) Lotus japonicus Handbook: 87-95. Springer, Dordrecht, The Netherlands.

Manjarrez-Martínez, M. J., Ferrera-Cerrato, R., & González - Chávez, M. C. (1999). Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. Terra, 17(1), 9-15.

Márquez-Hernández, C., Cano-Ríos, P., Figueroa - Viramontes, U., Avila-Diaz, J. A., Rodríguez-Dimas, N., & García-Hernández, J. L. (2013). Rendimiento y calidad de tomate con fuentes orgánicas de fertilización en invernader. *Phyton (Buenos Aires)*, *82*(1), 55-61.

Molina, L., Mahecha, L., & Medina, S. (2005). Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias, 18(2), 162-175.

Ochoa-Martínez, E., Figueroa-Viramontes, U., Cano-Ríos, P., Preciado-Rangel, P., Moreno-Reséndez, A., & Rodríguez-Dimas, N. (2009). Té de composta como fertilizante orgánico en la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura*, *15*(3), 245-250.

Puebla Hernández, O. (2012). Aplicación de composta, micorriza (*Glomus intraradices*) y ácidos húmicos en la producción de lechuga (*Latuca sativa*) (Doctoral dissertation, Facultad de Agronomía).

Ramírez-Hernández, E. Y., & Mendoza-Villareal, R.D.A. (2014). Efecto de Micorrizas Sobre Caracteres Morfológicos y Micorrización en Plántulas de Huizache (*Acacia farnesiana*. L Willd).

Raviv, M.; Oka, Y.; Katan, J.; Hadar, Y.; Yogev, A.; Medina, S.; Krasnovsky; A.; Ziadna, H. 2004. High – nitrogen compost as a medium for organic container-grown crops. Bioresource Technology; 96 (4): 419-427.

Rippy, J. F. M.; Peet, M. M.; Louis, F. J. and Nelson, P. V. 2004. Plant development and harvest yield of greenhouse tomatoes in six organic growing systems. Hortscience 39 (2): 223-229.

Rodríguez-Yon, Y., Pons, N., Fernández-Martín, F., & Rodríguez-Hernández, P. (2004). Estudio comparativo del comportamiento de seis cepas de hongos micorrízicos arbusculares en su interacción con el tomate (*Lycopersicon esculentum* M. var" Amalia"). *Ecología aplicada*, *3*(1-2), 162-171.

Soil, F. (2000). Simbiosis micorrízica y vermicomposta en el desarrollo de portainjertos de Aguacates crecidos en sustratos agrícola y forestal. Mycorrhizal symbiosis and earthworm compost on avocado rootstock development grown on agricultural.

Smith, S.E. and D.J. Read. 1997. Mycorrhizal symbiosis. 2nd ed. Academic Press. New York, EEUU. 605 pp

Trejo, D., Ferrera, R., García, R., Varela, L., Lara, L., & Alarcón, A. (2011). Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y campo. *Revista chilena de historia natural*, *84* (1), 23-31.

Velasco, V. J., Ferrera - Cerrato, R., & Suárez, J. A. (2001). Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra*, *19* (3), 241-248

CAPÍTULO II. RESPUESTA DEL TOMATE CULTIVADO EN UN SUELO ENMENDADO CON UN CONSORCIO DE HONGOS MICORRIZÍCOS NATIVOS Y COMPOSTA

Mis-Bautista, N.[1]., *Alvarado-López, C. J. [1,2]., Tun-Suárez J. M. [1]., Garruña-Hernández R.[1, 2]., Cristóbal-Alejo J. [1].

[1] Tecnológico Nacional de México, División de Estudios de Posgrado e Investigación, Instituto Tecnológico de Conkal, [2] Catedrático CONACYT. Avenida Tecnológico S/N, Conkal, Yucatán, México. C. P. 97345.

*E-mail: carlos.alvarado@itconkal.edu.mx

2.1 RESUMEN

Las técnicas actuales de producción agrícola deben estar enfocadas al uso eficiente de los recursos naturales, lo cual, tiende a incluir tres componentes importantes: microorganismos nativos, abonos orgánicos y cultivos de interés agrícola. El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto del uso de un consorcio de hongos micorrízicos nativos y diferentes proporciones de composta sobre plantas de tomate cultivadas en un suelo pobre. El diseño experimental fue bloques completos al azar con arreglo factorial de 4x2x2, donde el factor A son los niveles de composta (0, 25, 50 y 75% v/v), el factor B corresponde a la presencia o ausencia del consorcio de HMA nativo y el factor C sustratos esterilizados y no esterilizados; se establecieron como testigos plantas con fertilización convencional en sustrato estéril y no estéril, la unidad experimental fue tres plantas por tratamiento por bloque con un total de cuatro bloques, el bloqueo estuvo en función de la luz bajo una estructura protegida. La composta al 50% tuvo un efecto en el 90% de las variables evaluadas por lo que representa medias con diferencias estadísticamente significativas (Tukey α=.05), en cuanto a las interacciones entre la composta y el consorcio de HMA se presentan diferencias estadísticamente significativas en la altura, botón floral, frutos cosechados y hoja seca, estas interacciones son limitadas debido a que la composta cuenta con alta cantidad de materia orgánica lo que limita la efectividad del consorcio de HMA nativo y que sea dependiente de ciertas condiciones como nutrición. El tratamiento con presencia del HMA+ sustrato esteril+ 25% de composta (+E25%) presenta el mayor número de frutos cosechados con trece frutos en promedio por planta y presenta un 28% de aborto floral; por otro lado la composta mejora la estructura del suelo de un suelo pobre y la esterilización únicamente contribuye a eliminar patógenos y otros organismos presentes en el suelo.

Palabras clave: Agricultura orgánica, composta, hongos micorrízicos nativos.

ABSTRACT

Current agricultural production techniques should be focused on the efficient use of natural resources, which tends to include three important components: native microorganisms, organic fertilizers and crops of agricultural interest. The objective of the present work was to evaluate the effect of the use of a consortium of native mycorrhizal fungi and different proportions of compost on tomato plants cultivated in a poor soil. The experimental design was randomized complete blocks with a factorial arrangement of 4x2x2, where factor A is composite levels (0, 25, 50 and 75% v / v), factor B corresponds to the presence or absence of the HMA consortium native and factor C sterile and non-sterilized substrates; plants with conventional fertilization on sterile and non-sterile substrate were set up as controls, the experimental unit was three plants per treatment per block with a total of four blocks, the block was as a function of light under a protected structure. The 50% composite had an effect on 90% of the variables evaluated by means of means with statistically significant differences (Tukey $\alpha = .05$), in terms of interactions between the compost and the HMA consortium, there are statistically differences significant in height, floral bud, harvested fruits and dry leaf, these interactions are limited because the compost has high amount of organic matter which limits the effectiveness of the native HMA consortium and is dependent on certain conditions such as nutrition. The treatment with the presence of the HMA + substrate + 25% of compound (+ E25%) presents the highest number of fruits harvested with thirteen fruits in average per plant and presents a 28% of floral abortion; on the other hand the compost improves the soil structure of a poor soil and the sterilization only contributes to eliminate pathogens and other organisms present in the soil.

Key words:

Organic agriculture, compost, native mycorrhizal fungi.

2.2 INTRODUCCIÓN

El tomate es un cultivo que se desarrolla en todas las entidades del país; las cinco principales son Sinaloa (551 mil toneladas), San Luis Potosí (296.8 mil toneladas), Baja California (225.9 mil toneladas), Zacatecas (185.2 mil toneladas) y Michoacán (178.2 mil toneladas), en conjunto, estos estados aportan el 20, 11, 8.2, 6.7 y 6.4 por ciento del volumen nacional respectivamente (SAGARPA, 2017). Esta producción se realiza bajo condiciones de invernadero, sin embargo, la tendencia de los consumidores hacia la demanda de alimentos producidos en procesos inocuos y amigables con el ambiente va en aumento en el mundo (Nieto-Garibay *et al.*, 2010), por ejemplo, México se ha ubicado en el ámbito internacional como productor-exportador de productos ecológicos más que como consumidor (Gómez *et al*., 2004; Márquez-Hernández *et al.*, 2010), cerca del 85% de la producción orgánica en México se destina a la exportación debido a la poca demanda en el mercado local y a la falta de un cambio de conciencia en el ámbito social, económico y ambiental para consumir este tipo de hortalizas (Márquez-Hernández *et al.*, 2010).

Así mismo, la creciente preocupación por el uso intensivo de la tierra y las inadecuadas prácticas de manejo con llevan a un deterioro de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, por lo tanto, una de las alternativas es retomar las técnicas convencionales de laboreo que aumentan la velocidad de degradación de los residuos vegetales e incrementan el proceso de mineralización de la materia orgánica del suelo (Espinosa-Victoria y Brito-Vega 2010).

Por lo anterior, es necesario encontrar alternativas de fertilización, económicas y más eficientes (Márquez-Hernández *et al.*, 2010). Bajo este contexto, es importante integrar dos componentes en los sistemas agrícolas, la biofertilización mediante el empleo de microorganismos benéficos como los hongos micorrízicos arbusculares nativos cuya acción facilita la asimilación de nutrientes por la planta; y el compostaje como una actividad que más allá de ser un abono rico en nutrientes para suelos agrícolas, adquiere valores agregados cuando se utiliza en la agricultura orgánica como principal fuente de nutrición, y como la solución a una gran parte de la problemática del mal manejo de los residuos orgánicos (Nieto-Garibay *et al*., 2010). El presente estudio tuvo como objetivo general: evaluar el efecto de un consorcio de hongos micorrízicos nativos y diferentes proporciones de composta en el cultivo de tomate.

2.3 MATERIALES Y MÉTODOS

2.3.1 Sitio experimental

El experimento en campo se estableció en la Unidad Académica Bachillerato con Interacción Comunitaria de la UADY ubicada al sur del municipio de Mérida, Yucatán (20^0 53′ 51.7″ norte y 89° 39′ 21.4″ oeste). El municipio cuenta con una altitud de 8 metros sobre el nivel medio del mar, el clima es cálido, húmedo con lluvias en verano (junio a octubre) y una temperatura media mensual de 25ºC (Servicio Meteorológico Nacional, 2016).

Para el establecimiento del experimento se utilizaron semillas de tomate variedad Rio Grande las cuales fueron desinfectadas con hipoclorito de sodio al 2% y posteriormente sembradas en charolas de polietileno de doscientas cavidades, se utilizó sustrato comercial Sun Shine previamente esterilizado en autoclave. Durante la etapa de semillero se aplicó semanalmente el inoculo liquido de hongos micorrízicos nativos a razón de 2ml por plántula^{-1}. A los 35 dds (días después de la siembra) se realizó el trasplante en bolsas de polietileno de color negro de 10L, las cuales fueron previamente llenadas con una mezcla de suelo rojo y diferentes niveles de composta.

El ciclo vegetativo del cultivo se dividió en cuatro fenofases: trasplante: 28 dds (días después de la siembra), crecimiento: de los 35 a 63 ddt, floración: de los 70 a los 98 ddt y fructificación: de los 105 a los 168 ddt. Las variables evaluadas fueron: diámetro basal, altura de la planta, número de botones, número de flores, número de frutos maduros y peso fresco de los frutos, área foliar (cm^2), rendimiento, volumen de la raíz (cm^3) y longitud de la raíz (cm), peso fresco (g) y peso seco del tallo, hoja y raíz (g); porcentaje de colonización y variables fisiológicas: fotosíntesis ($\mu mol.m^{-2}s^{-1}$), conductancia estomática ($\mu mol.\ m^{-2}\ s^{-1}$), carbono intracelular ($mmol.mol^{-1}$), transpiración ($mmol.m^{-2}s^{-1}$), uso eficiente del agua ($\mu mol.mmol^{-1}$) e índice de clorofila (unidades SPAD). El manejo agronómico corresponde a lo reportado por López-López *et al*., 2014.

Las variables físico-químicas analizadas del sustrato fueron: pH, conductividad eléctrica, materia orgánica, relación N, P, K, Da, porosidad y textura.

2.3.2 Hongos micorrízicos nativos

Se utilizó suelo agrícola procedente del municipio de Oxkutzcab, Yucatán, el suelo utilizado pertenece al cultivo de hierbabuena (*Mentha spicata* L.), rábano (*Raphanus raphanistrum subsp. sativus*), arboles de jabín (*Piscidia piscipula*) y cítricos (*Citrus*). Este suelo agrícola fue mezclado con sustrato previamente esterilizado en autoclave, posteriormente, como cultivo trampa se utilizó plantas de tomate variedad Rio Grande establecidas bajo la metodología de Stutz y Morton (1996).

A los cuarenta días después de la siembra en semillero se utilizó la técnica de tinción de raíces de Rodríguez-Yon *et al.,* (2015) para poder conocer si existía presencia de estructuras morfológicas del consorcio de hongos micorrízicos nativos.

Para el inoculo liquido se molió 25g de raíz obtenidas del cultivo trampa con 500ml agua destilada estéril, posteriormente fue puesto en frasco ámbar y conservado en refrigeración hasta su utilización.

2.3.3 Elaboración del abono orgánico

Para la elaboración de la composta convencional se utilizaron cinco especies vegetales (*Ceiba pentandra, Salvia Officinalis L., Bougainvillea spp.,* residuos de cosecha y maleza) y estiércol de bovino en una relación 1:1 v/v. Se empleó la técnica de volteo durante tres meses, para el control de la temperatura y humedad (Figueroa-Viramontes *et al*., 2010). Se utilizó suelo rojo para las mezclas con el abono orgánico (composta). Se esterilizó por vaporización a través de un equipo marca “Siux” modelo SF-11. La temperatura a la cual se mantuvo fue de 85ºC durante 60 minutos a 15 PSI (Carrasco y Riquelme, 2013). Cabe mencionar que fue un suelo comercial adquirido de un vivero y cuyos análisis a partir de un Espectrofotómetro de florescencia de rayos X marca Bruker M4 Turner son los siguientes: P: 0%, K: 2.34%, Ca: 24.43%, Mg: 0%, Mn: .14%, Fe: 10.54%, Cu: 0%, Zn:.02%, Al: 1.22%, S:0%, Si: 1.93 %, de acuerdo a lo reportado por Urrestarazu-Gavilán (2004), estos nutrientes esenciales se encuentran en valores críticos a excepción del K y Ca.

2.3.4 Diseño experimental

El diseño experimental fue de bloques completos al azar con arreglo factorial de 4x2x2, en donde el factor A son los diferentes niveles de composta (0, 25, 50 y 75 % v/v), el factor B es la presencia o ausencia del consorcio de hongos micorrízicos arbusculares nativos (aquellos tratamientos que fueron inoculados y no inoculados), y el factor C corresponde a la competencia con otros microorganismos, es decir, aquellos sustratos que fueron esterilizados y no esterilizados. Debido a que el diseño no considera un testigo como tal se planteó el establecimiento de dos tratamientos testigos con nutrición convencional (Soria-Fregoso, *et al*., 2002) uno con sustrato estéril y uno no estéril. El número de bloques considerados para cada tratamiento fueron cuatro, el bloqueo estuvo en función de la luz.

Para el análisis de datos se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 20. Se discriminó aquellas variables y factores que no tuvieron diferencias estadísticas. Se realizó la comparación de medias Tukey (α=0.05) para las variables, los factores y las interacciones que tuvieron diferencia significativa.

2.4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.4.1 Efecto de la composta en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum)*

Las plantas con composta al 25% representan los valores más altos para la variable diámetro basal, altura, número de botones y uso eficiente del agua con 3.00 mm, 232.99 cm, 35.87 y 1.55 ($\mu mol.mmol^{-1}$) en promedio respectivamente, debido a que el K y Ca se encuentra en un intervalo de suficiencia (Urrestarazu-Gavilán, 2004) para que los procesos de elongación y división celular se lleven a cabo, además, estos elementos le proporcionan vigor y rigidez a la planta, sin embargo, el número de flores y área foliar aumenta en promedio al 50% de composta debido al K (22.60%) que promueve la floración en plantas (Rodríguez-Ortiz, 1998). El 25, 50 y 75% de composta son iguales estadísticamente para la variable número de frutos por planta y peso de frutos. Manjarrez-Martínez (1999), describe que este efecto tan heterogéneo en estas variables se debe a la disponibilidad de los nutrientes del sustrato, por ejemplo, algunos elementos se presentan cuando aumenta los porcentajes de composta y otros disminuyen por la incorporación de algún porcentaje de composta, por lo que se presenta un efecto heterogéneo en una o más variables (Cuadro 2.1).

Las variables evaluadas en la raíz presentaron diferencias significativas para los porcentajes de composta, siendo el 50% quien presentó los valores más altos 4.20 (g), 63.31 (cm) y 39.37 (cm^3) para peso seco, longitud y volumen respectivamente. Debido a que en este porcentaje existe una mayor disponibilidad de calcio (20.96%) en el sustrato lo que promueve un desarrollo radicular mayor (Villegas-Torres *et. al.*, 2005; Rodríguez-Suppo, 1996).

En las variables fisiológicas se presenta diferencias significativas en conductancia estomática, carbono intracelular y transpiración, el tratamiento con 0% de composta presenta las medias más altas con 0.31 ($\mu mol.\ m^{-2}\ s^{-1}$), 323.56 ($mmol.mol^{-1}$) y 7.44 ($mmol.m^{-2}s^{-1}$) respectivamente en comparación con los otros porcentajes de composta. De acuerdo con Urrestarazu-Gavilán (2004), el potasio (2.34%) se encuentra en un nivel crítico, como consecuencia de este nivel crítico se presentan las medias más altas en estas variables (Velasco *et al*., 2001), debido a que el potasio juega un papel importante en mantener el potencial osmótico a nivel celular, en especial en la apertura de los estomas (Huber, 1985) y en la captación de agua del suelo, retención de agua en los tejidos vegetales y transporte a larga distancia de agua y asimilados en el floema y xilema (Mengel, 1985).

Cuadro 2.1. Efecto de la composta sobre las variables agronómicas y fisiológicas evaluadas a los 150 ddt.

Variable	% de composta (v/v)			
	0	**25**	**50**	**75**
Conductancia estomática (μmmol.m^{-2}s^{-1})	0.31 a	0.18 c	0.23 b	0.19 c
Carbono intracelular (mmol.mol^{-1})	323.56 a	290.89 c	301.20 b	291.55 c
Transpiración (mmol.m^{-2}s^{-1})	7.44 a	4.81 c	6.00 b	5.25 c
Diámetro basal (mm)	1.65 c	3.00 a	2.52 b	2.50 b
Altura (cm)	121.04 c	232.99 a	226.74 b	223.05 b
Número de botones	6.12 c	35.87 a	30.56 b	30.62 b
Uso eficiente del agua (μmol.mmol^{-1})	1.00 d	1.55 a	1.38 c	1.51 b
Número de flores	2.81 c	28.00 a	25.87 a	19.06 b
Área foliar (cm^2)	1862.9 d	10817.4 b	11567.5 a	9553.5 c
Índice de clorofila (unidades Spad)	28.63 c	39.31 b	40.94 a	41.65 a
Número de frutos por planta	0.00 b	6.00 a	6.00 a	6.00 a
Peso de frutos (g planta^{-1})	0.00 b	257.12 a	292.31 a	302.56 a
Peso seco de la raíz (g)	0.75 c	2.61 b	4.20 a	3.90 a
Longitud de la raíz (cm)	29.31 c	60.96 a	63.31 a	47.09 b
Volumen de la raíz (cm^3)	4.68 d	21.43 c	39.37 a	34.84 b

Medias con distinta literal presentan diferencias estadísticas, Tukey α=0.05

2.4.2. Efecto del consorcio de HMA nativo y el sustrato en tomate

Independientemente de la condición del sustrato y de los niveles de composta el efecto del consorcio de HMA nativo no presentó una respuesta positiva en ninguna de las 21 variables evaluadas debido a que el fósforo presente en el sustrato se encontraba en niveles críticos de acuerdo a Urrestarazu-Gavilán (2004) ocurrió de esta manera un rápido agotamiento de este elemento en la zona de crecimiento radical (Rivera *et al.*, 2003), sin embargo, la ausencia del consorcio en sustrato estéril o no estéril presenta diferencias para frutos cosechados por planta, peso de frutos e índice de clorofila esto como consecuencia a múltiples factores como la disponibilidad de nutrientes en el suelo principalmente fósforo que influye en la calidad de los frutos (Urrestarazu-Gavilán, 2004), la afinidad con otros microorganismos nativos, a las condiciones del ambiente como la temperatura y humedad del sustrato (Ruiz-Sánchez *et al*., 2012), a un desarrollo lento de los HMA nativos (Soil,

2000), o bien un efecto inhibitorio por una alta presencia de nitrógeno en forma de NH^{+}_{4} que propicia un efecto supresor debido a un cambio de pH en la rizosfera (Pérez *et al*., 2010).

En cuanto al efecto de la esterilización del sustrato, de las 21 variables evaluadas el sustrato no esterilizado presentó diferencias estadísticas para altura y peso seco de la raíz, el sustrato esterilizado únicamente presentó un efecto positivo para número de frutos por planta y peso de frutos. Mientras algunas variables son favorecidas por acción de la estructura natural de un sustrato otras son limitadas (Márquez-Hernández *et al.*, 2010).

Cuadro 2.2. Efecto del consorcio de HMA nativo y la condición del sustrato en *Solanum lycopersicum* a los 150 ddt.

Variable	**Inoculados con el consorcio de HMA nativo**	**No inoculados con el consorcio de HMA nativo**
Número de Frutos cosechados por planta	2 b	5 a
Peso de frutos (g planta^{-1})	158.68 b	269.81 a
Índice de clorofila (unidades Spad)	35.71 b	39.56 a
Variable	**Sustrato esterilizado**	**Sustrato no esterilizado**
Altura (cm)	193.57 b	208.34 a
Peso seco de la raíz (g)	2.43 b	3.31 a
Número de frutos por planta	6 a	2 b
Peso de frutos (g planta^{-1})	285.62 a	142.87 b

Medias con distinta literal presentan diferencias estadísticas, Tukey α=0.05

2.4.3. Efecto de la interacción de los tres factores

En cuanto a las interacciones de los tres factores se presentan diferencias significativas para los 18 tratamientos evaluados de los cuales el tratamiento -E75% (Figura 2.1) representa los valores más altos para la variable número de botones seguido del tratamiento +E25% con 50 y 45 botones en promedio respectivamente, sin embargo, en la Figura 2.2 el tratamiento -E75% representa uno de los tratamientos con el menor número de frutos cosechados por planta debido a que presentó tres frutos cosechados en promedio por lo que se sugiere un alto porcentaje de aborto floral como consecuencia de la disponibilidad de nutrientes como P, K Ca que a pesar de estar presente en el sustrato con 0.02, 2.77 y

24.21% respectivamente se ubicó en sus niveles críticos según Urrestarazu-Gavilán (2004) por lo que fue difícil mantener los botones floreales que el tratamiento presentó para obtener rendimientos satisfactorios (Hernández y Chailloux, 2004; Elein *et. al.*, 2005), y el tratamiento +E25% de ocupar el segundo lugar con un alto número de botones florales pasa a ser el primero en número de frutos cosechados con trece frutos en promedio.

En el tratamiento +E75% se registraron treinta y dos botones florales y se presentó únicamente un 37.5% de aborto floral, por lo tanto fue uno de los tratamientos con menor aborto floral y uno de los tratamiento con el mayor número de frutos cosechados con doce frutos por planta (Figura 2.2) este efecto se debe a la disponibilidad de nutrientes presentes que a pesar de estar en sus niveles críticos Urrestarazu (2004) permite mantener esta cantidad de frutos (Hernández y Chailloux, 2004).

Los tratamientos -E0% y -SNE0% independientemente de las interacciones estos representaron los valores más bajos en el número de botones florales con ocho y tres botones respectivamente, en la Figura 2.2 se presentan como los tratamientos que no tuvieron un efecto positivo en la variable frutos cosechado, lo que sugiere un 100% de aborto floral debido a que no se presentó frutos en estos tratamientos. Estas interacciones son limitadas debido a que la composta cuenta con alta cantidad de materia orgánica lo que limita la efectividad del consorcio de HMA nativo haciendo que sea dependiente de ciertas condiciones como la esterilidad y nutrición (Velasco *et al*., 2001; Pérez y Sales, 2013).

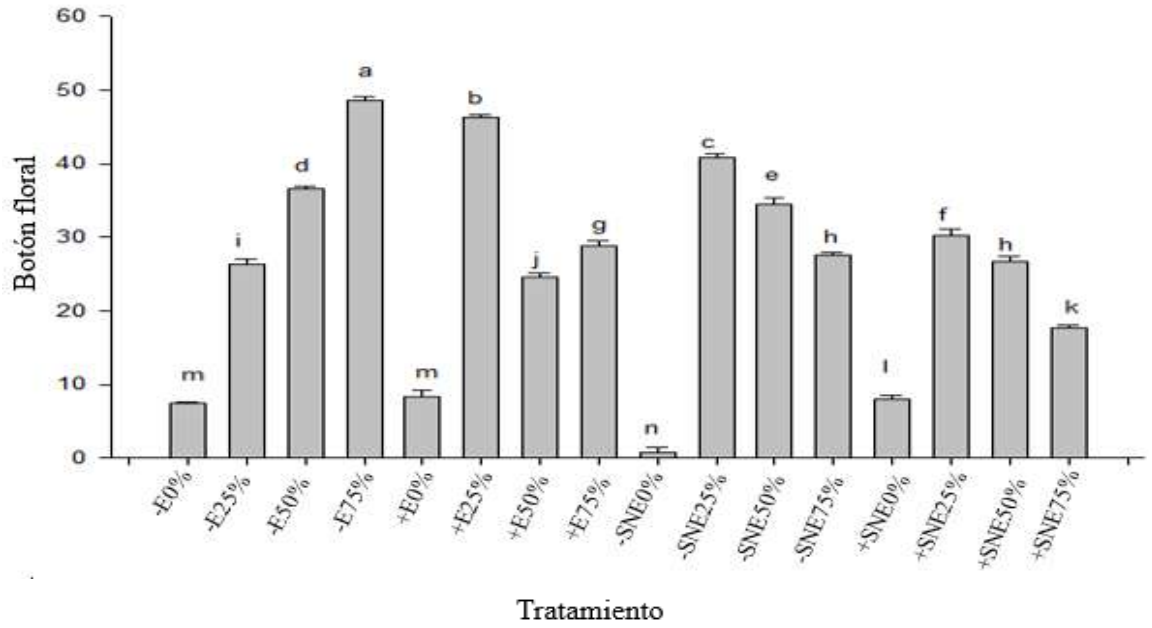

Figura 2.1. Efecto de la interacción de los tres factores en el número de botones florales de *Solanum lycopersicum* a los 150 ddt.
Medias con distinta literal presentan diferencias estadísticas, Tukey α=0.05. **-:** Ausencia del consorcio de HMA nativo. **+:** Presencia del consorcio de HMA nativo. **E:** Sustrato Esterilizado. **SNE:** Sustrato No Esterilizado. **Composta:** 0, 25, 50 y 75 %.

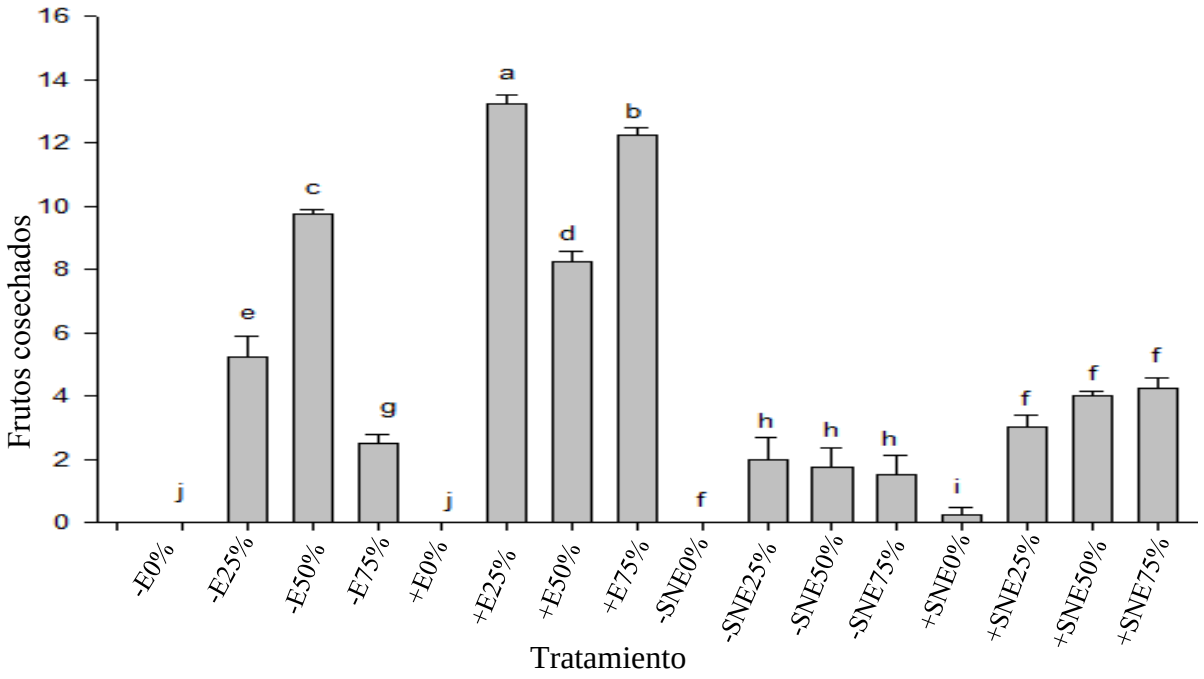

Figura 2.2. Efecto de la interacción de los tres factores en el número de frutos cosechados de *Solanum lycopersicum* a los 150 ddt.
Medias con distinta literal presentan diferencias estadísticas, Tukey α=0.05. **-:** Ausencia del consorcio de HMA nativo. **+:** Presencia del consorcio de HMA nativo. **E:** Sustrato Esterilizado. **SNE:** Sustrato No Esterilizado. **Composta:** 0, 25, 50 y 75 %.

2.4.4. Porcentaje de colonización

El mayor porcentaje de colonización con sustrato esterilizado se registró en el tratamiento con presencia + sustrato estéril + 25% (+E25%) seguido del tratamiento con presencia + sustrato estéril + 75% (+E75%), a pesar de haber obtenido un 42 y 31.1% de colonización respetivamente, Ramírez-Hernández *et. al.,* (2014) reporta que una colonización alta se encuentra por arriba del 60%, por lo tanto el porcentaje de colonización obtenido fue bajo lo cual se atribuye a una zona de agotamiento del fosforo (Fernández, 2003) que se ubicó en niveles críticos según Urrestarazu-Gavilán (2004).

Se presentó contaminación en los tratamientos ausencia + sustrato estéril + 0% (-E0%), ausencia + sustrato estéril + 50% (-E50%), ausencia + sustrato estéril + 75% (-E75%), sin embargo no fue mayor al 2.22%. En los sustratos no esterilizados se presentó colonización en todos los tratamientos a excepción del tratamiento presencia + sustrato no estéril + 0% (+SNE0%), los tratamientos con mayor porcentaje fueron ausencia + sustrato no estéril + 75% (-SNE75%) y presencia + sustrato no estéril + 75% (+SNE75%) con un 35.55 y 26.60% respectivamente, debido a que el suelo tenía una estructura natural permitiendo de esta manera una fácil asociación simbiótica (Caro *et al*., 2012; Franco, 2006).

2.5 CONCLUSIONES

En un suelo pobre la incorporación de composta y la aplicación de un consorcio de HMA mejora el desarrollo de las plantas de tomate, sin embargo, no sustituye la fertilización química para tener una buena producción.

La interacción consorcio de hongos micorrízicos nativos-composta presenta un efecto positivo al 25%.

El efecto de los HMA no fue tan marcado, por lo que no se puede concluir sobre su respuesta a la posible competencia con otros microorganismos del suelo.

Los suelos que se comercializan en invernaderos de la región no son aptos para cultivos, por lo que se recomienda el uso de enmiendas y HMA combinados con nutrición química.

2.6 AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan sus agradecimientos al Concejo Nacional de Ciencia y Tecnología por la beca otorgada. Al Instituto Tecnológico de Conkal por las facilidades otorgadas para los trabajos de laboratorio y a la Unidad Académica Bachillerato con Interacción comunitaria de la Universidad Autónoma de Yucatán por las facilidades otorgadas en su invernadero.

2.7 LITERATURA CITADA

Caro, M. L. L., Gutiérrez, K. F., Osorio, C. Ú., & Sánchez, D. C. (2012). Efecto de la inoculación de hongos micorriza arbuscular y aplicación de fertilizantes sobre la calidad nutricional de pasto kikuyo.

Carrasco, J. J., & Riquelme, S. J. (2013). Alternativas de desinfección de suelo, en la producción de tomates en invernadero de Colín. Capítulo 5: Vaporización sustratos. Boletín INIA, Núm. 155.

Elein, T. A., Leyva, Á., & Hernández, A. (2005). Microorganismos benéficos como Biofertilizantes eficientes para el cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum*, Mill). Revista colombiana de Biotecnología, 7(2), 47.

Espinosa-Victoria, D., & Brito – Vega, H. (2010). Relaciones anisosimbióticas y la trasformación del material orgánico del suelo. *Agricultura Orgánica*, 29.

Figueroa-Viramontes, R., Vazquez V. C, Berumen P. S., Zuñiga T. R., Orona C. I., Gallegos P. A. (2010). Desarrollo del cultivo de tomate con diferentes tipos de estiércol y dos métodos de composteo bajo condiciones de un invernadero rústico en la comarca lagunera. División de Estudios de Postgrado de la Facultad de Agricultura y Zootecnia de la Universidad Juárez del Estado de Durango (DEP-FAZ-UJED).

Franco, J. T. (2006). Selección en invernadero de inóculos de micorriza arbuscular (MA) para el establecimiento de la alfalfa en un Andisol de la Sabana de Bogotá. Universitas Scientiarum, 11, 87-103.

Gómez, C. M. A., Gómez T. L. y Schwentesius R. S. 2004. Agricultura orgánica. Mercado internacional y propuesta para su desarrollo en México, reporte de

investigación No. 62. 2ª Impresión. CIESTAAM, Chapingo, Edo. de México, 58 pp.

Hernández, M. I., & Chailloux, M. (2004). Las micorrizas arbusculares y las bacterias rizosfericas como alternativa a la nutrición mineral del tomate. Cultivos Tropicales, 25(2), 5-13.

Huber, S. C. (1985). Role of potassium in photosynthesis and respiration. En: R. D. Munson (Ed.) Potassium in Agriculture. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, WI pp. 369-391.

López-López, G., Magaña-Lira, N., García-Buendía, A.C. (2014). Programa Integral de Desarrollo Rural 2014 Componente de Agricultura Familiar Periurbana y de Traspatio. Ficha Técnica. México

Manjarrez-Martínez, M. J., Ferrera-Cerrato, R., & González-Chávez, M. C. (1999). Efecto de la vermicomposta y la micorriza arbuscular en el desarrollo y tasa fotosintética de chile serrano. Terra, 17(1), 9-15.

Márquez - Hernández, C., Cano-Ríos, P., García-Hernández, J. L., Rodríguez-Dimas, N., Preciado-Rangel, P., Moreno-Resendez, A., & De la Cruz Lázaro, E. (2010). Agricultura orgánica: El caso de México. *Agricultura Orgánica, Tercera parte. Primera edición. Universidad Juárez del Estado de Durango*, 1-2.

Mengel, K. (1985). Potassium movements within plants and its importance in assimilate transport. En: R. D. Munson (Ed.) Potassium in Agriculture, American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, and Soil Science Society of America, Madison, WI. Pp. 397-409.

Nieto-Garibay, A., Murillo-Amador, B., Troyo-Diéguez, E., Beltrán-Morales, A., Ruíz-Espinoza, F. H., & García-Hernández, J. L. (2010). Aprovechamiento de residuos orgánicos de origen animal, vegetal y doméstico para la elaboración y uso de composta en la agricultura orgánica. *Agricultura Orgánica*, 69.

Pérez, A., Sierra, J. R., & Fuentes, J. (2010). Determinación de un modelo logístico para Evaluación in situ de la colonización de micorrizas en pasto *Dichanthium aristatum* (L). Revista Colombiana de Ciencia Animal, 2 (1), 73-84.

Pérez, Y. M., & Sales, J. B. (2013). Comunicación corta. Funcionamiento de la inoculación líquida con hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Cultivos Tropicales, 34(4), 5-8.

Ramírez-Hernández, E. Y., & Mendoza-Villareal, R.D.A. (2014). Efecto de Micorrizas Sobre Caracteres Morfológicos y Micorrización en Plántulas de Huizache

(*Acacia farnesiana*. L Willd).

Rivera, R. y Fernández, K. (2003). El Manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso: El Caribe. La Habana: Ediciones INCA, 2003. p. 13-48. ISBN: 959-7023-24-5.

Rodríguez-Ortiz, J. C. (1998). Efecto del nitrógeno, fosforo y potasio en el crecimiento y producción de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill) Var. Floradade.

Rodríguez-Suppo, F. (1996). Fertilizantes: Nutrición vegetal. AGT Editor. Distrito Federal, México.

Rodríguez-Yon, J., Arias-Pérez, L., Medina-Carmona, A., Mujica-Pérez, Y., Medina-García, L. R., Fernández-Suarez, K., & Mena-Echeverría, A. (2015). Alternativa de la Técnica de tinción para determinar la colonización micorrízica. *Cultivos Tropicales*, 36 (2), 18-21.

Ruiz-Sánchez, M., Polón-Pérez, R., Vázquez-Del Llano, B., Muñoz-Hernández, Y., Cuéllar-Olivero, N., & Ruiz-Lozano, J. M. (2012). La simbiosis micorrizíca arbuscular en plantas de arroz (*Oryza sativa* L.) sometidas a estrés hídrico: Parte I. Mejora la respuesta fisiológica. Cultivos tropicales, 33(4), 47-52.

Servicio Meteorológico Nacional, consultado el 19 de diciembre del 2016. http://smn.cna.gob.mx/es/

Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, consultado en Enero de 2017. http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/bajacaliforniasur/boletines/2017/enero/Documents/2017BS019.

Soil, F. (2000) Simbiosis micorrízica y vermicomposta en el desarrollo de portainjertos de Aguacate crecido en sustratos agrícola y forestal. Mycorrhizal symbiosis and earthworm compost on avocado rootstock development grown on agricultural.

Soria-Fregoso, M., Rivero, J. T., Suárez, J. T., & Teran-Saldivar, R. (2002). Paquete Tecnológico para la producción de chile habanero (capsicum chinense jack). *Instituto Tecnológico de Mérida*, *2*, 3-74.

Stutz, J. C., & Morton, J. B. (1996). Successive pot cultures reveal high species richness of arbuscular endomycorrhizal fungi in arid ecosystems.*Canadian Journal of Botany*, *74*(12), 1883-1889.

Urrestarazu Gavilán, M. (2004). Tratado de cultivo sin suelo. Mundi-Presensa Mexico, S. A. de C. V.

Velasco, V. J., Ferrera-Cerrato, R., & Suárez, J. A. (2001). Vermicomposta, micorriza arbuscular y *Azospirillum brasilense* en tomate de cáscara. *Terra*, *19* (3), 241-248

Villegas-Torres, O. G., Sánchez-García, P., Baca-Castillo, G. A., Rodríguez-Mendoza, M. N., Trejo, C., Sandoval-Villa, M., & Cárdenas-Soriano, E. (2005) Crecimiento y Estado nutrimental de plántulas de tomate en soluciones nutritivas con diferente concentración de calcio y potencial osmótico. *Terra Latinoamericana*, 23 (1), 49-56.

2.8 ANEXO

1. **Efecto de la interacción composta y consorcio de HMA nativo en el cultivo de tomate.**

La composta en interacción con la presencia del consorcio nativo no presenta diferencias estadísticas en número de botones al 25, 50 y 75 %, la variable altura resulta estadísticamente igual al 25 y 50% de composta en interacción con la presencia del consorcio de HMA nativo, para el peso seco de la hoja el 50% de composta y el consorcio nativo presenta un efecto significativo en comparación con los otros porcentajes. La interacción entre la composta y el consorcio se presenta en algunas variables, lo que demuestra que el consorcio tiene respuesta bajo un cierto porcentaje de composta esto como consecuencia de la disponibilidad de nutrientes en el sustrato (De La Cruz *et al*., 2011). En cuanto a la composta y la interacción con la usencia del consorcio de HMA nativo se presenta diferencias significativas únicamente para frutos cosechados al 25 y 75% en relación a las otras interacciones. La riqueza de un sustrato puede estimular o inhibir el efecto de los HMA (De La Cruz *et al*., 2011). En este trabajo la composta al 50% presenta una interacción positiva al menos para altura, número de botones y peso seco de la hoja (Cuadro 3).

Cuadro 3. Efecto de la interacción composta y consorcio micorrizico nativo de HMA en *Solanum lycopersicum* a los 150 ddt.

Interacción composta y consorcio de HMA nativo	Altura (cm)	Número de botones	Peso seco de la hoja (gr)	Frutos cosechados por planta
+0%	91.88 e	4.12 c	1.13 e	0 e
+25%	241.16 a	33.50 a	19.41 b	4 c
+50%	240.46 a	35.50 a	23.42 a	6 b
+75%	225.80 b	38.00 a	13.38 c	2 d

-0%	150.21 d	8.12 c	3.37 d	0 e
-25%	224.81 b	38.25 a	15.23 c	8 a
-50%	213.02 c	25.62 b	14. 71 c	6 b
-75%	220.31 b	23.25 b	15.76 c	8 a

Medias con distinta literal presentan diferencias estadísticas, Tukey α=0.05. +: Presencia del consorcio de HMA nativo. -: Ausencia del consorcio de HMA nativo. Composta (0, 25,50 y 75%).

2. Efecto de los porcentajes de composta y la competencia con otros microorganismos sobre el cultivo de tomate *Solanum lycopersicum*

La composta en interacción con el sustrato esterilizado únicamente registró un efecto sobre el diámetro basal al 50%, y en frutos cosechados por planta lo presenta al 25 y al 50%. La efectividad del sustrato estéril se presenta únicamente en dos variables y bajo un porcentaje de composta específico lo que sugiere que la composta provee de los nutrientes suficientes a la planta al menos para un efecto positivo de estas dos variables.

Los porcentajes de composta en interacción con el sustrato no esterilizado presenta diferencias significativas al 25% para la variable número de flores, para altura al 25 y 50% son estadísticamente iguales, y para peso seco de la raíz se encuentran diferencias estadísticamente iguales al 50 y 75%. Por otro lado, independiente de la condición del sustrato (en términos de esterilidad y no esterilidad) y a un 0% de composta las plantas no producen fruto a pesar de que existe presencia de flores esto como consecuencia a que el aporte de nutrientes es muy limitado (Cuadro 4).

Cuadro 4. Efecto de la interacción composta y competencia con otros microorganismos presentes en el suelo sobre las variables evaluadas en *Solanum lycopersicum* a los 150 ddt.

Sustrato esterilizado	Diámetro (mm)	Altura (cm)	Número de flores	Frutos cosechados por planta	Peso seco de la raíz (g)
0	2.93 e	127.16 d	2.75 e	0 d	0.82 d
25	7.57 b	218.49 b	19.50 c	9 a	2.98 b
50	7.97 a	209.37 c	23.37 c	9 a	3.14 b
75	7.65 b	219.25 b	22.87 c	7 b	2.76 b
Sustrato no esterilizado					
0	3.52 d	114.92 e	2.87 e	0 d	0.68 d

25	6.41 c	247.48 a	36.50 a	2 c	2.24 c
50	7.56 b	244.11 a	28.37 b	3 c	5.25 a
75	7.44 b	226.86 b	15.25 d	3 c	5.05 a

Medias con distinta literal presentan diferencias estadísticas, Tukey α=0.05

3. Tratamientos con sustrato estéril

De los ocho tratamientos comparados con el control (sustrato estéril y fertilización convencional) el -E50% representa el tratamiento estadísticamente significativo con un efecto en más del 66.66% de las variables evaluadas, lo que sugiere que bajo este porcentaje, condición de esterilidad así como de la ausencia del consorcio de HMA nativo la composta provee de los nutrientes suficientes y necesarios al cultivo de tomate, por lo tanto, es posible sustituir la fertilización convencional. Así mismo, el tratamiento +E25% y +E75% presenta un efecto significativo en once variables, por otro lado, los tratamientos -E0% y +E0% son estadísticamente iguales entre sí y con el control, es decir, con o sin la aplicación de una fertilización convencional y bajo estas condiciones los efectos son los mismos (Cuadro 5).

Cuadro 5. Comparación de los tratamientos con sustrato estéril y control 1 **(**Fertilización convencional y sustrato estéril)

Variable	**Tratamiento**							
	-E0%	**-E25%**	**-E50%**	**-E75%**	**+E0%**	**+E25%**	**+E50%**	**+E75%**
Diámetro basal (mm)	NS	**	**	**	NS	**	**	**
Altura (cm)	NS	**	**	**	NS	NS	NS	**
Botón Floral	NS	NS	**	**	NS	**	NS	**
Frutos cosechados por planta	NS	NS	**	NS	NS	**	**	**
Peso de frutos (g)	NS	**	**	NS	NS	**	**	**
Peso fresco de raíz (g)	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Peso seco de raíz (g)	NS	NS	**	NS	NS	**	NS	NS
Volumen de raíz (cm^3)	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Peso fresco del tallo (g)	NS	**	**	**	NS	**	**	**
Peso seco de tallo (g)	NS	**	**	**	NS	**	**	**
Peso fresco de hoja (g)	NS	**	**	**	NS	**	**	**
Peso seco de hoja (g)	NS	**	**	NS	NS	NS	NS	NS
Área Foliar (m^2)	NS	**	**	**	NS	**	NS	**
Uso eficiente de agua	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	**
Índice de clorofila (Unidades Spad)	NS	**	**	**	NS	**	**	**

Prueba t de Dunnett para un nivel de significancia al .05. **NS:** No significativo. ****:** Estadísticamente significativo. **-:** Ausencia del consorcio de HMA nativo. **+:** Presencia del consorcio de HMA nativo. E: Sustrato estéril. Composta (0, 25, 50 y 75%).

4. Tratamientos con sustrato no estéril

De los ocho tratamientos comparados con el control (sustrato no estéril y fertilización convencional) el -SNE50% representa el tratamiento estadísticamente significativo con un efecto en más del 47% de las variables evaluadas, lo que sugiere que bajo este porcentaje, condición de esterilidad así como de la ausencia del consorcio de HMA nativo la composta es capaz de proveer nutrientes suficientes y necesarios al cultivo de tomate, por lo tanto, es posible sustituir la fertilización convencional aunque con un efecto en menos variables. Así mismo, el tratamiento +SNE75% presenta un efecto en siete variables. Por otro lado, los tratamientos -SNE0% y +SNE0% son estadísticamente iguales entre sí y con el control, es decir, con o sin la aplicación de una fertilización convencional y bajo estas condiciones los efectos son los mismos (Cuadro 6).

Cuadro 6. Comparación de los tratamientos con sustratos no estériles y control 2 **(**Fertilización convencional y sustrato no estéril)

Variables	**Tratamientos**							
	-SNE0%	**-SNE25%**	**-SNE50%**	**-SNE75%**	**+SNE 0%**	**+SNE 25%**	**+SNE50%**	**+SNE75%**
Diámetro basal (mm)	NS	**	**	**	NS	**	**	**
Altura (cm)	NS	**	**	NS	NS	NS	NS	NS
Floración	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
Frutos cosechados por planta	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**
Peso de frutos (g)	NS	NS	NS	NS	NS	NS	NS	**
Peso fresco de raíz (g)	NS	NS	**	**	NS	NS	**	**
Peso seco de raíz (g)	NS	NS	**	**	NS	NS	**	**
Longitud de raíz (cm)	NS	**	**	NS	NS	NS	NS	NS
Volumen de raíz (cm^3)	NS	NS	**	**	NS	NS	**	**
Peso fresco del tallo (g)	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Peso fresco de hoja (g)	NS	NS	**	NS	NS	**	NS	NS
Peso seco de hoja (g)	NS	NS	**	NS	NS	NS	NS	NS
Área Foliar (m^2)	NS	NS	NS	NS	NS	**	NS	NS
Índice de clorofila (Unidades SPAD)	NS	NS	**	**	NS	**	**	**

Prueba t de Dunnett para un nivel de significancia al .05. **NS:** No significativo. ****:** Estadísticamente significativo. **-:** Ausencia del consorcio de HMA nativo. +**:** Presencia del consorcio de HMA nativo. SNE: Sustrato no esterilizado. Composta (0, 25, 50 y 75%).