EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE CONKAL

APROVECHAMIENTO DE HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES PARA LA PRODUCCIÓN DE PORTAINJERTOS DE GUANÁBANA (*Annona muricata* L.)

TESIS

Que presenta:

Armando Jesús Lima Burgos

Como requisito parcial para obtener el grado de:

Maestro en Ciencias en Horticultura Tropical

Director de tesis:

Dr. Jairo Cristóbal Alejo

Conkal, Yucatán, México

Diciembre, 2019

TecNM

EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO
Instituto Tecnológico de Conkal

Conkal, Yucatán, México, 12 de Diciembre de 2019.

El comité de tesis del candidato a grado: Armando Jesús Lima Burgos, constituido por los CC. Dr. Jairo Cristóbal Alejo, Dr. Luis Leonardo Pinzón López, M.C. Daniel Eduviges Cituk Chan, y Dr. José María Tun Suarez, habiéndose reunido con el fin de evaluar el contenido teórico-metodológico y de verificar la estructura y formato de la tesis titulada: **APROVECHAMIENTO DE HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES PARA LA PRODUCCIÓN DE PORTAINJERTOS DE GUANÁBANA (*Annona muricata* L.)**, 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. Jairo Cristóbal Alejo
Director de Tesis

Dr. Luis Leonardo Pinzón López
Co-Director de Tesis

M.C. Daniel Eduviges Cituk Chan
Asesor de Tesis

Dr. José María Tun Suarez
Asesor de Tesis

Conkal, Yucatán, México, 12 de Diciembre 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.

Armando Jesús Lima Burgos

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por brindarme el apoyo económico para realizar mí estudio de Maestría.

A mi comité de tesis conformado por el Dr. Jairo Cristóbal Alejo, Dr. Luis Leonardo Pinzón López, M.C. Daniel Eduviges Cituk Chan, y Dr. José María Tun Suárez, por sus grandes aportaciones, conocimientos y su tiempo y honestidad

Al Dr. Jairo Cristóbal Alejo por sus grandes y puntuales contribuciones al presente trabajo, su paciencia, su dedicación, su disponibilidad, por la motivación y sobre todo por brindarme un enriquecimiento profesional y personal a base de su ejemplo.

A mis profesores que me impartieron materias en la maestría por sus horas de clases, sus conocimientos, dedicación y su calidad humana para realizar la presente investigación.

A mi familia, padres Gabriel Armando Lima Chulin y Aida Leticia Burgos Pérez y hermanos Aida Gabriela Lima Burgos y Kevin Francisco Lima Burgos a ellos por más que su apoyo, motivación e impuso para salir adelante con este trabajo y los consejos que me brindaron en mi desarrollo profesional.

Al amor de mi vida, mi esposa, mi mejor amiga y compañera de la misma generación de esta maestría la M.C. Leilani Sierra Martínez por su valioso tiempo, motivación, consejos y todo su apoyo incondicional en el tiempo trascurrido por dentro y por fuera del ámbito profesional.

A mis amigos del salón de clases Roberto Ruiz Santiago y Ángel Manuel Herrera Gorocica, por su apoyo incondicional en el salón de clases, trabajos en equipo, investigación y

conocimientos de gran valor y los buenos momentos que hicieron de esto una experiencia única.

INDICE GENERAL Página.

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS vii

RESUMEN viii

ABSTRACT ix

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL 1

1.1 Introducción 1
1.2 Antecedentes 2
1.2.1 La importancia de la guanábana en México 2
1.2.2 Situación actual de la producción de guanábanas 3
1.2.3 Manejo de la simbiosis micorrízica en la fruticultura 3
1.2.4 La guanábana (*Annona muricata* L.) 4
1.2.5 Propagación por semilla e injerto 4
1.3 Hipótesis 6
1.4 Objetivo 7
1.4.1 Objetivo general 7
1.4.2 Objetivos específicos 7
1.5 Procedimiento experimental 8
1.6 literatura citada 9

CAPÍTULO II. EFECTO DE CONSORCIOS DE HONGOS MICORRÍZICOS EN PORTAINJERTOS DE GUANÁBANA (*Annona muricata* L.) 12

2.1 Resumen 12
2.1 Abstract 13
2.2 Introducción 14
2.3 Materiales y métodos 15
2.3.1 Obtención de semillas de guanábana (*Annona muricata* L.) 15
2.3.2 Obtención de consorcios de HMA 15
2.3.3 Desinfección de suelo 16

2.3.4 Variables respuesta 18
2.3.5 Diseño experimental y análisis estadístico 19
2.5 Resultados y discusión 20
2.5.1 Crecimiento 20
2.5.2 Variables fisiológicas 23
2.5.3 Acumulación de fósforo y Colonización micorrízica total (%) 27
2.6 Conclusiones 29
2.7 Literatura citada 30
CÁPITULO III. CONCLUSIONES GENERALES 32

ÍNDICE DE CUADROS Y FIGURAS

		Página
Cuadro 2.1	Tratamientos con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares para su estudio en plántulas de (*Annona muricata* L.) como portainjertos.	17
Cuadro 2.2	Efecto del crecimiento por la inoculación de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de guanábana paras uso como portainjertos a los 210 días después del trasplante	23
Cuadro 2.3	Variables fisiológicas de plantas de guanábana inoculadas con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares a 210 días después del trasplante.	26
Cuadro 2.4	Acumulación de fósforo y colonización (%) de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de guanábana a los 210 días después del trasplante.	28

		Página
Figura 2.1	Crecimiento de plantas de guanábana (*Annona muricata*), inoculadas con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares paras uso como portainjertos; A) altura de planta, B) diámetro de tallo, C) número de hojas y D) área foliar	21
Figura 2.2	Efecto de la inoculación de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares sobre unidades SPAD. Barras con la misma letra son iguales (Tukey, $P \leq 0.05$); n=10 T1Riz:Rizofermic®, T2Bio: Biofert®, T3Nat:Consorcio nativo, T4Fer: Fertilización química y T5T: Testigo.	24

RESUMEN

La guanábana tiene un gran potencial de comercialización no solo por su sabor característico y fragancia, sino también por su aporte de nutrientes, fitoquímicos y antioxidantes de vital importancia para la salud humana, además de sustancias bioactivas como vitamina C, flavonoides, antocianinas y carotenoides, presentando la oportunidad del cómo, porqué y cuando producir frutas tropicales de calidad en Yucatán, en condiciones de riego, suelo arable mediante un manejo agronómico integral sustentable y ante las exigencias del mercado de Estados Unidos, Canadá y países Europeos en la década del siglo XXI, surge el propósito de generar conocimiento sobre el manejo de esta especie en condiciones de vivero. Para diversas especies frutícolas, la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la etapa de vivero ha demostrado incrementar la producción de biomasa, acortar el periodo de estancia antes de la injertación y acelerar procesos fisiológicos que redundan en mayor desarrollo por lo cual se realizó un experimento para generar alternativas biológicas para la propagación de injertos de guanábana con la interacción de microorganismos en el suelo, que tiene como misión el fortalecimiento de la plantas injertadas aún más tolerantes a plagas y enfermedades con la garantía de la producción frutícola y alimentaria, y promover el aprovechamiento y conservación de estos recursos fitogenéticos para dicha especie específicamente de la fruta y mesocarpio congelado 100% natural y de otras especies aún no producidas a gran escala para diversificar la producción y consumo per cápita de las frutas tropicales en Yucatán. En este trabajo se utilizó un diseño completamente al azar con 5 tratamientos y 40 repeticiones incluyendo al testigo con un total de 200 plantas, se midieron variables físicas, y biológicas del crecimiento y desarrollo de los portainjertos, debido a lo anterior, el Instituto Tecnológico de Conkal, en coordinación con la División de Estudios de Postgrado e Investigación presentan el proyecto de tesis titulado: APROVECHAMIENTO DE HONGOS MICORRIZICOS ARBUSCULARES PARA LA PRODUCCIÓN DE PORTAINJERTOS DE GUANÁBANA (*Annona muricata* L.).

Palabras claves: vivero, micorrizas, biológicas, injertos, portainjertos

ABSTRACT

The soursop has a great marketing potential for its characteristic flavor and fragrance, also for its contribution of nutrients, phytochemicals and antioxidants of vital importance for human health, in addition to bioactive substances such as vitamin C, flavonoids, anthocyanins and carotenoids, presenting the opportunity of how, why and when to produce quality tropical fruits in Yucatan, under watering conditions, arable land through sustainable integrated agronomic management and in response to the market demands of the United States, Canada and European countries in the decade of the 21st century, the purpose of generating knowledge about the management of this species in nursery conditions arises. For various fruit species, inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) in the nursery stage has been shown to increase biomass production, shorten the period of stay before grafting and accelerate physiological processes that result in further development and an experiment was carried out to generate biological alternatives for the propagation of guanabas grafts with the interaction of micro-organisms in soil, which has as its mission the strengthening of grafted plants even more resistant to pests and diseases with the guarantee of fruit and food production, and to promote the use and conservation of these plant genetic resources for this species specifically of 100% natural frozen fruit and pulp and other species not yet produced on a large scale to diversify production and per capita consumption of tropical fruits in Yucatan. Was used a completely random design with 5 treatments and 40 repetitions including the control with a total of 200 plants, physical and biological variables of the growth and development of the rootstocks were measured, due to the above, the Technological Institute of Conkal, in coordination with the Division of Postgraduate Studies and Research presents the thesis project entitled: USE OF ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI FOR THE PRODUCTION OF ROOTSTOCKS OF GUANÁBANA (*Annona muricata* L.).

Keywords: Nursery, mycorrhizae, biological, grafts, rootstock

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1 Introducción

La guanábana (*Annona muricata* L). Pertenece a la familia Annonaceae y es originaria de América, posiblemente de las Antillas (Hoyos, 1994). Su etimología procede del arawak wanabán (Tierra Americana, 1999), *Annona* del nombre taíno anona, y *muricata* del latín, en el que significa erizado, por el aspecto espinoso de la cáscara. La superficie nacional plantada es de 6,010.5 ha, ubicadas principalmente en los estados de Nayarit, Sinaloa, Colima, Jalisco, Michoacán, Guerrero, Oaxaca, Chiapas, Tabasco, Campeche, Yucatán, Veracruz y Morelos (Vidal-Hernández y Nieto, 1997). Su importancia económica como árbol frutal ha crecido para proyectarse en la industria de la perfumería y farmacología, donde se aprovechan también las hojas y las semillas. La familia Anonaceae agrupa alrededor de 75 géneros conocidos, de éstos sólo tres producen frutos comestibles: *Rollinia, Asimina y Annona* (Manica, 1994). El género *Annona* está integrado por al menos 100 especies distribuidas en las regiones subtropicales y tropicales del mundo. De entre estas especies sobresalen la guanábana (*Annona muricata*), chirimoya (*A. cherimola*), saramuyo (*A. squamosa*), anona común (*A. reticulata*), ilama (*A. diversifolia*) y el híbrido atemoya (*A. cherimola* x *A. squamosa*) (Morton, 1987).

En México, la distribución de las especies se encuentra bien definida, así el chirimoyo (*Annona cherimola* Mill.) es la única especie de las anonáceas que prospera en altitudes de 1400 a 1800 msnm se desarrolla en el estado de Michoacán, Estado de México, Veracruz y Morelos. El papause (*A. diversifolia* Saff) se distribuye principalmente en los estados de Chiapas, Oaxaca y Guerrero, la chirimuya (*A. escleroderma* Saff*)* en Chiapas. El saramuyo (*A. squamosa* L.) en Quintana Roo, Yucatán y Campeche. El anono de corcho (*A. glabra* L.) y chirimoyito (*A. globiflora* Schltdl) en Veracruz. El anono (*A. reticulata* L.), chincuya (*A. purpurea* Moc & Sessé) y la guanábana (*A. muricata* L.) son especies cosmopolitas, debido a que presentan un rango más amplio de adaptabilidad edáfica, así lo podemos encontrar en todas las entidades antes mencionadas. Las cinco especies de anonáceas de nombre común que han alcanzado mayor desarrollo comercial son: guanábana, chirimoyo y atemoya, y de mercado local el saramuyo y papause (Vidal, 2006). Para diversas especies frutícolas, la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en la etapa de vivero ha demostrado

incrementar la producción de biomasa, acortar el periodo de estancia antes de la injertación y acelerar procesos fisiológicos que redundan en mayor desarrollo (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 1999). Los mecanismos por los que la micorriza beneficia a las plantas son conocidos y ampliamente difundidos (Smith *et al*., 1994; González-Chávez *et al*., 1998; Alarcón y Ferrera- Cerrato, 1999). En los sistemas productivos, la respuesta a la inoculación con HMA ha sido inconsistente, debido a su interacción con diversos componentes físicos, químicos y biológicos del suelo. En los sistemas de producción de plantas en vivero, la fertilización tiene como fin, procurar la nutrición equilibrada al cultivo (Hartmann *et al*., 2002). Sin embargo, la aplicación de fertilizantes es controversial, por un lado se menciona que la aplicación temprana de nutrimentos es innecesaria por las reservas propias de la semilla (Hanger, 1984) y, por otro lado, su uso ha sido condenado por sus efectos negativos en el ambiente. Con base en lo anterior, esta investigación tiene como objetivo evaluar el efecto de la inoculación de consorcios de HMA en el crecimiento de plántulas de *A. muricata*.

1.2 Antecedentes

1.2.1 La importancia de la guanábana en México

El fruto de guanábana tiene un gran potencial de comercialización no solo por su sabor característico y fragancia, sino también por su aporte de nutrientes, fitoquímicos y antioxidantes de vital importancia para la salud humana, además de sustancias bioactivas como vitamina C, flavonoides, antocianinas y carotenoides, entre otros (Márquez *et al*., 2012). A nivel de aporte nutricional se determinó que el mesocarpio contiene 15.45 g por cada 100 g de azúcares totales, 80.07 % de humedad, 1.24 g por cada 100 g de contenido proteínico, 0.79 g por cada 100 g de grasa, 0.86 g por 100 g de fibra cruda, 20.09 mg por cada100 g de vitamina C, 5.37 g por cada 100 g de glucosa, 7.19 g por cada 100 g de fructosa y 1.82 g por cada 100 de sacarosa (Ojeda *et al.*, 2007). Asimismo, aporta cantidades importantes de los requerimientos diarios en la dieta de K (46.24 mg 100-1g), Na (34.63 mg·100- 1g) y Zn (28.66 mg·100-1g) y en menor porcentaje de Fe (7.34 mg·100-1g), Mg (20.03 mg·100-1g) y Ca (13.99 mg·100-1g) (Fernández *et al*., 2007). También contiene antioxidantes en la pulpa con 39.57 mg·100-1g de polifenoles totales, 0.28 mg·100-1g de carotenoides y 33.24 mg·100-1g de vitamina C (Ramírez y Pacheco, 2011), y acetogeninas

con reconocida actividad citotóxica en células cancerígenas y bioplaguicida (Badrie y Schauss, 2010). Ante todas las características mencionadas que posee el fruto, se abren un mercado gigantesco para los productores de guanábana, pero para ello es necesario la atención y esfuerzo para mejorar todas las fases de la producción, desde una selección genética y manejo agronómico hasta la comercialización.

1.2.2 Situación actual de la producción de guanábanas

La guanábana se distribuye en regiones de 0 a 900 metros sobre el nivel del mar, principalmente en los siguientes países: Bermudas, Bahamas, Cuba, República Dominicana, San Vicente, Granada, México, Costa Rica, Colombia, Venezuela, Brasil, China, Vietnam, Australia y Nueva Zelanda. En México, se tienen registrada una superficie de 3,527.43 ha con un rendimiento de producción de 28,853.66 ton y con un valor de 246,163.50 millones de pesos (Hernández, Gómez y Andrés, 2013).

1.2.3 Manejo de la simbiosis micorrízica en la fruticultura

A partir de los beneficios que la simbiosis micorrízica aporta a sus hospedantes y considerando a la Fruticultura como actividad importante del sector primario en México, se plantea el uso de los hongos micorrízicos arbusculares con el fin de generar plantas con potencial de uso en los diversos sistemas de producción tanto hortícola como frutícola (Chang, 1994; Alarcón *et al.*, 1997). En el caso de las especies frutícolas, la mayoría de ellas, específicamente aquellas que se establecen en campo y de hábito perenne, necesariamente requieren de períodos de crecimiento a nivel de vivero, previo a su trasplante en los huertos comerciales donde se pretendan introducir. Es en esta fase, donde la aplicación de la inoculación y manejo de los hongos micorrízicos arbusculares representan alto potencial (Ferrera-Cerrato y González-Chávez, 1997; Alarcón *et al.*, 1997), ya que, como se ha mencionado, la micorriza actúa como promotor del crecimiento, por lo que se pueden obtener plantas con mayor vigor y sanidad. Otro tipo de beneficio es económico, ya que los costos de producción son menores en función de la reducción de la aplicación de fertilizantes.

1.2.4 La guanábana (*Annona muricata* L.)

La guanábana (*Annona muricata* L.) es una especie frutícola perteneciente a la familia de las anonáceas, originaria de América tropical y subtropical, cuyo centro de origen se ubica en Colombia o Brasil. Dentro de las *Anonáceas,* la guanábana es una de las especies comestibles más importantes por su agradable sabor y aroma, así como por sus múltiples usos tanto como fruta fresca como procesada (Laborem, 2003). Cabe mencionar que en México el cultivo de la guanábana es la actividad de mayor importancia agrícola de las anonáceas; sin embargo, la superficie cultivada es poca. Entre los estados con mayor producción para el año 2016 se encuentran Nayarit, Colima, Guerrero, Michoacán y en menor grado de importancia Jalisco, Morelos, Campeche y Yucatán. De acuerdo con datos estadísticos de producción de la (SIAP, 2016) para el caso de producción nacional de la guanábana se sembraron 2,975 ha con una producción de 16,620.91t de fruta con rendimiento de 9.34 t ha^{-1}.En estos datos estadísticos se muestra al estado de Yucatán que cuenta con una superficie sembrada de 2 ha, teniendo una producción de 5.39 t y un rendimiento de 5.9 t ha^{-1}. (SIAP, 2016). Sin embargo, Cituk *et al.* (2018) mencionan que al realizar el censo del cultivo de guanábana en las zonas de producción determinó que existen 7.5 ha establecidas distribuidos en Muna, Oxkutzcab, Akil, Tixmehuac y Tekax, Yucatán., escudete de T invertida e injerto de doble yema (Iglesias y Sánchez, 2000).

1.2.5 Propagación por semilla e injerto.

Aké (2001), menciona que en la propagación por semilla y vía vegetativa de las anonáceas los factores limitantes son la caracterización e identificación de material vegetativo potador de semillas y varetas, conservación de semillas (recalcitrantes), tratamientos para estimular la germinación, manejo de plantas en vivero, control de plagas y enfermedades, edad del portainjerto, elección del método de injerto y la época óptima del año. Motivo por el cual, Puc (2018) indica que en Yucatán el mejor método de propagación de la guanábana es por el injerto por púa ya que se garantiza el 97 % de prendimiento del injerto hasta el día 27 y se sugiere practicarlo durante la época de invierno para ser rentable esta actividad para los propagadores de plantas y viveristas de Yucatán y por ende obtener

una mayor productividad hasta 12 t ha^{-1} ya que una planta injertada se modifica el hábito de crecimiento y tiene la ventaja de que las plantas son homogéneos, son de porte bajo, e inicia su producción al cuarto año, lo que facilitará efectuar actividades agronómicas como la polinización manual para incrementar los rendimientos, facilitar el control fitosanitario y mejorar la calidad de la fruta cosechada.

Así mismo, el estudio y la generación de técnicas para la selección y propagación vía injerto del material vegetativo de la guanábana trae consigo el óptimo desarrollo en sus características morfológicas que dependen de la variedad, forma, tamaño del fruto, grado de maduración e internas, determinadas por el contenido de azúcar, vitaminas, carbohidratos, aminoácidos, minerales y las apreciadas por los sentidos olor, sabor, color y textura del mesocarpio (Laborem, 2003). Sin embargo, los portainjertos de guanábana deben de tener una edad aproximadamente de ocho meses para que se pueda practicar los cinco métodos de injerto como es injerto: parche, púa terminal, empalme de costado, escudete de T invertida e injerto de doble yema (Iglesias y Sánchez, 2000).

1.3 Hipótesis

Los portainjertos de guanábana inoculadas con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares nativos, muestran al menos un 40% de incremento en el crecimiento y desarrollo en relación a los consorcios comerciales.

1.4 Objetivo

1.4.1 Objetivo general

Evaluar la respuesta del portainjerto de guanábana (*Annona muricata* L.) a la inoculación de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares para la obtención de portainjertos a corto plazo.

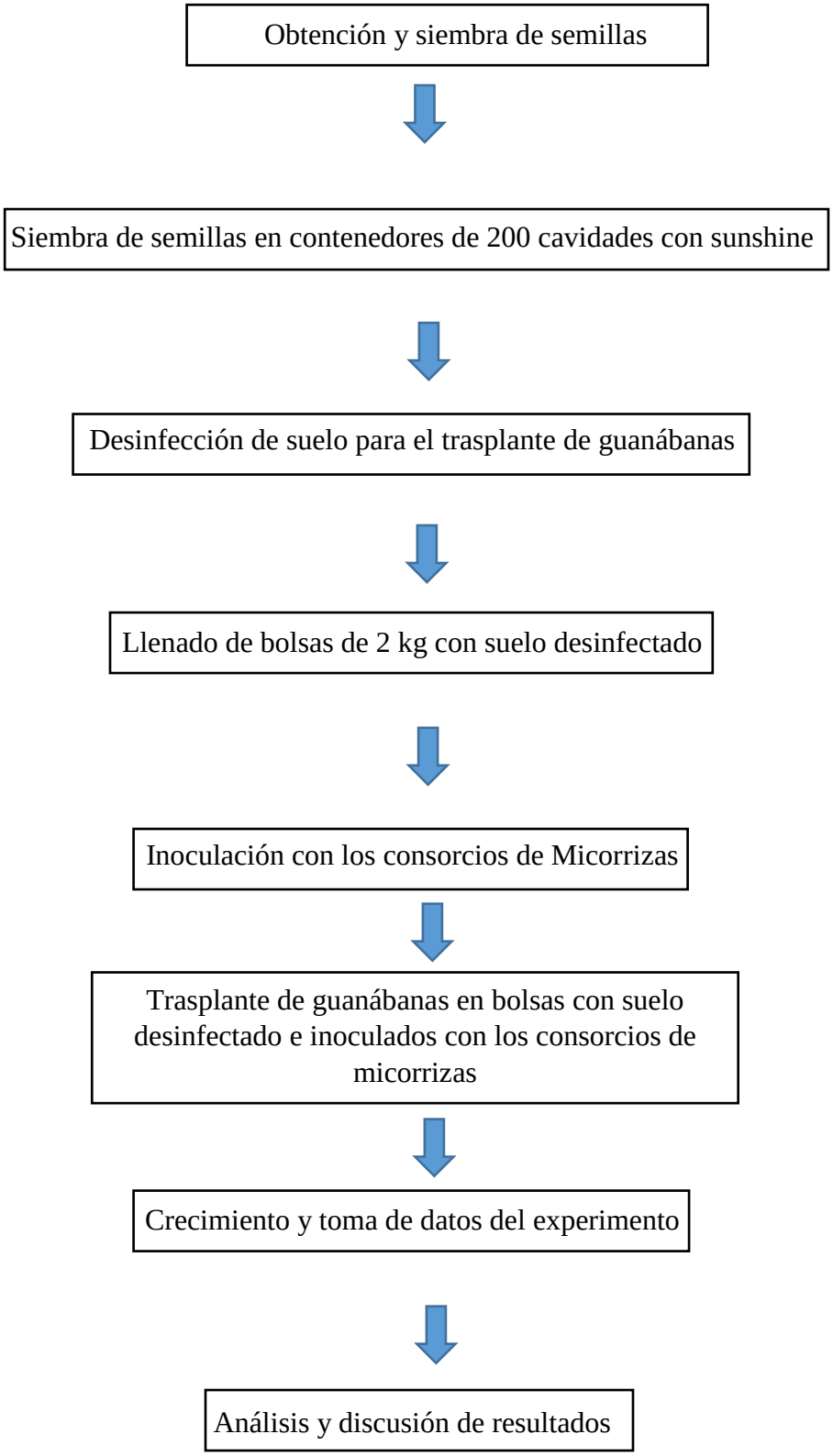
1.4.2 Objetivos específicos

Evaluar el efecto de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) comerciales y nativos en el crecimiento del portainjerto.

Estimar la absorción y contenido de fósforo en portainjertos de guanábana inoculadas con consorcios de HMA

Comparar la respuesta de la colonización de consorcios de HMA nativos y comerciales en portainjerto de guanábana en vivero.

1.5 Procedimiento experimental



1.6 literatura citada

Aké, D.2001. Inducción de germinación con ácido giberélico en tres annonaceas y prendimiento del injerto guanábana (*Annona muricata* L.), Mérida, Yucatán, México.p.22.

Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 1999. Manejo de la micorriza arbuscular en sistemas de propagación de plantas frutícolas. Terra latinoamericana. 17: 171-191.

Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, J.J. Almaraz-Suárez y A. Villegas-Monter. 1997. Efecto de la simbiosis micorrízica en naranja valencia injertada en *Citrus Volkameriana-Glomus* spp. Villahermosa, Tabasco. Terra latinoamericana. 17:179-191

Badrie, N. Schauss, A. 2010. Soursop (*Annona muricata* L.) Composition, nutritional values, medicinal uses, and toxicology. Bioactive foods in promoting health: 39:621-643.

Chang, D.C.N. 1994. What is the potential for management of vesicular-arbuscular mycorrhizae in horticulture? In: A.D. Robson, L.K. Abbott y N. Malujczuk (Eds.). Management of mycorrhizas in agriculture, horticulture and forestry. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. pp. 187-190.

Fernández, V., Sulbaran B., Ojeda De Rodríguez G., Nava R., Delgado J., Berradre M. y Peña J. 2007. Contenido mineral de la guanábana (*Annona muricata*) cultivada en el occidente de Venezuela. Boletín del centro de investigaciones biológicas, 40:86-95.

Ferrera-Cerrato, R. y M.C. González-Chávez. 1997. La biotecnología micorrízica en la producción agrícola, frutícola y hortícola. Perspectivas de la microbiología en México. Instituto Politécnico Nacional. México. pp. 325-343

Geilfus, F. 1994. El árbol al servicio del agricultor; manual de agroforesteria para el desarrollo rural. Santo Domingo, R.P. CATIE. 1:327-427.

González-Chávez, M.C., R. Ferrera-Cerrato y J. Pérez-Moreno. 1998. Biotecnología de la micorriza arbuscular en frutales. Universidad Autónoma De Tlaxcala-Colegio de postgraduados. Montecillo, Estado de México 17: 179-191.

Iglesias, A. y L. Sánchez. 2000. Propagación del Guanábano por medio de injerto sobre diferentes patrones de anonáceas. Universidad Nacional de Colombia. Colombia. p. 53-54.

Laborem G., Figueroa, M. y Rangel, L. 2003. Exportación de nutrientes por una cosecha de guanábana (*Annona muricata* L.). Agronomía Tropical. pp. 1-6.

Hanger, B.C. 1984. Importance of early nutrition in plants. Plant Propagators. 34: 124-134.

Hartman, H.T y Kester, D.E. 1987. Propagación de plantas; principios y prácticas. Traducción Antonio merino Ambrosio. Barcelona, España. Editorial continental, S. A. P C. pp. 227-228.

Hartmann, H.T., D.E. Kester, F.T. Davies Jr., and R.L. Geneve. 2002. Plant propagation, principles and practices. 7th ed. Prentice hall. Upper saddle river, Nj. 7:880

Hernández, F. L. M., R. Gómez J. y J. Andrés A. 2013. Importancia, plagas insectiles y enfermedades fungosas del cultivo del guanábano. Libro técnico No. 1. INIFAP. Campo experimental Santiago Ixcuintla. 87 p.

Hoyos, J. (1994) Frutales en Venezuela (nativos y exóticos) sociedad de ciencias naturales la Salle; Caracas, Venezuela. 36: 381.

Mag, 1976. Injerto de enchape, hojas divulgativas, agencia de extensión ministerio de agricultura, san José, costa rica.

Manica, I. 1994. Fruticultura-cultivo das anonáceas, atacherimóla- graviola. evangraf. Porto Alegre, Brasil.

Márquez, C. C. J., V. Villacorta L., D. P. Yepes B., H.J. Ciro V., and Jr. Cartagena V. 2012. Physiological and physico-chemical characterization of the soursop fruit (*Annona muricata* L. cv. Elita). Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín. 65: 6477-6486

Ojeda, G.; Coronado, J.; Nava, R.; Sulbarán, B.; Araujo, D. y Cabrera, L. 2007. Caracterización fisicoquímica de la pulpa de la guanábana (*Annona muricata* L.) cultivada en el occidente de Venezuela. Bol. Centro Invest. Biol. 41:151-160.

Puc, F., Cituk Ch., Vilanueva C y Pinzón L. 2018. Compatibilidad de injertación en tres clones de guanábana (*Annona muricata* L.). Agroproductividad. (11) 10:71-72.

Pinto, A. Y Silva, P. 1996. Contribuição ao estudo técnico científico da graviola (*Annona muricata* L.). En: Congresso brasileiro de fruticultura, florianópolis, sociedade brasileira de fruticultura.7: 529-546.

Ramírez, A. y Pacheco De D. E. 2011. Composición química y compuestos bioactivos presentes en pulpas de piña, guayaba y guanábana. Interciencia, 36: 71-75.

Remerfi. 2000. Metodología participativa para estudios ecogeográficos etnobotanicos y con enfoque de género en mesoamérica. México. Science research 14: 315-320.

Smith, S.E., V. Gianinazzi-Pearson, R. Koide, and J.W. Cairney. 1994. Nutrient transport in mycorrhizas: structure, physiology and consequences for efficiency of the symbiosis. Plant Soil 159: 103-113.

Tierra Americana.1999. Chirimoya Y guanábana. Las mejores recetas. Panamericana. Bogotá, Colombia. 45 p.

Vidal, H. L. 2006 Efecto de reguladores de crecimiento en la formación de frutos partenocárpicos en la guanábana (*Annona muricata* L.). . En: congreso nacional de fruticultura, Guadalajara: conafrut. p. 120.

Vidal-Hernández, L. y Nieto A., D. 1997. Diagnóstico técnico y comercial de la guanábana en México. Primer congreso internacional de anonáceas. Universidad autónoma Chapingo. Chapingo, México. pp. 1-18.

CAPÍTULO II. EFECTO DE CONSORCIOS DE HONGOS MICORRÍZICOS EN PORTAINJERTOS DE GUANÁBANA (*Annona muricata* L.)

EFFECT OF CONSORTS OF MICORRIZIC FUNGES IN PORTAINJERTOS DE GUANABANA (*Annona muricata* L.)

A.Burgos[1;] J.; L. Pinzón-López[1;] D. Eduviges-Cituk[1;] J. Tun-Suárez[1] Cristóbal-Alejo[1].Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Conkal, Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97454, Mérida, Yucatán, México. Correo: jairo.cristobal@itconkal.edu.mx

2.1 Resumen

La guanábana ha generado interés por ampliar su cultivo, debido a sus propiedades nutraceuticas, el fruto se caracteriza por su sabor y fragancia, contiene antioxidantes, vitamina C, flavonoides, antocianinas y carotenoides. Para mejorar la adaptación y crecimiento en diversas especies frutícolas, la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) ha demostrado incrementar la producción de biomasa, acortar el periodo de estancia antes de la injertación y mejorar procesos fisiológicos. Para validar estos supuestos en plantas de guanábana, se establecieron en condiciones protegidas y en un diseño experimental completamente al azar, cinco tratamientos: uno con HMA nativos (T3Nat) y dos con MHA comerciales (T1Riz y T2Bio) y dos testigos; uno con fertilización química (T4Fer) y otro sin la inoculación de HMA ni fertilización química (T5T), en cada tratamiento se incluyeron 40 plantas como repeticiones y como unidad experimental. El tratamiento T3Nat, acortó el tiempo de crecimiento y de injertación hasta siete meses, respecto al resto de los tratamientos, al alcanzar el diámetro establecido para su injertación de 4-6mm. También tuvo los valores más altos de las variables fisiológicas ($P \leq 0.01$) y colonización micorrízicos superior a los tratamientos T1Riz y T2Bio, lo que demostró su funcionalidad simbiótica.

Palabras clave: injertación, promotor de crecimiento, micorrizas, interacción, colonización.

2.1 Abstract

The soursop has generated interest to expand its cultivation, due to its nutraceutical properties, the fruit is characterized by its flavor and fragrance, contains antioxidants, vitamin C, flavonoids, anthocyanins and carotenoids. To improve adaptation and growth in various fruit species, inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) has been shown to increase biomass production, shorten the period of stay before grafting and improve physiological processes. To validate these assumptions in soursop plants, five treatments were established under protected conditions and in a completely random experimental design: one with native AMF (T3Nat) and two with commercial MHA (T1Riz and T2Bio) and two controls; one with chemical fertilization (T4Fer) and one without AMH inoculation or chemical fertilization (T5T), each treatment included 40 plants as replicates and as an experimental unit. The T3nat treatment shortened the growth and grafting time up to seven months, compared to the rest of the treatments, reaching the diameter established for its grafting of 4-6mm. It also had the highest values of the physiological variables (P 0.01) and mycorrhizal colonization superior to the treatments T1riz and T2bio, which demonstrated its symbiotic functionality.

Keywords: grafting, growth promoter, mycorrhizae, colonization, interaction

2.2 Introducción

La importancia de la injertación se debe a que la mayoría de los huertos de frutas tropicales que se cultivan en un clima cálido seco o subhúmedo no se practica la injertación y se fundamenta principalmente porque siempre se han distinguido por su baja productividad debido al uso de cultivares criollas y su propagación por semilla la cual se caracterizan por tener bajos rendimientos y calidad de frutos no comercial, lo cual redunda en precios bajos en el mercado tanto local como internacional.

La gran mayoría de los productores frutícolas no utilizan técnicas de injertación para obtener mayor productividad y calidad de frutos en sus huertos, por lo que es imperativo darle un impulso mayúsculo a esta técnica (Sequeira *et al*., 2014).

El injerto es la técnica de propagación vegetativa o multiplicación asexual utilizada en frutales de clima cálido seco o subhúmedo, y sirve para la propagación de cultivares mejorados existentes. Esta actividad permite preservar el material vegetativo, aprovechar la diversidad genética y reproducir las características genéticas de los cultivares por medio del injerto que tiene como finalidad obtener plantas injertadas que preserven sus características genéticas y expresen excelentes rendimientos y alta calidad de fruto (Sequeira *et al*., 2014).

El injerto desde el punto anatómico es el reconocimiento celular de los tejidos vasculares (xilema, floema, pro cambium y cambium) del portainjerto e injerto y el cambium vascular del injerto y portainjerto formarán un callo que permitirá el paso de la savia elaborada de la parte aérea (parte injertada) hacia el portainjerto y la savia no elaborada del portainjerto hacia la parte aérea (parte injertada).

Por otro lado, los beneficios que la simbiosis micorrízica aporta a sus hospedantes son múltiples (Chang, 1994; Alarcón, 1997) y en México si la fruticultura es una actividad importante del sector primario, por lo que se plantea el uso de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) con el propósito de generar plantas con potencial de uso en los diversos sistemas de producción agrícola. En el caso de las especies frutícolas, específicamente aquellas que se establecen en campo y de hábito perenne, requieren de períodos de crecimiento a nivel de vivero, previo a su trasplante en los huertos comerciales donde se pretendan introducir. Es en esta fase, donde la aplicación de la inoculación y manejo de los

HMA tienen mejor efectividad (Ferrera-Cerrato y González-Chávez, 1997; Alarcón *et al*., 1996; Alarcón, 1997), ya que, las micorrizas actúan como acelerador del crecimiento, por lo que se pueden obtener plantas vigorosas y de mejor sanidad. Otro beneficio es económico, ya que los costos de producción son menores al reducir la aplicación de fertilizantes sintéticos. Por lo anterior se planteó el trabajo cuyo objetivo fue evaluar la respuesta de plántulas de guanábana (*Annona muricata* L.) a la inoculación del consorcios de HMA para la obtención de portainjertos en menor tiempo.

2.3 Materiales y métodos

2.3.1 Obtención de semillas de guanábana (*Annona muricata* L.)

Se recolectaron semillas de guanábana en el sur del estado de Yucatán, provenientes de la huerta "Yaxhon" municipio de Oxkutzcab, que cuenta con al menos 10 años de producción. Las semillas se desinfestaron con hiploclorito de sodio al 2% durante 5 minutos. Posteriormente se sembraron en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato cosmopeat húmedo a capacidad de campo y se taparon hasta la germinación de las semillas.

2.3.2 Obtención de consorcios de HMA

Se evaluaron cinco tratamientos conformados por tres consorcios de HMA; dos comerciales y uno de cepas nativas; T1Riz (Rizofermic®), T2Bio (Biofert®) y T3Nat (Nativo) además se incluyeron dos tratamientos testigos; T4Fer (Fertilización Química) poly feed en dosis de 2 g L^{-1} de agua y T5T (sin Fertilización Química y sin consorcios de HMA) (Cuadro 2.1).

2.3.3 Desinfección de suelo

El suelo se desinfectó con una caldera de vapor mediante arrastre de vapor durante 4 h, a 85 ^{0}C. Después que se enfrió el suelo, se procedió a llenar bolsas para vivero con una capacidad de 2 kg en las cuales se inocularon los HMA. Primero se puso al fondo de cada bolsa 500 g de suelo desinfectado, posteriormente se hizo una inculcación (incorporación de los consorcios) con HMA en dosis de 3 g de producto que contenían 65 esporas y fragmentos de micelio. La inoculación se repitió tres veces más por cada 500 g de suelo desinfectado que se incorporaba a la bolsa.

Cuadro 2.1 Tratamientos con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares para su estudio en plántulas de (*Annona muricata* L.) como portainjertos.

T1Riz	T2Bio	T3Nat*	T4Fer	T5T
Acaulospora morrowiae	*Glomus constrictum*	*Glomus ambisporum*	Poly feed	Sin
A. spinosa	*G. tortuosum*	*G. pustulatum*	(Macro	fertilización
A. scrobiculata	*G. geosporum*	*Claroideoglomus claroideum*	nutrientes, micro	química y sin
Funneliformis mosseae	*Acauslospora*	*Funneliformis geosporum*	nutrientes)	HMA
F. geosporus	*scrobiculata*	*Ambispora gerdemannii*		
Gigaspora rosea	*Gigaspora margarita*			
G. decipiens				
Glomus macrocarpum				
G. aggregatum				
Rhizophagus intraradices				
Scutellospora pellucida				
Claroideoglomus				
etunicatum				

T3Nat*: Los HMA Nativos provinieron de la selva baja caducifolia y fueron proporcionados por el laboratorio de Ecología de la Universidad Autónoma de Yucatán.

.

2.3.4 Variables respuesta

2.3.4.1 Crecimiento vegetal

Para estimar el efecto de tratamientos, se evaluaron cuatro mediciones de las siguientes variables de crecimiento: altura de planta, diámetro de tallo, número de hojas y área foliar, esta última con un medidor de área foliar portátil modelo LI-3000 C (LI-COR, Inc. Lincon, Nebraska). Las mediciones se realizaron cada 60 días a partir de los 30 días posteriores a la inoculación con los HMA.

2.3.4.2 Fisiológicas

A los 210 días posteriores a la inoculación con los HMA, se estimó el verdor de las hojas con un equipo modelo SPAD 502 plus (Minolta), también se estimaron los siguientes parámetros: conductancia estomática (µmol·m-2·s-1), carbono intercelular (µmol mol^{-1}) tasa transpiratoria ($mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) y tasa fotosintética ($\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), estas mediciones se realizaron con un equipo de determinación de intercambio de gases (Marca LICOR Modelo LI-6400).

2.3.4.3 Acumulación de fósforo y colonización micorrízica (%)

A los 210 días después del trasplante se realizó un muestreo destructivo de dos plantas por tratamiento y se estimó la acumulación de fósforo en el follaje de las plantas, éste se cuantificó por espectrometría de luz UV-visible GBC. Para calcular la colonización micorrízica (%), se consideraron cuatro plantas por tratamiento. Para obtener las raíces, primero se tamizó el suelo para separar las raíces a teñir. Una vez obtenidas las muestras de raíces se procedió al análisis físico y a la determinación del porcentaje de colonización. 1).- Las raíces se colocaron en una charola donde se eliminó el excesos de sustrato (suelo o

cualquier sustrato inerte). Se retiraron las raíces dañadas, envejecidas o muy engrosadas para obtener una buena tinción. Se acomodaron las raíces a lo largo de una charola y se realizaron cortes 1 cm de largo aproximadamente con un bisturí. 2).- Las raíces se depositaron en casetes o rejillas, las cuales constan de orificios para permitir la entrada y salida de líquidos. Los casetes se etiquetaron con lápiz de grafito (ningún tipo de marcador indeleble). 3).- Para el aclaramiento de las raíces se preparó hidróxido de potasio (KOH) al 10%, el volumen a preparar dependió de la cantidad de muestras para teñir. 4).- Se puso a calentar el KOH en un vaso de precipitados sobre una parrilla magnética y cuando alcanzó su punto de ebullición se introdujeron con mucho cuidado los casetes, una vez reiniciado el proceso de ebullición se tomó el tiempo para el aclaramiento (10 min). Transcurrido el tiempo de aclareo se enjugo en la tarja al chorro del agua de 10 a 15 minutos. 5).- Para la tinción de las raíces se preparó una solución de un litro de vinagre blanco con tinta china negra (Sheafer) al 5 %. (950 mL vinagre blanco 50 mL de tinta china), 6).- La solución de vinagre/tinta se calentó en un vaso precipitado y cuando alcanzó su punto de ebullición se metieron con mucho cuidado los casetes, una vez reiniciado el proceso de ebullición se tomó el tiempo para la tinción (5 a 7 min.). Transcurrido este tiempo se sacaron con mucho cuidado los casetes (con una cuchara o pinzas) y transfirieron otro vaso de precipitados al chorro del agua por un tiempo de 10 a 15 minutos, hasta que el agua de enjuague estuvo clara. 7).- Posteriormente los casetes se colocaron en una charola de plástico, las raíces de cada rejilla se depositaron en una caja de Petri con un poco de agua y con la ayuda de una aguja de disección se separaron las raíces para colocarlas en portaobjetos. 8).- Se colocaron 10 segmentos de raíz de aproximadamente un centímetro sobre cada portaobjetos debidamente etiquetado. Se agregó con cuidado una gota de agua para evitar que muevan las raíces y se colocó el cubreobjetos. 9).- Las preparaciones se observaron bajo el microscopio óptico y se estimó el porcentaje de colonización micorrízica (Vierheilig *et al.,* 1998)

2.3.5 Diseño experimental y análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con cinco tratamientos y 40 plantas por tratamiento como unidad experimental, mismas que constituyeron las repeticiones. Con la información que se generó se realizaron análisis de varianza, para los datos que no cumplieron los supuestos de normalidad, se hicieron transformaciones mediante raíz cuadrada de arcoseno (y=arsin(sqrty/100)). Cuando se estimaron diferencias estadísticas,

se realizaron comparaciones de medias mediante el método de Tukey ($P \leq 0.05$), Los análisis se realizaron con la ayudad de los programas Info Stat y SigmaPlot 11.00 versión libre.

2.5 Resultados y discusión

2.5.1 Crecimiento

Durante los primeros 150 días después de trasplante (ddt), la altura de planta fue similar entre los tratamientos (19.4-27.4 cm), pero a partir de los 210 ddt fue diferente; las plantas inoculadas con los consorcios de los tratamientos, T2Bio y T3Nat incrementaron la altura (38.1-54.7 cm, respectivamente). Con el diámetro de tallo, el efecto fue similar, lo que significó que estos tratamientos alcanzaron el diámetro establecido para injertar las plantas (4-6 mm); el resto de los tratamientos aún no cumplían con esta característica agronómica. En relación con la formación de hojas por planta y al crecimiento de estas (área foliar=AF), a los 90 ddt los tratamientos mantuvieron el mismo promedio (8-10 hojas) y un AF de 70 cm^2 , sin embargo, a los 150 ddt, las plantas inoculadas con los consorcios de los tratamientos, T2Bio y T3Nat, mostraron un fuerte incremento del número de hojas de 19-33 hojas y un abrupto incremento de la superficie foliar (AF) hasta 425 cm^2 en las plantas inoculadas con el consorcio del T3Nat, en relación con el resto de los tratamientos, por lo que se le consideró como el mejor consorcio en el crecimiento general de las plantas (Figura 2.1). Esto concuerda con los resultados obtenidos por Manjarrez-Martínez *et al.* (2005) en *Annona cherimola* Mill. a los 125 días del trasplante incrementaron de 429 a 680 cm^2 el área foliar en plantas inoculadas con un consorcio de *Glomus* Zac-19 con respecto al testigo sin inocular.

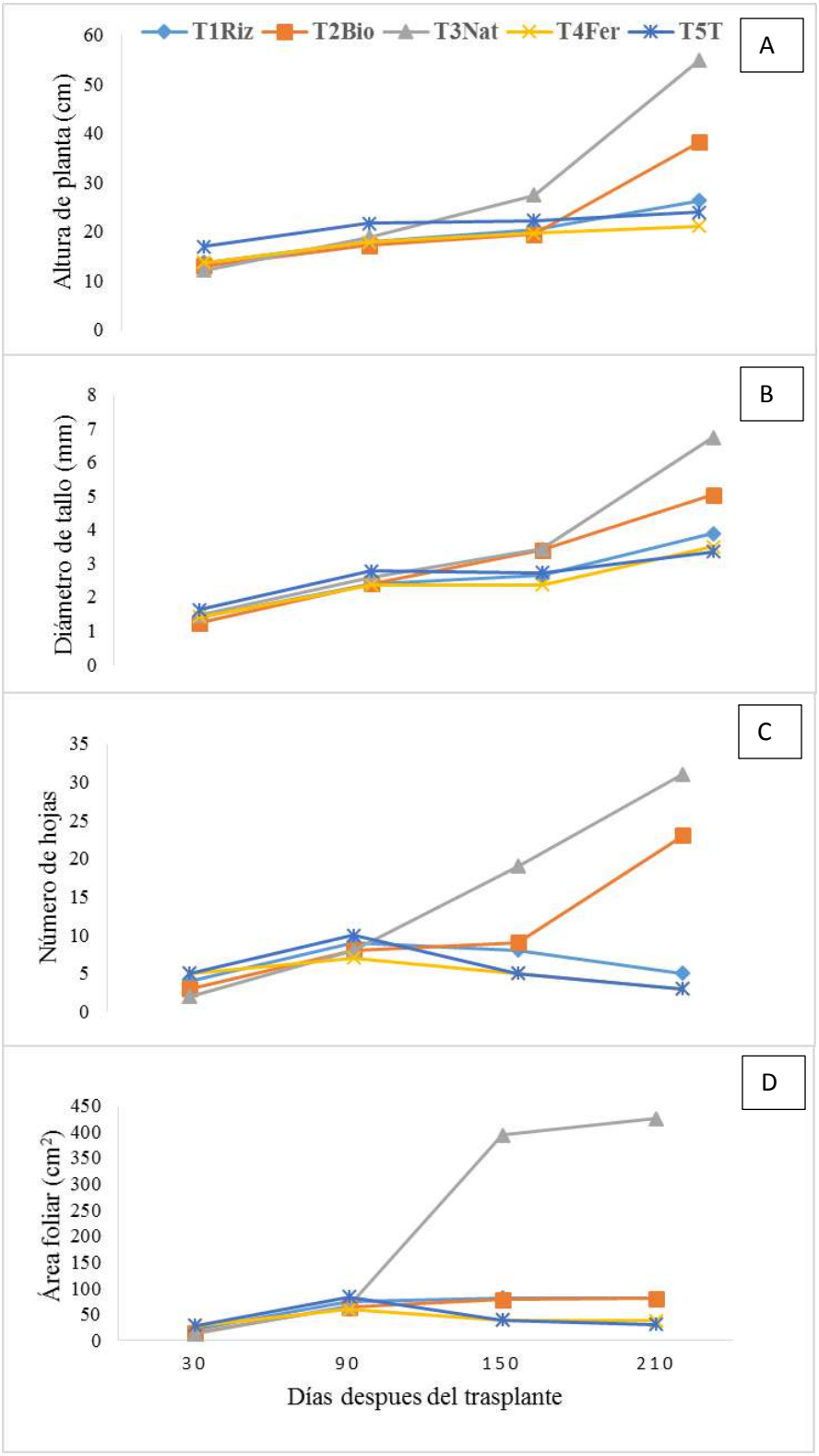


Figura 2.1 Crecimiento de plantas de guanábana (*Annona muricata*), inoculadas con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares paras uso como portainjertos; A) altura de planta, B) diámetro de tallo, C) número de hojas y D) área foliar

Los análisis de varianza para las variables de crecimiento a los 210 ddt, mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$). La comparación de medias (Tukey $P \leq 0.05$) mostró al tratamiento T3Nat, con la mayor altura de planta, superó a los tratamientos T1Riz y T2Bio, en 51.91 y 30.34 %, y a los T4Fer y T5T y 56.30 en 61.42 % respectivamente. En plantas de papaya consorcios nativos, también mejoraron el crecimiento general de las plantas, por encima de un consorcio comercial, aunque se reportó especificidad de la interacción hongo-hospedante independientemente del consorcio (Quiñones-Aguilar *et al.*, 2019). En portainjertos de aguacate, la cepa nativa registrada como *Glomus hoi* - like mejoró la altura de planta en al menos un 13 % en relación al resto de los tratamientos (Rivera-Espinosa *et al*., 2011). Para el diámetro de tallo el análisis de varianza también mostró diferencias significativas ($P \leq 0.01$). Por su parte, el tratamiento T3Nat registro el mayor diámetro de tallo, Las medias de tratamientos (Tukey, $P \leq 0.05$) indicaron con este tratamiento ganancias de al menos 42.37 y 25.33 %, con relación a los tratamientos T1Riz y T2Bio, y 48.14 y 50.37 % con T4Fer y T5T, respectivamente. En papaya, se reportó efecto positivo sobre el diámetro de tallo en plantas inoculadas con HMA nativos (Quiñones-Aguilar *et al*., 2019). El número de hojas y área foliar de las plantas presentaron diferencias significativas ($P \leq 0.01$). En el tratamiento T3Nat, se estimaron los mejores promedios de estas variables (Cuadro 2.2).

En plántulas de guayaba inoculadas con HMA nativos, se reportaron mayor número de hojas, en comparación con una cepa comercial de *Glomus intraradices* (Quiñones-Aguilar, 2017). En portainjertos de aguacate inoculados con HMA nativos, manifestaron efectos significativos en el largo y el ancho de hojas, así como en el área foliar (Rivera-Espinosa *et al*., 2011). Lo que confirmó la funcionalidad de los consorcios micorrízicos nativos, para mejorar el desarrollo de las plantas.

Cuadro 2.2 Efecto del crecimiento por la inoculación de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de guanábana paras uso como portainjertos a los 210 días después del trasplante

Tratamientos	Altura (cm)		Diámetro (mm)		No. de hojas		Área foliar (cm^2)	
T1Riz	26.3±7.74	c	3.89±0.73	c	5.5±0.84	c	79.76±56.84	c
T2Bio	38.1±3.84	b	5.04±0.52	b	23.2±1.54	b	80.32±35.87	b
T3Nat	54.7±3.58	a	6.75±0.37	a	31.6±1.09	a	425.11±47.31	a
T4Fer	21.1±2.37	c	3.5±0.37	c	3.7±0.82	d	37.48±9.57	d
T5T	23.9±2.42	c	3.35±0.48	c	3.7±0.82	d	30.52±6.78	d
DMS	1.65		0.24		1.02		12.81	

DMS: diferencia mínima significativa. Nota: Medias con la misma literal dentro de columnas son estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$)

2.5.2 Variables fisiológicas

2.5.2.1 Unidades SPAD

En las plantas de los tratamientos T4Fer (fertilización química) y T5T (sin fertilizante químico y sin HMA) se registraron los valores más bajos de unidades SPAD, lo que resultó significativo ($P \leq 0.01$) en el análisis de varianza con el resto de los tratamientos. Las plantas de los tratamientos T1Riz y T2Bio (consorcios comerciales) fueron estadísticamente iguales (Tukey, $P \leq 0.05$), mientras que las inoculadas con el tratamiento T3Nat (consorcio nativo) mostraron los mayores niveles de unidades SPAD, lo que fue fundamental para promover el crecimiento de las plantas (Figura 2.2).

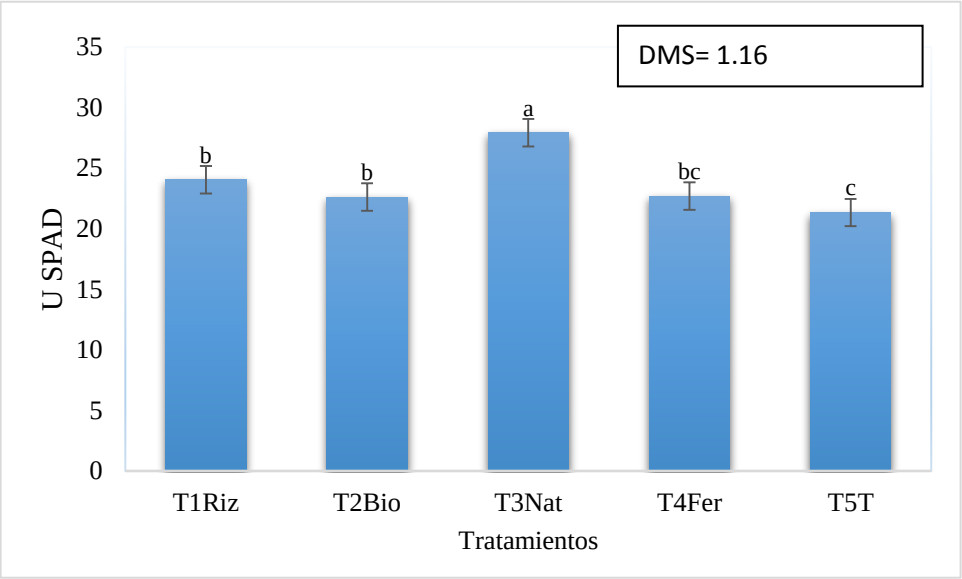


Figura 2.2. Efecto de la inoculación de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares sobre unidades SPAD. Barras con la misma letra son iguales (Tukey, P≤0.05); n=10 T1Riz:Rizofermic®, T2Bio: Biofert®, T3Nat:Consorcio nativo, T4Fer: Fertilización química y T5T: Testigo.

Los tratamientos T1Riz y T2Bio tuvieron una asimilación de CO_2 (3.35 y 3.29 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) mayor que los tratamientos T4Fer y T5T (- 0.12 y 0.48 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$). Sin embargo, con el tratamiento T3Nat se mejoró la asimilación (4.30 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) (Cuadro 2.3). En relación a la conductancia estomática los mayores valores se obtuvieron en las plantas inoculadas con el tratamiento T1Riz (0.05 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), T2Bio (0.04 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) y T3Nat (0.05 $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$) mientras que en la transpiración las plantas de los tres tratamiento de micorrización presentaron tasas superiores a las no micorrizadas (2.076 $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$), esto debido a que las hojas de los tratamientos de asociación micorrízica pudieron incrementar la cantidad de agua absorbida por las raíces (Celis, 2018) al parecer la inoculación mejora la absorción de agua, ya que las plantas mantienen un mayor transporte de agua y mayor eflujo hacia la atmósfera (tasa transpiratoria), aunque este incremento no se relaciona con una mayor apertura estomática. Lo que hace suponer que con las inoculaciones microbianas con efecto promotor de crecimiento, la fotosíntesis se hace eficiente causado por una mejora en el intercambio de gases principalmente dado por, al parecer de una mejor eficiencia de RubisCO, ya que los tratamientos de menor tasa de fotosíntesis, presentaron una mayor cantidad de CO_2 en los espacios intercelulares dado por la Ci (Cuadro 2.3), lo que

indica menor eficiencia de la enzima antes mencionada. Resultados similares obtuvieron Damián-Nava *et al.* (2009) en guayaba (*Psidium guasava* L.).

Cuadro 2.3. Variables fisiológicas de plantas de guanábana inoculadas con consorcios de hongos micorrízicos arbusculares a 210 días después del trasplante.

Tratamiento	Tasa de fotosíntesis $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$		Conductancia estomática $\mu mol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$		Carbono intercelular (*Ci*) $\mu mol\ mol^{-1}$		Tasa transpiratoria $mmol \cdot m^{-2} \cdot s^{-1}$	
T1Riz	3.35 ± 1.17	b	0.05± 0.03	a	259.493±32.99	c	1.668±0.90	ab
T2Bio	3.29±0.47	b	0.04± 0.00	a	239.31±8.45	c	1.44±1.16	b
T3Nat	4.30±0.86	a	0.05± 0.00	a	244.043±9.97	c	2.076±0.34	a
T4Fer	- 0.12 ±0.60	c	0.02± 0.01	b	416.594±69.26	b	0.787±0.52	c
T5T	-0.48±0.24	c	0.01± 0.00	b	531.338±140.18	a	0.47±0.34	c
DMS	0.76		0.01		73.31		0.53	

Nota: Las medias con letras diferentes en la misma columna, indican diferencias estadísticas (Tukey, $P \leq 0.05$)

2.5.3 Acumulación de fósforo y Colonización micorrízica total (%)

El análisis de varianza para estimar la acumulación de fósforo en plantas inoculadas con HMA, nativas y comerciales, mostraron diferencias significativas ($P \leq 0.01$). El T4Fer, constituido por la fertilización química acumuló mayor concentración de fósforo, sin embargo, estadísticamente fue igual al tratamiento T3Nat (Tukey $P \leq 0.05$), conformado por lo HMA nativos. Las plantas que incluyeron los tratamientos por los HMA comerciales, tuvieron la misma acumulación de fósforo. Las plantas del tratamiento T5T; sin la incorporación de consorcios de HMA ni fertilización química, mostraron las menores acumulaciones de fósforo (Cuadro 4). En plátano la inoculación con HMA nativos, mejoraron la absorción de fósforo comparadas con plantas no tratadas con los HMA, lo que significó una mejora en el crecimiento de las plantas (Ochoa *et al*., 2010). En *Citrus volkameriana*, la incorporación de consorcios de HMA en interacción con la aplicación de fósforo incrementaron la absorción de este elemento sin afectar la colonización de los hongos (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2003).

El análisis de varianza para estimar la colonización micorrízica total (%), indicó diferencias significativas ($P \leq 0.01$) entre tratamientos, el mayor porcentaje se presentó en plantas inoculada con el tratamiento T3Nat, lo que confirmó la funcionalidad e interacción compatible de consorcios nativos que con consorcios comerciales (Cuadro 2.4). En las plantas donde no se incluyeron los consorcios micorrízicos, hubo una colonización del 2,75 % para el tratamiento T4Fer y del 4.5 para el tratamiento T5T; porcentajes en los que la colonización micorrízica no afecta significativamente una interacción micorriza-planta (Usuga-Osorio, 2008; Montañez-Orozco, 2010).

En plantas de plátano los HMA proveniente de agroecosistemas locales mostraron los mejores niveles de colonización micorrízica y con lo que se tuvieron mayor peso seco foliar y radical (Usuga-Osorio, 2008).

En berenjena estudios con HMA nativos, la colonización micorrízica se mejoró con el uso de cobertura de plástico y orgánica, lo que favoreció las variables de crecimiento y fisiológicas del cultivo. Sin embargo, el manejo químico de arvenses con glifosato influyó negativamente en los porcentajes de colonización micorrízica y con ello la eficiencia sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas (Hernández-Lamasa, 2015).

Cuadro 2.4. Acumulación de fósforo y colonización (%) de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de guanábana a los 210 días después del trasplante.

Tratamientos	P (mg kg^{-1})		Colonización micorrízica total (%)	
T1Riz	872.27±5.23	b	32.000±2.58	b
T2Bio	894.73±5.92	b	36.750±4.19	b
T3Nat	1204.53±4.87	a	48.500±4.20	a
T4Fer	1346.71±140.87	a	2.750±1.70	c
T5T	279.99±11.42	c	4.500±1.29	c
DMS	138.31		6.65	

Nota: las medias con letras diferentes en la misma columna, indican diferencias estadísticas (Tukey, $P \leq 0.05$).

2.6 Conclusiones

El mejor efecto de crecimiento de las plantas de guanábana, se obtuvo con la inoculación de consorcios nativos de HMA al incrementar la altura en al menos un 40 % en relación y a los consorcios de HMA comerciales.

Las plantas de guanábana inoculadas con los consorcios nativos de HMA, alcanzaron el diámetro de tallo recomendado para su injertacion, un mes antes, respecto a los testigos y a los consorcios de HMA comerciales

Las plantas de guanábana inoculadas con HMA nativos fueron más eficientes en acumular fósforo que los consorcios de HMA comerciales e igualó a las plantas fertilizadas químicamente.

La mejor interacción de consorcios de hongos micorrízicos arbusculares se estimó con los consorcios nativos (T3Nat), lo que se significó mayor colonización total y con ello se mejoró la eficiencia fisiológica de las plantas como; fotosíntesis, conductancia estomática, carbono intercelular y tasa transpiratoria.

2.7 Literatura citada

Alarcón, A., R. Ferrera-Cerrato, J.J. Almaraz-Suárez y A. Villegas-Monter. 1997. Efecto de la simbiosis micorrízica en naranja valencia injertada en *Citrus volkameriana-Glomus* spp. Terra Latinoamericana 17: 171-191.

Alarcón, A. y R. Ferrera-Cerrato. 2003. Aplicación de fósforo e inoculación de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento y estado nutricional de citrus volkameriana Tan y Pasq. Terra Latinoamericana. 1:91-99

Celis, P. S.E. 2018.Evaluación de las propiedades antagónicas de *Trichoderma* sp. Ta13-17 contra *Fusarium* spp. Tesis de Maestría en Ciencias en Horticultura Tropical. Instituto Tecnológico de Conkal. Conkal, Yuc. 27 p.

Chang, D.C.N. 1994. What is the potential for management of vesicular-arbuscular mycorrhizae in horticulture?. Tropical and Subtropical Agroecosystems. pp. 187-190

Damián Nava, A., Ramírez Ramírez, I., Peña Valdivia, C. B., Díaz Villaseñor, G., y González Hernández, V. A. 2009. Características del intercambio de gases en hojas de guayabo (Psidium guajava L.). Revista Chapingo. Serie horticultura, 15: 119-126.

Ferrera-Cerrato, R. y M.C. González-Chávez. 1997. La biotecnología micorrízica en la producción agrícola, frutícola y hortícola. Perspectivas de la microbiología en México. Instituto Politécnico Nacional. México. Terra latinoamericana pp. 325-343

Hartmann, T, H. y Kester, E: D: 1992 Propagación de plantas. Principios y prácticas. (Ed). CECSA: 6a reimpresión México. pp. 365-466.

Hernández-Lamasa, 2015. Efecto de coberturas y micorrizas nativas sobre el cultivo de berenjena (*Solanum melongena* L.) Rev. Agron. 23:7-19.

Montañez-Orozco, 2010. Colonización micorrízica en plantas de aguacate (*Persea americana* L.) Rev. U.D.CA Act. y Div. Cient. 13: 51-60.

Ochoa S., Zambrano G. y Leblanc H. 2010. Efecto de la inoculación de hongos formadores de micorrizas arbusculares (HMA) sobre la absorción de nutrientes en banano y su relación con el nematodo *Radopholus similis*. Tierra Tropical 1: 23-31

Quiñones-Aguilar, E. E., Rincón-Enríquez, G., Fernández-Pérez, A., y López-Pérez, L. 2017. Influencia de hongos micorrízicos arbusculares en el crecimiento de plántulas de

guayaba (*Psidium guajava* L.) en invernadero. Biotecnología y Sustentabilidad, 2: 65-71

Quiñones-Aguilar, E. E., Cuevas, V. H, Pérez y G. Enríquez. R. 2019. Efectividad de hongos micorrízicos arbusculares nativos de rizosfera de agave como promotores de crecimiento de papaya. Terra Latinoamericana. 37:163-174.

Rivera-Espinosa, R.A., J. V M., Martín-Cárdenas, A. Calderón-Puig y A. Torrez-Hernández. 2011. Utilización de cepas eficientes de hongos micorrízicos arbusculares en el desarrollo de portainjertos de aguacate en un sustrato suelo-cachaza. Cultivos Tropicales. 32: 172-183.

Sequeira, A., J. Pavón., H. López., C. Fuentes., A. Guido.O. López. 2014. Guía Tecnológica 25, Técnicas de injertación, Instituto Nicaraguense de Tecnología Agropecuaria, Nicaragua. pp. 7-13.

Usuga-Osorio, 2008. Multiplicación de hongos micorriza arbuscular (H.M.A) y efecto de la micorrización en plantas micropropagadas de banano (*Musa* AAA cv. Gran Enano) (Musaceae) Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín, 61:4279-4290.

Vierheilig, H., Coughlan Ap, Wyss U. y Piché Y. 1998. Tinta y vinagre, una técnica de tinción simple para hongos arbusculares-micorrícicos. Appl. Reinar. Microbiol. 64: 5004–5007.

Webster. A. D. 1995. Temperate fruit tree rootstock propagation. New Zeal. J. Crop Hort. 23: 355-372

CÁPITULO III. CONCLUSIONES GENERALES

En la aplicación de los hongos micorrízicos arbusculares se obtienen beneficios relacionados con la capacidad de fungir como biorreguladores del crecimiento y del desarrollo, así como biofertilizantes, que participan como agentes de control.

Con el uso de las micorrizas se favorecerá al productor para tener un buen manejo de los sistemas de propagación y producción de plantas en vivero, de forma que se generará sustentabilidad en estos; lo que contribuirá a beneficios económicos para el productor, donde se obtendrá plantas de mayor calidad, con ahorro de tiempo de estancia en vivero para efectuar procesos como la injertación.