



El Colegio de la Frontera Sur

Mejora en la nutrición de plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en fase de vivero por el uso de hongos micorrízicos arbusculares y abonos orgánicos

TESIS

presentada como requisito parcial para optar al grado de
Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural
Con orientación en Gestión de Ecosistemas y Territorios

Por

Juan David Ricárdez Pérez

2016



El Colegio de la Frontera Sur

Villahermosa, Tabasco, 12 de mayo de 2016.

Las personas abajo firmantes, integrantes del jurado examinador de:

Juan David Ricárdez Pérez

hacemos constar que hemos revisado y aprobado la tesis titulada:

“Mejora en la nutrición de plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en fase de vivero por el uso de hongos micorrízicos arbusculares y abonos orgánicos”

para obtener el grado de **Maestro en Ciencias en Recursos Naturales y Desarrollo Rural**.

	Nombre	Firma
Director	Dr. Regino Gómez Álvarez	_____
Asesor	Dr. Juan Manuel Pat Fernández	_____
Asesor	Dr. José David Álvarez Solís	_____
Sinodal adicional	Dr. Gilberto Villanueva López	_____
Sinodal adicional	M. en C. Rodimiro Ramos Reyes	_____
Sinodal suplente	M. en C. Aarón Jarquín Sánchez	_____

DEDICATORIA

A mis abuelos:

Quienes trabajaron humildemente en el campo y gracias a ellos mi familia logro salir adelante, los quiero mucho y espero algún día poder seguir sus pasos.

A mis padres:

Ellos siempre me motivaron al decirme que mi única responsabilidad era estudiar y además me han apoyado para seguir mis estudios sin exigirme nada a cambio.

“Haz solo lo que amas y serás feliz.

El que hace lo que ama esta benditamente coronado al éxito.

Que llegará cuando deba de llegar.

Porque lo que debe ser será.

Y llegará naturalmente.”

Facundo Cabral

AGRADECIMIENTOS

- A mis padres y a toda mi familia por siempre comprenderme, apoyarme y protegerme durante todo este tiempo, permitiéndome llegar hasta esta etapa de mi vida.
- A mi director, el Dr. Regino Gómez Álvarez por darme la oportunidad de trabajar junto a él, guiándome con sus conocimientos y aconsejándome a cada momento.
- A mis asesores, el Dr. José David Álvarez Solís y el Dr. Juan Manuel Pat Fernández, por su apoyo, conocimientos y tiempo que me han brindado.
- A los profesores de ECOSUR que me impartieron clases, con las cuales me orientaron para encontrar el rumbo de mi proyecto.
- A la Lic. Yadira Guadalupe Ramos González por dedicar parte de su tiempo para apoyarme en los trámites necesarios.
- A todos los que fueron mis compañeros y los que se convirtieron en buenos amigos a lo largo de los más de 2 años que duro esta experiencia.
- En general a aquellas personas que estuvieron presentes en las diferentes etapas de los experimentos y que dedicaron su tiempo a ayudarme.
- Al CONACYT por la beca de manutención que me otorgaron.
- Al CICAS y al área de manejo integrado de residuos orgánicos de la UJAT por dar parte del material necesario para la realización del proyecto.

TABLA DE CONTENIDO

PRÓLOGO	1
RESUMEN.....	2
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL.....	3
INTRODUCCIÓN.....	3
ANTECEDENTES.....	4
Características generales del cultivo de cacao.....	4
Contexto actual de la producción de cacao	4
Fertilización de las plantas en vivero	5
Uso de hongos micorrízicos arbusculares en vivero	5
Uso de abonos orgánicos en vivero	6
OBJETIVOS E HIPÓTESIS	8
Objetivo general	8
Objetivos específicos.....	8
Hipótesis.....	8
CAPÍTULO II. ARTÍCULO ENVIADO A LA REVISTA ITEA-INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA	9
Resumen	9
Abstract	10
Introducción	11
Materiales y métodos	12
Sitio de estudio	12
Material vegetal	13
Diseño experimental.....	13
Sustratos y tratamientos	13
Embolsado y contenedores	14
Material microbiológico	14
Riegos y mantenimiento	15
Evaluación de la actividad microbiana.....	15
Variables evaluadas	16
Análisis estadístico	16

Resultados.....	17
Caracterización de sustratos	17
Actividad microbiana	17
Germinación	18
Altura, número de hojas y diámetro de las plantas.....	18
Nutrición de las plantas	19
Análisis microbiológico	19
Correlaciones de Pearson	19
Número de hojas, longitud y diámetro del tallo de los injertos.....	20
Discusión	20
Actividad microbiana	20
Germinación	21
Altura, número de hojas y diámetro de plantas	21
Nutrición de las plantas	22
Análisis microbiológico	22
Correlaciones de Pearson	23
Número de hojas, longitud y diámetro del tallo de los injertos.....	23
Conclusiones	24
Referencias bibliográficas.....	24
CAPÍTULO III. CONCLUSIONES GENERALES	40
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TODOS LOS TRATAMIENTOS EN CONJUNTO.....	42
LITERATURA CITADA	47

PRÓLOGO

El presente trabajo de investigación se encuentra dividido en cuatro capítulos. El primer capítulo está dedicado a realizar una pequeña introducción y la recopilación de información necesaria para comprender los diferentes conceptos empleados así como los objetivos e hipótesis del trabajo. El segundo capítulo abarca los resultados obtenidos del estudio presentados como un artículo científico el cual fue enviado a la revista ITEA-Información Técnica Económica Agraria. En el tercer capítulo se muestran las conclusiones generales del estudio. En el cuarto capítulo se presenta un análisis estadístico realizado a los tratamientos en conjunto en algunos de los parámetros evaluados, el cual sirvió como una primera experiencia para observar el comportamiento de los datos obtenidos y poder decidir la combinación adecuada para presentar los resultados.

RESUMEN

El cacao es un producto de gran importancia económica, social y cultural a nivel mundial. En México el cacao juega un papel importante para el sustento de los campesinos de sus principales estados productores. Sin embargo, la edad avanzada de las fincas, el mal manejo y la poca tecnificación de los métodos de propagación han propiciado la pérdida de gran parte de la superficie cultivada. Se recomienda la renovación de las fincas con plantas producidas en vivero bajo técnicas eficientes de fertilización mediante la aplicación de biofertilizantes y abonos orgánicos como alternativas que ayudan a reducir costos de producción, evitar el uso de agroquímicos y ofertar un producto orgánico de mejor calidad cuyo valor económico es mayor al convencional. El presente estudio tuvo como objetivo principal evaluar la nutrición de las plantas de cacao bajo diferentes tratamientos, con la aplicación de *Glomus intraradices* (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm.) y abonos orgánicos en diferentes dosis (25 y 50 %) a base de vermicomposta, peat moss y una mezcla de ambos. Se encontró que el uso de sustratos con un contenido del 25 y 50 % de abonos orgánicos promueven una mayor actividad microbiana, aceleran la germinación de las semillas de cacao y fomentan el desarrollo de plantas de cacao con mayor contenido de fósforo foliar además de intervenir en la propagación de esporas micorrízicas. Asimismo, la inoculación con micorriza propició un aumento en el contenido de nitrógeno foliar en las plantas tratadas con 25 % de la mezcla de peat moss y vermicomposta.

Palabras clave: *Agricultura orgánica; abonos orgánicos; biofertilizantes; micorrizas; vivero de cacao.*

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN GENERAL

INTRODUCCIÓN

La agricultura orgánica es una estrategia útil fundamentada en un óptimo manejo de los recursos naturales, involucra elementos técnicos, económicos y agroecológicos que dan como resultado productos con un valor económico y nutricional mayor que los convencionales (Hopkins et al. 2003). Se basa en un sistema de producción que fortalece las funciones ecológicas excluyendo el uso de agroquímicos y que se caracteriza por la conservación de los recursos naturales y la biodiversidad mediante la aplicación de abonos orgánicos (Shiva et al. 2004). Los abonos orgánicos aportan nutrientes de manera balanceada, aumentan la cantidad de materia orgánica, ayudan a suprimir enfermedades en las plantas, mejoran la estructura del suelo, incrementan la actividad biológica y propician la colonización de microorganismos benéficos en las plantas como los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) (Chen 2006). La colonización de los HMA es altamente benéfica para el desarrollo de plantas vigorosas, aumentan el área de absorción de las plantas y facilita la captación de agua y nutrientes del suelo (Azcón 2000). El cacao es un producto de gran importancia a nivel mundial originario de América del Sur, que fue domesticado y utilizado por primera vez en el sureste de México (Andrade 2007). Es utilizado en diversos sectores industriales por lo que en la actualidad posee un alto valor económico (Estrada et al. 2011). La principal producción mundial se encuentra en las regiones tropicales de África, Asia y Latinoamérica. Costa de Marfil, Ghana y Nigeria son los países que aportan una mayor producción anual (Córdova et al. 2001). En la actualidad México se ha posicionado en los últimos lugares de producción mundial de cacao debido a diversas causas que merman su producción (Pineda 2013). El déficit de producción se encuentra generalmente relacionado con la edad avanzada de los cacaotales, el manejo inadecuado de plagas y enfermedades y principalmente la poca aplicación de técnicas que promuevan un desarrollo óptimo de las plantas (Córdova et al. 2001). Es recomendable que la renovación de los cacaotales se realice con plantas producidas en viveros, ya que en estos se pueden producir plantas de calidad con un desarrollo óptimo por medio de la aplicación de técnicas apropiadas (Palencia et al. 2009). El uso de insumos microbiológicos en conjunto con la aplicación de abonos orgánicos es

considerado una alternativa para mejorar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos, ya que ayudan a reducir los costos de producción y evitan la contaminación por la aplicación de agroquímicos (Mejía y Palencia 2002).

ANTECEDENTES

Características generales del cultivo de cacao

El cacao es un árbol tropical originario de Sudamérica, tiene gran importancia a nivel mundial y ha sido utilizado por el hombre desde hace casi 4000 años. Fue descrito por Lineo en el siglo XVIII y se le designó el nombre científico de *Theobroma cacao* (Durán 2013). Existen al menos cuatro variedades descritas por su origen y principales características: el Criollo, el Forastero, el Trinitario y el Nacional (Paredes 2009). El cacao fue domesticado y utilizado por primera vez por los pueblos indígenas mexicanos establecidos en la región costera del Golfo de México, principalmente en los estados de Veracruz y Tabasco. Era consumido en forma de “xocolatl” una bebida espumosa a base de semillas de cacao molidas, agua y miel, además fue utilizado como base de un sistema monetario completo que facilitaba el intercambio de mercancías (Andrade 2007). El cacao tiene gran importancia ecológica debido a que es una especie primordial para la reforestación que convive en equilibrio con gran variedad de flora y fauna propiciando la preservación de los sistemas agroforestales (Jaimes y Aranzazu 2010). La planta de cacao es una especie que requiere estar bajo sombra para tener un buen desarrollo y crecimiento (Martínez y Enríquez 1981). Con una intensidad de luz muy alta las plantas pueden llegar a sufrir un déficit de clorofila (Purseglove 1968). Por tanto, es necesario incluir árboles maderables o frutales que proporcionen las condiciones adecuadas para su desarrollo, lo cual permite aumentar la rentabilidad de los cacaotales (FHIA 2004).

Contexto actual de la producción de cacao

En la actualidad la producción mundial de cacao se encuentra distribuida en regiones con climas tropicales (Jaimes y Aranzazu 2010). De acuerdo con la International Cocoa Organization (ICCO) en el ciclo 2014/2015 se produjeron a nivel mundial cerca de 4.16 millones de toneladas de cacao, siendo Costa de Marfil, Ghana e Indonesia los

mayores productores (ICCO 2015). La aportación de México se encuentra muy por debajo del 1 % con un total de 26,968 t. Tabasco es su principal estado productor con 16,269 t (60 %) de cacao cosechado anualmente, seguido de Chiapas con 10,480 t (39 %) y guerrero con 219 t (1%) (SIAP 2014). La principal zona productora del estado de Tabasco se denomina región Chontalpa y representa el 97 % de la superficie total dedicada a los cacaotales. Comalcalco, Cárdenas, Cunduacán y Huimanguillo son los municipios más importantes de esta región (Córdova et al. 2001). Sin embargo, en la última década la producción del estado se redujo en un 55 %, se han perdido cerca de 20,000 ha cultivadas y además el rendimiento está por debajo de lo deseado debido a los diversos problemas que afectan la producción (SIAP 2014).

Fertilización de las plantas en vivero

El principal objetivo de la fertilización en fase de vivero es reducir el tiempo de espera para producir plantas vigorosas con un óptimo desarrollo (Magaña y Flores 1998), esto se debe a la deficiencia de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio en los sustratos que se utilizan (Palencia et al. 2009). El uso de microorganismos es una alternativa viable para nutrir las plantas que se encuentran en etapa de desarrollo en los viveros de los cuales destacan los hongos micorrízicos arbusculares implicados en el asimilación de nutrientes (Azcón 2000). En las plantas de cacao en fase de vivero se recomienda la aplicación de HMA del genero *Glomus sp.* en suelos pobres en fósforo (Palencia et al. 2009). Además de favorecer la nutrición de las plantas, ayudan en la reducción de los costos de los insumos y evitan el uso de agroquímicos potencialmente nocivos para el ambiente (Aguirre et al. 2007). La inoculación con HMA contribuye a que las plantas tengan un mejor crecimiento y desarrollo en la etapa de vivero, además ayuda a reducir el tiempo en que se desarrollan los patrones para injerto (Mejía y Palencia 2002).

Uso de hongos micorrízicos arbusculares en vivero

Los HMA forman una asociación simbiótica en las raíces de las plantas y sus hifas, lo cual se conoce comúnmente como simbiosis micorrízica, esta simbiosis se encuentra en un 90 % de las especies vegetales y permite que el sistema radicular de la planta tenga un mayor área para la absorción de nutrientes (Camargo et al. 2012). La

inoculación micorrízica en fase vivero representa una alternativa con alto potencial de éxito en la propagación de plantas y se ha encontrado que en algunas especies frutales da resultados favorables en el desarrollo y crecimiento en fase de vivero (Alarcón y Ferrera 1999). Los beneficios de los HMA no solo se limitan a la etapa de vivero puesto que también son capaces de reducir la mortalidad de las plantas en la etapa de post-trasplante (Sieverding 1990). Además juegan un papel importante en el sistema defensivo de las plantas ya que producen sustancias antibióticas que las protegen del ataque de otros organismos patógenos (St. John 2000). La aplicación de HMA de la especie *Glomus intraradices* (*Rhizophagus intraradices* N.C. Schenck & G.S. Sm.) en plantas de café (*Coffea arabica*) en fase de vivero ha aumentado el crecimiento de raíces hasta un 18 % (Adriano et al. 2011). La inoculación con un complejo micorrízico conformado por *Gigaspora* sp., *Acaulospora* sp., *Glomus mosseae*, *Glomus* sp., y *Glomus geosporum* dio resultados favorables al aumentar la biomasa foliar y el volumen radicular de dos especies forestales: *Cedrela odorata* L. y *Tabebuia rosea*, donde se obtuvo un mejor resultado en *T. rosea* (Zulueta et al. 2000). La biofertilización del cacao en fase de vivero con *Glomus intraradices* ha dado resultados favorables, ya sea solo o en combinación con bacterias fijadoras de nitrógeno (*Azospirillum brasilense*), presentando un mayor porcentaje de nutrientes y un aumento del área foliar y del sistema radicular (Aguirre et al. 2007). Existen diversos factores que pueden limitar el desarrollo de los HMA, como el uso de pesticidas y fertilizantes químicos (Guerra 2007). La fertilización con insumos químicos además genera un desequilibrio en las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos (Saldaña 2014).

Uso de abonos orgánicos en vivero

Los abonos orgánicos son productos ricos en nutrientes provenientes de residuos vegetales y desechos animales previamente tratados mediante un proceso de descomposición de la materia orgánica (Mejía y Palencia 2002). Para la fertilización de las plantas de cacao en vivero es recomendable aplicar abonos orgánicos a la raíz y el área foliar (Paredes 2009), ya que responden bien ante la aplicación de estos (Estrada et al. 2011). El uso de abonos orgánicos mejoran la calidad de los sustratos al aumentar la capacidad de retención de humedad y la disponibilidad de los nutrientes (López et al.

2001), además propician la resistencia ante enfermedades por medio de la introducción de agentes de control biológico (Artavia et al. 2010). Su aplicación aumenta la biomasa microbiana a diferencia de los fertilizantes químicos (Ngosong et al. 2010) ya que los abonos orgánicos aportan sustancias ricas en carbono que promueven la actividad microbiana (Félix et al. 2008). Asimismo favorecen la colonización de los HMA facilitando la absorción de nutrientes y aumentando los beneficios obtenidos en las plantas pudiendo sustituir el uso de insumos agroquímicos (Gosling et al. 2006). Uno de los abonos orgánicos que más se recomienda es la vermicomposta por ser de los más completos ya que la materia orgánica presenta un óptimo estado de descomposición (Pérez 2012). Mejora las propiedades físicas, químicas y biológicas de los sustratos, ayuda a regular el pH y aporta una buena cantidad de micronutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas (Quevedo 1993). Se utiliza normalmente como mejorador y fuente de materia orgánica en suelos pobres así como sustrato, germinador de semillas, etc. (NMX-FF-109-SCFI-2008, 2008). La turba de sphagnum también conocida como peat-moss es uno de los sustratos orgánicos mas utilizados en la producción de plantas en vivero a pesar de su bajo nivel de nutrientes asimilables (Patrón 2014). Es producto procedente de la descomposición incompleta de diversas especies vegetales, tales como hierbas y musgos, la cual presenta características que influyen en la colonización de los hongos micorrízicos en las plantas (Nan et al. 2007).

OBJETIVOS E HIPÓTESIS

Objetivo general

- Evaluar la nutrición de plantas de cacao en fase de vivero al usar abonos orgánicos y hongos micorrízicos en los diferentes tratamientos utilizados.

Objetivos específicos

En los diferentes tratamientos aplicados:

- Evaluar los parámetros morfológicos de las plantas de cacao.
- Analizar el contenido de nutrientes en las plantas de cacao.
- Evaluar el porcentaje de colonización y el número de esporas de los HMA.

Hipótesis.

- La aplicación de abonos orgánicos y biofertilizantes fomentaran un mejor crecimiento y desarrollo de las plantas de cacao en fase de vivero en comparación con la fertilización convencional.

CAPÍTULO II. ARTÍCULO ENVIADO A LA REVISTA ITEA-INFORMACIÓN TÉCNICA ECONÓMICA AGRARIA

Nutrición de plantas de cacao (*Theobroma cacao L.*) en fase de vivero utilizando abonos orgánicos y hongos micorrízicos arbusculares

Cocoa plant nutrition (*Theobroma cacao L.*) in nursery phase using organic fertilizers and arbuscular mycorrhizal fungi

J.D. Ricárdez-Pérez¹, R. Gómez-Álvarez*¹, J.D. Álvarez-Solis² y J.M. Pat-Fernández³

¹ Departamento de Ciencias de la Sustentabilidad, El Colegio de la Frontera Sur Unidad Villahermosa. Carretera Villahermosa-Reforma km 15.5 s/n, Ranchería Guineo Segunda Sección, CP 86280, Villahermosa, Tabasco.

² Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad San Cristóbal, Carretera Panamericana y Periférico Sur s/n, Barrio María Auxiliadora, CP 29290, San Cristóbal de Las Casas, Chiapas.

³ Departamento de Agricultura, Sociedad y Ambiente. El Colegio de la Frontera Sur, Unidad Campeche, Av. Rancho Polígono 2-A, Col. Ciudad Industrial, Lerma C.P. 24500, Campeche, Campeche.

*Autor para correspondencia: regomez@ecosur.mx

Resumen

El cacao es una planta tropical con alto impacto ecológico, económico y social en Tabasco. Su rendimiento se ha visto afectado por la poca tecnificación del cultivo y el ataque de plagas y enfermedades. Por tanto se recomienda la renovación de los cacaotales con plantas de buena calidad producidas en condiciones de vivero. En este estudio se evaluó el efecto de dos diferentes abonos orgánicos, así como la inoculación de hongos micorrízicos arbusculares. Se aplicaron diferentes tratamientos con vermicomposta, peat-moss y una mezcla de ambos (1:1) en diferentes concentraciones (25 y 50 %), teniendo como Testigo de referencia una mezcla de suelo, arena y sustrato comercial, Agrolita®, el cual se usa en la actualidad en los viveros. Se evaluaron diferentes parámetros en diferentes etapas de la planta (germinación, plántula e injerto), como altura, número de hojas, diámetro y peso seco de sus estructuras aéreas y radiculares, además de realizar análisis nutrimental foliar y microbiológico. Los mejores

resultados se observaron en el tratamiento con 50 % de vermicomposta, presentando diferencias significativas en el contenido de fósforo foliar (0.41 %) y conteo de esporas (14.75), sin embargo el porcentaje de infección micorrízica fue muy baja (0.87 %). De acuerdo a la información recabada los mejores resultados fueron al utilizar los tratamientos con vermicomposta y la mezcla de peat-moss y vermicomposta inoculada con hongos micorrízicos arbusculares, siendo una alternativa viable para producir plantas de alta calidad nutricional y evitar el uso de fertilizantes químicos.

Palabras claves: *Vermicomposta, biofertilizante, viveros de cacao, germinación de semillas y sustratos orgánicos.*

Abstract

Cocoa is a tropical plant with high ecological economic and social impact in Tabasco. Its performance has been affected by poor crop technification, advanced age plantation and threats by pests and diseases. Therefore, it is recommended for cacao renovation the good quality production of plants in nursery conditions. In the present study was evaluated, the effect of two organic substrates and the inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and nutrition of cocoa plants. Different treatments with vermicompost, peat moss and a mixture of both (1:1) was applied in Different Concentrations (25 and 50 %), with a mixture of soil, sand and commercial substrate, Agrolita®, as a control reference. Different parameters were evaluated at different stages of the plant (germination, seedling and grafting), such as height, leaf number, diameter and dry weight of their structures; in addition foliar nutrient and microbiological aspects were analyzed. Best results were observed in the treatment with 50 % of vermicompost, which had a significant difference in leaf phosphorus content (0.41 %) and in the spore counting (14.75), however the percentage of mycorrhizal infection was very low (0.87 %). According to the obtained results the treatments with vermicompost and with a mixture of peat moss and vermicomposta with mycorrhizal inoculation, are viable alternatives to produce high quality plants and avoid using chemical fertilizers.

Keyword: *Vermicompost, biofertilizer, cocoa nursery, seeds germination and organic substrates.*

Introducción

El cacao (*Theobroma cacao L.*) es una planta tropical originaria de la región amazónica de Sudamérica, el grano procesado el cual da origen al chocolate tiene un alto consumo a nivel mundial en una gran variedad de productos (Duran, 2013). El cacao tiene gran importancia ecológica, ya que su cultivo promueve la preservación de los sistemas agroforestales en los que convive en equilibrio con gran variedad de flora y fauna (Jaimes y Aranzazu, 2010). Fue domesticado y utilizado por primera vez por los pueblos indígenas asentados en los estados de Tabasco y Veracruz en el Sureste de México (Aguirre et al., 2007). En la actualidad la producción mundial de cacao se encuentra principalmente en los países con clima tropical de África, Asia y América Latina (Jaimes y Aranzazu, 2010). De acuerdo con la International Cocoa Organization (ICCO) en el ciclo 2014/2015 se produjeron a nivel mundial cerca de 4.16 millones de toneladas de cacao, siendo Costa de Marfil, Ghana e Indonesia los mayores productores aportando el 67 % del total (ICCO, 2015). A pesar de las características que México posee, su aportación a la producción mundial se encuentra muy por debajo del 1 %. Tabasco es su principal estado productor con un 60 % de la producción nacional, seguido de Chiapas con el 39 %. En la última década la producción del estado de Tabasco se redujo en un 55 %, se han perdido cerca de 20,000 ha cultivadas y además el rendimiento está por debajo de lo deseado (SIAP, 2014). En Tabasco el cultivo de cacao tiene un fuerte impacto social y económico en las familias campesinas, promoviendo la participación de las mismas como mano de obra y además se fomenta la conformación de asociaciones para apoyar la producción de cacao. Sin embargo, la falta de tecnificación y la aparición de plagas y enfermedades, así como la edad avanzada de las plantaciones de cacao en las fincas ha propiciado un déficit en la producción. Por lo anterior se recomienda la renovación de las plantaciones con plantas vigorosas producidas en condiciones de vivero por medio de técnicas que fomenten una mejor nutrición (Córdova et al. 2008).

El uso de tecnologías orgánicas en viveros es una alternativa que permite producir plantas de mejor calidad mediante la aplicación de abonos orgánicos y la inoculación de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) (Chen, 2006; Azcón, 2000). Se recomienda el uso de abonos orgánicos para mejorar la calidad de los suelos en lo que respecta a la

capacidad de retención de humedad y nutrientes (López et al., 2001). Además aumentan la biomasa microbiana a diferencia de los fertilizantes químicos (Ngosong et al., 2010). Los abonos orgánicos aportan sustancias ricas en carbono que promueven un aumento en la actividad microbiana (Félix et al., 2008). La aplicación de fertilizantes sintéticos ricos en nitrógeno (N), fósforo (P), y potasio (K) influyen de manera negativa en la actividad microbiana del suelo reduciendo las comunidades de microorganismos benéficos para las plantas (Gosling, et al., 2006). Los HMA forman una relación simbiótica con las raíces de las plantas lo cual se conoce como micorrización (Camargo et al., 2012). Aguirre et al., (2007) concluyó que la inoculación con HMA en plantas de *Theobroma cacao* en fase de vivero favorece al desarrollo de estas y promueve un aumento de la materia seca. Álvarez y Anzueto en 2004 determinaron que las bajas reservas de materia orgánica presente en los suelos de uso agrícola disminuyen la actividad de microbiana y la presencia de nutrientes. Adriano et al., 2011 encontraron un aumento del 18 % en la longitud de la raíz de las plantas de café (*Coffea arabica*) en etapa de vivero tratadas con HMA en comparación con el Testigo sin inoculación y además se promovió un aumento en el contenido de nitrógeno en las hojas. Por lo tanto y con base a lo anterior, el presente trabajo tiene como objetivo fundamental evaluar la actividad microbiana en los diferentes tratamientos donde se aplicaron diversas dosis de abonos orgánicos; determinar el efecto del biofertilizante micorrízico y los abonos orgánicos en la germinación, crecimiento, desarrollo y nutrición de plantas patrón de cacao en fase vivero y evaluar el crecimiento y desarrollo de patrones injertados en diferentes dosis de vermicomposta y con biofertilizante micorrízico.

Materiales y métodos

Sitio de estudio

La parte experimental del estudio se llevó a cabo durante los meses de Abril a Julio del año 2015 en las instalaciones del campo experimental del área de agroecología de El Colegio de la Frontera Sur (ECOSUR) unidad Villahermosa, ubicado en la Ranchería Guineo 2da Sección del Municipio Centro del estado de Tabasco.

Material vegetal

El material vegetal empleado fue facilitado por el Centro Integral de Consultoría y Asesorías del Sureste (CICAS). Se adquirieron semillas variedad Guayaquil y plantas injertadas de la variedad clonal RIM 24.

Diseño experimental

Para este estudio se realizaron 3 experimentos para evaluar la efectividad de los diferentes abonos orgánicos y la aplicación de biofertilizante micorrízico en las diferentes etapas del cacao en la fase de vivero. El primer experimento consistió en determinar el porcentaje de germinación de las semillas en los diferentes sustratos aplicados. El segundo experimento estuvo constituido de dos fases, en la primera se evaluó el efecto de los sustratos solos y en la segunda el efecto de los sustratos en conjunto con la aplicación del biofertilizante. Se realizó un diseño experimental completamente al azar con nueve combinaciones de sustratos, se evaluó el efecto en el crecimiento, desarrollo y nutrición de las plantas patrón durante 90 días después de la siembra de las semillas. Se utilizó el mismo diseño empleado para el primer experimento, constanding de dos fases con nueve tratamientos cada una. Se utilizaron 12 repeticiones por cada tratamiento para un total de 216 unidades experimentales. En el tercer experimento se evaluó el efecto de diferentes dosis de vermicomposta, 25 % y 50 %, con y sin biofertilizante micorrízico en el crecimiento y desarrollo en plantas injertadas con el clon RIM 24, utilizando un diseño experimental de 3 x 2 con 8 repeticiones por cada tratamiento para un total de 48 unidades experimentales. Los experimentos fueron realizados de forma separada y de manera simultánea. El experimento 1 se realizó en condiciones de laboratorio mientras que los experimentos 2 y 3 se llevaron a cabo en condiciones de vivero.

Sustratos y tratamientos

Se utilizó como Testigo de referencia la mezcla utilizada en los viveros del CICAS, la cual está compuesta por un 25 % de sustrato comercial Agrolita®, que contiene una mezcla de peat-moss, perlita y fertilizante químico granulado de liberación lenta, más 60 % de suelo y 15 % de arena. Teniendo en cuenta el sustrato utilizado en los viveros del

CICAS se formularon los tratamientos substituyendo el sustrato comercial por vermicomposta, peat-moss y una mezcla de ambos (1:1) y aumentando las dosis a un 50 % para los tratamientos de abonos orgánicos (Tabla 1). La vermicomposta utilizada fue de lombriz roja californiana, *Eisenia andrei* y se obtuvo del área de Manejo Integral de Residuos Orgánicos (MIRO) de la División Académica de Ciencias Biológicas (DACBiol) de la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco (UJAT). Para preparar el sustrato de peat-moss se utilizó un bulto de la marca PREMIER® que contenía turba de musgo *Sphagnum* canadiense. Se realizaron los análisis de fertilidad de las mezclas de sustratos empleadas en los diferentes tratamientos de acuerdo a lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000.

Embolsado y contenedores

Para el experimento de germinación se utilizaron contenedores de plásticos con tapa y capacidad de 0.5 litros y se adicionaron 100 gr de sustrato por contenedor. Para el experimento 2 se utilizaron bolsas de polietileno de color negro con 1.5 litros de capacidad con medidas de 12 x 25 cm con fuste de 2 cm y con perforaciones laterales en la parte inferior dejando 3 cm libres de sustrato en la parte superior de la bolsa. En el experimento 3 se emplearon bolsas de 2 litros para aplicar un mayor volumen de sustrato para evitar el estrés excesivo en la planta por la falta de espacio.

Material microbiológico

El inoculante de HMA empleado fue producido en las instalaciones del campo experimental de agroecología de ECOSUR Villahermosa. Utilizando como planta hospedera a *Brachiaria decumbens* inoculada con esporas de *Rizophagus intraradices* en una mezcla de 50 % suelo arcilloso 35 % arcilla y 15 % vermicomposta. El inoculante utilizado presentó una concentración de 55 esporas por gramo de sustrato. La aplicación del inoculante en el experimento 1 se realizó sobre el sustrato y la semilla procurando el mayor contacto con el inoculante. Para el segundo experimento se aplicaron 40 gramos del inoculante en el momento de la siembra de las semillas en cada bolsa, realizándose una doble inoculación en el fondo y sobre la semilla. En el

tercer experimento el inoculante fue mezclado junto con el sustrato antes del llenado de las bolsas.

Riegos y mantenimiento

En el experimento 1 en condiciones de laboratorio se mantuvo la humedad constante y temperatura fue regulada, colocando los contenedores de 0.5 litros sobre una cámara de flujo laminar, manteniendo el sustrato a capacidad de campo y cubriendo los contenedores. En los experimentos 2 y 3 las plantas se regaron cada dos días de acuerdo a las condiciones de humedad, evitando excesos y encharcamientos para evitar la proliferación de enfermedades fúngicas. Se realizaron inspecciones con regularidad para detectar la aparición de plagas en las plantas y se hicieron deshierbes manuales cuando se observaron malas hierbas. Las plagas fueron controladas de manera manual y se efectuaron aplicaciones de extractos de aceite de semilla Neem (*Azadirachta indica A. juss*) para el control de plagas y enfermedades. A los 45 días se realizó una aplicación de vermicomposta líquida como fertilizante foliar, repitiéndose a los 60 días.

Evaluación de la actividad microbiana

La actividad microbiana (mg CO₂ g⁻¹ sustrato) se evaluó por el método de cámara de vacío (Page et al., 1982) mediante la medición de dióxido de carbono (CO₂) resultante de la respiración microbiana. Se tomó una muestra de 20 g en cada tratamiento y se depositaron en frascos de plástico con tapa. La humedad de los sustratos se reguló a un 25 % y se restituyó la humedad después de cada medición. Las capturas de CO₂ se hicieron utilizando una trampa alcalina de 5 ml de hidróxido de sodio (NaOH 1M). La medición se realizó precipitando los carbonatos con cloruro de bario (BaCl₂) al 10 % y titulando con ácido clorhídrico 0.5 M utilizando fenolftaleína como indicador. Se hicieron un total de diez mediciones a lo largo de 30 días, a los 3, 5, 7, 9, 12, 15, 18, 22, 26 y 30 días después del inicio de la incubación.

VARIABLES EVALUADAS

Se realizaron mediciones cada 30 días después de la fecha de siembra de las semillas en las cuales se registraron la altura de la planta (cm) y el número de hojas. El grosor (mm) del tallo fue medido a los 90 días con el fin de evitar lesiones ya que en los primeros meses los tallos son muy delgados y frágiles. Después de los 90 días de procedió a realizar un muestreo destructivo para hacer el análisis de nutrientes en las plantas y conocer el estado nutricional de las mismas. Se evaluó el peso seco del tallo, hojas y raíces de las plantas. Para determinar el peso seco de la biomasa producida se utilizó una estufa de aire forzado a una temperatura de 65°C y posteriormente pesadas en balanza analítica. Para el análisis de nitrógeno (N) se utilizó el método Kjeldhal mediante digestión sulfúrica y catalizador de sulfato de cobre (CuSO₄) y sulfato de potasio (K₂SO₄). La cuantificación de fósforo (P) se llevó a cabo por medio de colorimetría utilizando el complejo de vanado-molibdato y leyendo en espectrofotómetro a una longitud de onda de 882 nanómetros. Para la evaluación de la infección micorrízica las raíces de las plantas fueron teñidas con azul de tripán mediante el método propuesto por Philips y Hayman (1970), modificado por Koske y Gemma (1989) y posteriormente cuantificada utilizando el método de intersección de cuadrante de Giovanetti y Mosse (1980). El conteo de esporas se realizó utilizando la técnica de tamizado húmedo de Gerdemann y Nicholson (1963) seguido de centrifugado en gradiente de sacarosa al 60 %.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Se realizaron pruebas de normalidad a los datos experimentales y en algunos casos se realizó la transformación de estos para normalizarlos. Posteriormente se llevó a cabo análisis de varianza (ANOVA) para determinar la existencia de diferencias de medias entre los tratamientos y de ser el caso se efectuó el análisis de comparación de medias de Tukey ($P \leq 0,05$) y la prueba de coeficiente de correlación de Pearson con significancias de $P \leq 0,05$ y $P \leq 0,01$. Para ello se utilizó el paquete estadístico R-Project 3.2.1 para las pruebas estadísticas.

Resultados

Caracterización de sustratos

En el análisis de fertilidad de los sustratos la mayoría de los tratamientos mostró un pH cercano a la neutralidad (6,5 a 7,5), sin embargo el tratamiento con 50 % de peat-moss fue el que presentó el valor más bajo, siendo ligeramente ácido (Tabla 2). Los tratamientos a los que se les incorporó el 50 % de abonos orgánicos presentaron un mayor contenido de materia orgánica, el Testigo y los tratamientos con 25 % de abonos orgánicos se encontraban entre 5.27 y 6.67 %, mientras que los tratamientos con 85 y 100 % fueron los que tenían menos materia orgánica 3,23 y 3,8 respectivamente. El mayor contenido de nitrógeno se encontró en los tratamientos en los que se utilizó vermicomposta, los tratamientos con peat-moss y el Testigo obtuvieron resultados parecidos y los tratamientos con mayor porcentaje de suelo tuvieron los resultados más bajos. En el análisis de fósforo la dinámica fue parecida a la del nitrógeno, la aplicación de vermicomposta propició un mayor contenido de fósforo, el Testigo fue mayor que los tratamientos con 25 y 50 % de peat-moss y a 85 y 100 % de suelo la cantidad de fósforo se vio disminuida.

Actividad microbiana

Después de los 30 días de incubación en el experimento de respiración se observaron diferencias significativas entre tratamientos. El tratamiento 50%VP alcanzó la mayor acumulación de CO₂ a los 30 días, con valores de 5,970 mg CO₂ g⁻¹ sustrato, sin diferencias significativas con el tratamiento 50%V (5,214 mg CO₂ g⁻¹ sustrato) respectivamente. Los tratamientos 50%P (4,254 mg CO₂ g⁻¹ sustrato) y 25%VP (4,116 mg CO₂ g⁻¹ sustrato) no presentaron diferencias significativas entre sí. Asimismo, los tratamientos con 25 % de vermicomposta, peat-moss y la mezcla de ambos, así como el Testigo no presentaron diferencias significativas entre sí. El valor más alto de este indicador lo obtuvo el tratamiento 25 %VP (4,116 mg CO₂ g⁻¹ sustrato) y el más bajo el Testigo (3,006 mg CO₂ g⁻¹ sustrato). Los tratamientos con mayor porcentaje de suelo fueron los que presentaron la menor cantidad de CO₂, el tratamiento 100%S presentó el valor más bajo y mostró diferencias significativas con los demás tratamientos excepto con el Testigo y con el 85%S (Figura 1).

Germinación

A los 5 días se obtuvo el 100 % de germinación de las semillas en los tratamientos sin HMA, y a los 4 días en los tratamientos con HMA (Tablas 3 y 4). En general podemos plantear que no existió afectación ni beneficio por aplicación del biofertilizante y diferentes sustratos en la germinación de las semillas.

Altura, número de hojas y diámetro de las plantas

En la Tabla 5 se presentan las alturas de las plantas en los diferentes tratamientos evaluados, las cuales mostraron diferencias significativas a los 30 días después de la siembra para los tratamientos sin y con HMA. En la fase sin HMA la mayor altura se presentó en el tratamiento 50%V (22,85 cm) diferenciándose del Testigo (18,38 cm). En los tratamientos con HMA las plantas con mayores alturas se presentaron en el tratamiento 25%V con 21,99 cm con diferencias significativas con los tratamientos 100%S, Testigo y 50%VP (19,75, 19,30 y 18,83 cm). A los 60 y 90 días no existieron diferencias significativas en las alturas de los tratamientos sin y con HMA. Sin embargo los tratamientos 50%V sin HMA y 50%P con HMA obtuvieron las mayores alturas a los 60 días con 28,98 y 30,06 cm respectivamente. A los 90 días las mayores alturas se registraron en los tratamientos 25%P sin HMA (35,45 cm) y 25%VP con HMA (37,03 cm).

En los tratamientos sin inoculación micorrízica se obtuvieron diferencias significativas en el conteo de hojas a los 60 días después de la siembra. El mayor número de hojas se observó en el tratamiento 25%VP con un conteo promedio de 11,38 hojas por planta, presentando diferencias significativas con los tratamientos 25%V y 100%S, ambos con un promedio de 9,50 hojas por planta. Los demás tratamientos presentaron medias similares y sus valores oscilaron entre 10,13 y 10,88 hojas (Tabla 6). En la fase de inoculación con micorriza las diferencias estadísticas significativas se observaron en los 30 y 90 días. A los 30 días el valor más alto lo presentó el Testigo (7,13 número de hojas) y fue diferente al tratamiento 50%VP que obtuvo el valor más bajo (5,88 número de hojas). A los 90 días la dinámica fue parecida, el Testigo tuvo mayor conteo con

14,13 hojas mientras que los tratamientos 50%VP, 50%V y 25%V fueron los más bajos con 11,38, 11,25 y 11,00 hojas respectivamente.

Los diámetros de los tallos no presentaron diferencia significativa. El mayor diámetro se observó en el tratamiento 50%V sin biofertilización y 50%P con biofertilización, ambos con un promedio de 5,13 mm.

Nutrición de las plantas

En las Tablas 7 y 8 se muestran los resultados de los análisis nutrimentales de las plantas en los tratamientos sin y con inoculación micorrízica. El largo de la raíz mostró diferencias significativas en ambos casos, la mayor longitud se obtuvo en el tratamiento 25%P con 29,80 mm en los tratamientos sin HMA y 32,35 mm en el tratamiento 50%P con HMA. El fósforo foliar presentó diferencias solo en el caso de tratamientos sin HMA. El tratamiento 50%V (0,41% de fósforo) fue el que mostró el mayor contenido de fósforo y sólo presentó diferencia significativa con el tratamiento 100%S (0,26 % de fósforo). Los demás valores oscilaron entre 0,28 y 0,35 % de fósforo y no tuvieron diferencias entre sí. En los tratamientos con HMA el nitrógeno foliar en el tratamiento 25%VP (1,92 % de nitrógeno) fue el mayor valor obtenido y mostró diferencias significativas con los tratamientos 25%P, 50%P, 85%S y 100%S (0,70, 0,55, 0,55 y 0,49 % de nitrógeno).

Análisis microbiológico

El porcentaje de infección fue mayor en el tratamiento 25%P (15,73 %), el tratamiento 50%V (0,86 %) obtuvo el menor porcentaje de infección, los demás tratamientos fueron semejantes con valores que oscilaron entre 1,76 y 15,46 %. El conteo de esporas presentó el valor más alto en el tratamiento 50%V con 14,75 esporas g⁻¹ de sustrato, mientras que los tratamientos 25%V, 25%P, 85%S y 100%S fueron los que menor conteo obtuvieron con valores promedios entre 2,00 y 3,25 esporas g⁻¹ sustrato (Tabla 9).

Correlaciones de Pearson

Se encontraron valores significativos en las correlaciones de la actividad microbiana con el fósforo foliar (0,68), la altura de la planta y el peso seco de la raíz (0,74), así como

con el número de hojas y la longitud de la raíz (0,70) en los tratamientos sin la aplicación de HMA (Tabla 10). En los tratamientos con aplicación de HMA la relación entre actividad microbiana y fósforo foliar fue significativa (0,79) al igual que el peso seco total y el porcentaje de infección micorrízica (0,82). Se obtuvo una correlación significativa entre fósforo foliar y el número de esporas (0,74) en los sustratos utilizados (Tabla 11).

Número de hojas, longitud y diámetro del tallo de los injertos

En el caso de los injertos el análisis estadístico no mostró diferencias significativas entre las medias de los indicadores morfológicos de crecimiento y desarrollo. Sin embargo el conteo más alto del número de hojas se encontró en el tratamiento con aplicación de 25 % de vermicomposta sin biofertilización a los 30 y 60 días (7,00 y 9,00). La mayor longitud de los injertos se presentó en el tratamiento Testigo sin aplicación de HMA (20,16 cm a los 30 días; 22,76 a los 60 días). El diámetro de los injertos fue superior en el Testigo con HMA (6,28 mm 30 días y 6,85 a los 60 días), los cuales fueron los más altos en comparación con el resto de los tratamientos (Tabla 12).

Discusión

Actividad microbiana

Como era de esperarse la adición del abono orgánico promovió una mayor actividad microbiana del suelo. Los tratamientos con las dosis más altas de vermicomposta, peat-moss o la mezcla de ambos presentaron una mayor producción de CO₂ en relación a los que no recibieron abono orgánico y al Testigo. Esto se debe a que la materia orgánica es fuente de C para los microorganismos del suelo (Martínez et al., 2008). Así, el aumento en el contenido de materia orgánica a través de los abonos orgánicos estimula una mayor actividad microbiana del sustrato. Guerrero et al., (2012), reportó los valores más altos de acumulación de CO₂ en enmiendas con valores altos de materia orgánica (40,81 %), mientras que Álvarez y Anzueto, (2004) indicaron que la mayor acumulación de CO₂ en suelos de uso agrícola se debe a un aumento en la presencia de carbono lábil en la materia orgánica. En suelos cultivados con hortalizas la actividad microbiana es mayor bajo condiciones de abonamiento orgánico (4 t ha⁻¹ de

vermicomposta) que en suelos fertilizados de forma convencional (400, 120 y 300 kg ha⁻¹ de nitrógeno, fósforo y potasio respectivamente) (Villareal et al., 2010).

Germinación

Los mejores resultados en la germinación de las semillas se obtuvo en los tratamientos con los mayores contenidos de materia orgánica (50%V y 50%VP). Las condiciones físicas y químicas de los sustratos influyeron de manera directa en la germinación de las semillas (Quiroz y Rentería, 2002). Esto corresponde con lo reportado por Altamirano y Aparicio (2002), donde se obtuvieron los mejores resultados de germinación en semillas de pino (*Pinus rudis*) en tratamientos con aplicación de 50 % de vermicomposta 30 % de arena y 20 % de suelo de bosque. Hubo interacción positiva en la aplicación hongos micorrízicos, el cual promovió un mayor porcentaje de germinación en un tiempo menor. Constantino et al. (2010), encontró que la inoculación de micorrizas con bacterias promotoras de crecimiento vegetal (*Azotobacter chroococum* y *Azospirillum brasilense*) influyó en un mayor porcentaje de germinación (83,33 a 84,72 %) y menor tiempo de germinación (1,81 y 1,95 días), siendo una alternativa eficaz para disminuir el tiempo de germinación de las semillas de papaya y aumentar el porcentaje de las mismas. Méndez, Moreno y Moya (2009) en estudios realizados con diferentes sustratos con arena, suelo y bagazo de caña obtuvieron buenos resultados en la germinación de semillas de guayaba al utilizar 100 % arena (78,75 % de germinación), 100 % bagazo (57,50 % de germinación) y 50 % bagazo con 50 % arena (62,50 % de germinación) a los 27 días de transcurrido el experimento. Estos resultados demuestran el efecto positivo de la materia orgánica descompuesta en la germinación de la semilla, así como la aplicación de biofertilizantes como alternativa eficaz para acelerar los tiempos de germinación.

Altura, número de hojas y diámetro de plantas

El aumento en la altura de las plantas del tratamiento 50%V sin HMA a los 30 días después de la siembra, se debe al mayor contenido de macronutrientes (P y N) así como las sustancias promotoras de crecimiento vegetal presentes en la vermicomposta. Atiyeh et al., (2002) reportaron aumentos en las alturas de plantas de hortalizas al

aplicar extractos húmicos procedentes de vermicompostas. Da Silva et al., (2013) encontraron mejores resultados en plantas de café en viveros en tratamientos con aplicación de enmiendas orgánicas compuestas de 50 % de estiércol de ganado con altos contenidos de nitrógeno y fósforo en comparación con un sustrato comercial. La aplicación de un 50 % de vermicomposta en sustratos para especies forestales (*Pinus oaxacana* y *Pinus rudis*) brindaron resultados óptimos en la fase inicial de crecimiento de las plantas (Quiroz y Rentería, 2002).

Nutrición de las plantas

El tipo de sustrato influyó en el aumento del área radicular de las plantas. En los tratamientos que presentaron mayor contenido de materia orgánica (Peat-moss) se observaron raíces mas largas. Esto concuerda con lo observado por Da Silva et al. (2013) en plantas de café con mezclas de sustratos que contenían 33 % y 50 % de estiércol composteado. Se observaron diferencias en los contenidos de fósforo de las plantas, esto muy probablemente se encuentra ligado al contenido nutrimental de los sustratos ya que el mayor contenido de fósforo foliar se encontró en el tratamiento con mayor porcentaje de vermicomposta la cual presentó 466,75 ppm de fósforo. Tal como mencionan Rakesh, Jaswinder y Adarsh, (2014) la vermicomposta es un excelente abono orgánico capaz de aportar múltiples beneficios nutrimentales y de rendimiento a los cultivos, ya sea sola o en combinación con otros fertilizantes. Sin embargo no se obtuvo efecto al inocular con HMA en los diferentes sustratos ya que estos no presentaron diferencias significativas en los indicadores evaluados. Esto concuerda con lo observado por Corbera et al., (2008) en su bioensayo realizado con *Anthurium andreanum* en el cual no se encontró diferencia en los parámetros medidos en relación a la aplicación de biofertilizantes y los diferentes sustratos.

Análisis microbiológico

El contenido nutrimental de los sustratos tuvo efecto en la colonización micorrízica. A menores contenidos de fósforo (25%P y 25%VP) se observó una mayor colonización micorrízica, mientras que, en los sustratos con mayor presencia de fósforo la infección fue menor. Estos resultados coinciden con el trabajo realizado por Xie, et al., (2014) el

cual encontró disminución de la infección micorrízica al aumentar la fertilización fosfórica, observando el menor porcentaje de hifas a los 30 mg kg⁻¹ de P. Los altos niveles de nutrientes disminuyen el porcentaje de colonización micorrízica (Hernández et al., 2006). El aumento en el conteo de esporas en el tratamiento 50%V no fue consistente ya que no fue acorde con el porcentaje de colonización como se esperaba sin embargo como anteriormente se mencionó los altos contenidos nutrimentales de la vermicomposta satisface la demanda nutricional de la planta sin la necesidad de la colonización micorrízica. La adición de abonos orgánicos en los sustratos fomenta mejores condiciones para la propagación de los microorganismos lo que se ve reflejado en un aumento de esporas micorrízicas (Millaleo et al., 2006)

Correlaciones de Pearson

La relación existente entre la actividad microbiana de los sustratos se debe principalmente a los diferentes porcentajes de materia orgánica presente en los diferentes tratamientos y al carbono lábil presente en esta que funge como alimento para los microorganismos (Álvarez y Anzueto, 2004). La transformación de los compuestos orgánicos en nutrientes asimilables para la planta se ve reflejado positivamente en los parámetros nutrimentales medidos en las plantas. El aumento en el peso seco total de la planta tuvo una relación positiva con la infección micorrízica (Tabla 11). Esto concuerda con lo reportado en anteriores estudios en bioensayos con *Solanum lycopersicum*, en los que se encontró que la inoculación con HMA favorece al aumento del peso seco de las raíces de las plantas de tomate (Correón, Beltrán y Martínez, 2006). El peso seco, el área foliar y el número de hojas se encuentra ligado a la colonización de HMA en plantas de *Catharanthus roseus* (De la Rosa et al., 2012).

Número de hojas, longitud y diámetro del tallo de los injertos

Los parámetros morfológicos de las plantas no presentaron diferencias significativas entre tratamientos a los 30 y 60 días. Otros autores como Oropeza y Russian (2008) han encontrado diferencias en el uso de vermicomposta líquida como abono orgánico para plantas injertadas, teniendo resultados positivos en la longitud y el número de hojas de injertos de naranja criolla después de 100 días de trasplantadas.

Conclusiones

La actividad microbiana se incrementó al elevarse el contenido de materia orgánica en el sustrato, siendo el mejor tratamiento 50%VP y el de 50 %V. Además se presentó una relación positiva significativa entre la actividad microbiana y el contenido de fósforo foliar en las plantas. En la germinación de semillas de cacao los mejores resultados se obtuvieron al utilizar los sustratos con mayores contenidos de materia orgánica (50%V y 50%VP) en donde se obtuvo el 100 % de germinación a los tres días en comparación al resto de los tratamientos los cuales germinaron a los 5 días. En relación a la altura de la planta el mejor tratamiento fue el de vermicomposta al 50 %, alcanzado la mejor altura a los 30 días. El uso de sustratos con un contenido de 50 % de vermicomposta influyó en el aumento de la concentración de fósforo foliar en un 10 % y en el contenido de esporas (14,75 esporas. g-1 sustrato), en comparación con la norma técnica de producción (Testigo). La aplicación de biofertilizante micorrízicos propició una mayor absorción de nitrógeno y fósforo foliar, al utilizarse 25 % de la mezcla de vermicomposta y peat-moss. El uso del HMA redujo la aplicación de fertilizantes químicos, promoviendo la producción de plantas más sanas y bien nutridas, siendo una alternativa para la renovación de las plantaciones, además de propiciar la proliferación de esporas de HMA en los cacaotales mejorando la microbiología del suelo y la nutrición de las plantas.

Referencias bibliográficas.

- Adriano M, Jarquín R, Hernández C, Figueroa M, Monreal C (2011). Biofertilizer of Organic Coffee in Stage of Seedlings in Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(3): 417–431.
- Aguirre J, Mendoza A, Cadena J, Avendaño C (2007). Efecto en la biofertilización en vivero de cacao (*Theoroma cacao L.*) con *Azospirillum brasilense Tarrand, Krieg et Döbereiner* y *Golums intraradices Schenk et Smith*. *Interciencia* 32(8):541–546.
- Álvarez J, Anzueto J (2004). Actividad Microbiana del Suelo Bajo Diferentes Sistemas de Producción de Maíz en los Altos de Chiapas México. *Agrociencia* 38: 13–22.

- Atiyeh R M, Lee S, Arancon B Q, Metzger J D (2002). The influence of humic acids derived from earthworm-processed organic wastes on plant growth. *Bioresource Technology* 84: 7–14.
- Azcón R (2000). Papel de la Simbiosis Micorrízica y su Interacción con otros Microorganismos Rizosféricos en el Crecimiento Vegetal y Sostenibilidad Agrícola. In: A Alarcón and R Ferrera Cerrato (eds.) 2000. *Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. Colegio de Postgraduado. Montecillo. Mundi-Prensa. México. 251 p.
- Camargo S L, Montaña NM, De la Rosa C L, Montaña S (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria* 13(7): 1–19.
- Chen, J H (2006). The Combined Use of Chemical and Organic Fertilizers and/or Biofertilizer for Crop Growth and Soil Fertility. *International Workshop on Sustained Management of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use* 16: 1-9.
- Constantino M, Gómez R., Álvarez J D, Pat J M, Espín E G (2011). Efecto de la inoculación de *Azotobacter chroococcum* y *Glomus intraradices* en el crecimiento y nutrición de plántulas de papaya en fase de vivero. *Agronomía Costarricense* 35(1): 15–31.
- Corbera J, Paneque V M, Calaña J M, Morales C (2008). Evaluación de sustratos y aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de *Anthurium andreaum* en etapa de vivero. *Cultivos Tropicales* 29(4): 27–33.
- Córdova V, Mendoza J D, Vargas L, Izquierdo F, Ortiz C (2008). Participación de las asociaciones campesinas en el acopio y comercialización de cacao (*Theobroma cacao L.*) en Tabasco, México. *Univerisdad y Ciencia* 24(2): 147–158.
- Correón Y, Beltrán M A, Martínez M (2013). Efecto protector de los hongos micorrízicos arbusculares en plantas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) expuestas a Cr(VI). *Revista Internacional de Botánica Experimental* 82: 127–134.
- Da Silva A P, Costa E, Do Espirito Santo T, Da Silva L, Martins R (2013). Coffee Seedlings in Different Substrates and Protected Enviroments. *Eng. Agric. Jaboticabal* 33(4): 589–600.

- Durán, F., 2013. Cultivo y explotación del Cacao. Primera ed. Colombia: Grupo Latino, 424 p.
- Félix J, Sañudo R, Rojo G, Martínez R, Olalde V (2008). Importancia de los Abonos Orgánicos. *Ra Ximhai* 4(1): 57–67.
- Gendermann J W, Nicholson T H (1963). Spores of mycorrhizal *Endogone* species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British mycological Society* 46: 235–244.
- Giovanetti M, B Mosse (1980). An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. *Nex Phytologist* 84: 489–500.
- Gosling, P, Hodge A, Goolass G, Bending G, (2006). Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Organic Farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113: 17–35.
- Guerrero P L, Quintero R, Espinoza V, Benedicto G S, Sánchez M de J (2012). Respiración de CO₂ como Indicador de la Actividad Microbiana en Abonos Orgánicos de *Lupinus*. *Terra Latinoamericana* 30(4): 255–362.
- Hernández M, Cetina V M, González M C, Cervantes C T (2006). Inoculación micorrízica y su efecto en el crecimiento de dos leguminosas arbóreas. *Terra Latinoamericana* 24(1): 65–73.
- ICCO (2015). International Cocoa Organization. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics- November 2015: Latest news. ICCO; [consultada 2015 Diciembre 6] <http://www.icco.org/home/latest-news.html>
- Jaimés Y, Aranzazu F (2010). Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en: Colombia con énfasis en *Monilia* (*Moniliophthora roreri*). Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Corpoica, Colombia. 90 pp.
- Koske R M, Gemma J M (1985). Species of *Gigaspora* (*Endogonaceae*) with roughened outer walls. *Mycology* 77: 702–720.
- De la Rosa C, Ferrera Cerrato R, Alarcón A, Sánchez M de J, Franco 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: 187–198.

- López J, Díaz A, Martínez E, Valdez R (2001). Abonos Orgánicos y su Efectos en Propiedades Físicas y Químicas del Suelo y Rendimiento del Maíz. *Terra Latinoamericana* 19(4): 293–299.
- Martínez E, Fuentes J P, Acevedo E (2008). Carbono Orgánico y propiedades del Suelo. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 8(1): 68–96.
- Méndez J R, Moreno M J, Moya J F (2009). Efecto de diferentes combinaciones de sustratos (arena, suelo y/o bagazo de caña de azúcar) sobre la germinación de semillas y altura de plantas de guayaba (*Psidium guajava L.*). *Revista UDO Agrícola* 9(1):121–125.
- Millaleo R, Montecinos C, Rubio R, Contreras A, Borie F (2006). Efecto de la adición de compost sobre propágulos micorrízicos arbusculares en un suelo volcánico del centro sur de Chile. R.C. *Revista de la Ciencia del Suelo y Nutrición Vegetal* 6(3): 26–39.
- Ngosong C, Jarosch M, Raupp J, Neumann E, Ruess L (2010). The Impact of Farming Practice on Soil Microorganisms and Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Crop Type Versus Long-term Mineral and Organic Fertilization. *Applied Soil Ecology* 46; 132–142.
- NOM-021-RECNAT-2000 (2002). Que Establece las Especificaciones de Fertilidad, Salinidad y Clasificación de los Suelos. Estudios, Muestreos y Análisis.
- Oropeza J, Russian T (2008). Efecto del Vermicompost Sobre el Crecimiento, en Vivero, de la Naranja “Criolla” sobre tres patrones. *Agronomía Tropical*, 58(3): 289–297.
- Page A L, Miller R H, Keeney D R (1982). *Methods of Soil Analysis*. 2da ed. WI. EUA: American Society of Agronomy.
- Philips J M, Hayman D S (1970). Improved Procedures for Clearing Roots and Staining Parasitic and Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Rapid Assessment to Infection. *Transactions of the British mycological Society* 55: 158–161.
- Quiroz M T, Rentería A (2002). Efecto de la Lombricomposta como Sustrato Alterno en la Germinación y Crecimiento Inicial *Pinus Oaxacana Mirov.* y *Pinus rudis Endl.* *Foresta Veracruzana* 4(1): 35–40.

SIAP (2015). Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2014. Cierre de la producción agrícola por cultivo. [Consultada 2015 Diciembre 6] <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>

Villareal M, Parra S, Sánchez P, Hernández S, Osuna T, Heredia B (2010). Cobertura vegetal, vermicompost y actividad microbiana del suelo en la producción de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 1(2): 217–231.

Xie X, Weng B, Bangping C, Yiran D, Chongling Y (2014). Effects of arbuscular mycorrhizal inoculation and phosphorus supply on the growth and nutrient uptake of *Kandelia obovata* (Sheue, Liu & Yong) seedlings in autoclaved soil. *Applied Soil Ecology* 75: 162-171.

Tabla 1. Tratamientos utilizados en los experimentos

Table 1. Treatments used in the experiments

Tratamiento	Composición
Testigo	25 % Agrolita® + 60 % Suelo + 15 % Arena
25%V	25 % Vermicomposta + 60 % Suelo + 15 % Arena
25%P	25 % Peat-moss + 60 % Suelo + 15 % Arena
25%VP	25 % Vermicomposta y Peat-moss (1:1) + 60 % Suelo + 15 % Arena
50%V	50 % Vermicomposta + 35 % Suelo + 15 % Arena
50%P	50 % Peat-moss + 35 % Suelo + 15 % Arena
50%VP	50 % Vermicomposta y Peat-moss (1:1) + 35 % Suelo + 15 % Arena
85%S	85 % Suelo + 15 % Arena
100%S	100 % Suelo

Tabla 2. Caracterización de las diferentes mezclas de sustratos empleados en los experimentos

Table 2. Characterization of the different substrates mixtures used in the experiments

Tratamiento	pH	MO	C	N	P	C/N	CIC	K
			%		mg kg⁻¹	-	cmol kg⁻¹	ppm
Testigo	7,23	5,57	3,23	0,92	63,63	3,51	26,25	400
25%V	7,13	6,67	3,87	1,48	247,45	2,61	19,50	600
25%P	6,91	5,27	3,06	0,74	15,60	4,14	21,00	200
25%VP	6,73	5,84	3,39	1,16	107,62	2,92	18,50	400
50%V	6,92	11,42	6,62	3,9	466,75	1,70	26,50	2800
50%P	5,71	9,52	5,52	1,12	13,09	4,92	20,50	200
50%VP	6,73	11,10	6,44	2,97	308,99	2,17	25,75	1000
85%S	7,11	3,23	1,87	0,50	15,97	3,74	18,50	200
100%S	7,15	3,8	2,20	0,64	17,28	3,44	24,50	200

Tabla 3. Porcentaje de germinación en los diferentes sustratos aplicados sin HMA

Table 3. Germination percentage in the different substrates used without AMF

Tratamiento	Fecha				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Testigo	20	60	90	100	100
25%V	30	50	90	90	100
25%P	30	70	90	100	100
25%VP	10	10	50	60	100
50%V	30	70	100	100	100
50%P	30	60	90	100	100
50%VP	20	40	100	100	100
85%S	40	70	90	90	100
100%S	20	50	80	100	100

Tabla 4. Porcentaje de germinación en los diferentes sustratos aplicados con HMA

Table 4. Germination percentage in the different substrates used with AMF

Tratamiento	Fecha				
	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5
Testigo	20	80	100	100	100
25%V	0	30	90	100	100
25%P	0	60	90	100	100
25%VP	30	40	80	100	100
50%V	30	60	100	100	100
50%P	20	70	90	100	100
50%VP	50	80	100	100	100
85%S	20	60	90	100	100
100%S	50	60	90	100	100

Tabla 5. Altura de las plantas a los 30, 60 y 90 días

Table 5. Plant heights at 30, 60 and 90 days

Tratamiento	Altura de las plantas (cm)					
	30 días		60 días		90 días	
	S/HMA	C/HMA	S/HMA	C/HMA	S/HMA	C/HMA
Testigo	18,38 c	19,30 cd	28,00 a	26,63 a	30,40 a	32,90 a
25%V	22,25 ab	21,99 a	29,21 a	26,11 a	31,40 a	30,76 a
25%P	22,11 ab	21,06 abc	28,44 a	28,76 a	35,45 a	33,80 a
25%VP	20,03 abc	21,69 ab	27,20 a	29,86 a	31,66 a	37,03 a
50%V	22,85 a	20,65 abcd	28,98 a	27,56 a	33,41 a	32,85 a
50%P	20,64 ab	21,41 ab	26,46 a	30,06 a	34,23 a	36,03 a
50%VP	20,88 ab	18,83 d	27,01 a	25,91 a	32,96 a	33,18 a
85%S	20,46 abc	20,79 abcd	26,01 a	25,71 a	32,33 a	32,34 a
100%S	19,65 abc	19,75 bcd	24,31 a	25,03 a	32,93 a	30,18 a

Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$)

Values followed by the same letters in the columns are not significantly different according Tukey test ($P \leq 0.05$)

Tabla 6. Número de hojas de los tratamientos sin y con HMA

Table 6. Leaf numbers at the treatments with and without AMF

Tratamiento	Número de hojas					
	30 días		60 días		90 días	
	S/HMA	C/HMA	S/HMA	C/HMA	S/HMA	C/HMA
Testigo	7,25 a	7,13 a	10,50 ab	11,00 a	12,13 a	14,13 a
25%V	6,63 a	6,38 ab	9,50 b	9,25 a	11,88 a	11,00 b
25%P	7,00 a	6,75 ab	10,38 ab	10,13 a	12,88 a	12,13 ab
25%VP	7,13 a	6,50 ab	11,38 a	10,63 a	13,63 a	12,88 ab
50%V	6,63 a	6,00 ab	10,13 ab	10,63 a	12,63 a	11,25 b
50%P	7,13 a	6,50 ab	10,75 ab	10,00 a	13,75 a	11,63 ab
50%VP	6,34 a	5,88 b	10,88 ab	9,50 a	12,63 a	11,38 b
85%S	6,75 a	6,38 ab	10,25 ab	9,38 a	13,25 a	12,13 ab
100%S	6,50 a	6,38 ab	9,50 b	9,50 a	11,50 a	12,63 ab

Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$)

Values followed by the same letters in the columns are not significantly different according Tukey test ($P \leq 0.05$)

Tabla 7. Análisis nutrimental y morfológico de las plantas sin HMA

Table 7. Nutritional and morphological analysis of plants without AMF

Tratamiento	PSR	LR	DT	PSTa	PSH	PSTo	NF	PF	KF
	g	mm			g			%	
Testigo	0,80 a	21,50 ab	4,88 a	0,67 a	1,56 a	2.23 a	0,55 a	0,31 ab	2,12 a
25%V	0,73 a	17,40. b	5,00 a	0,42 a	1,00 a	1.42 a	0,61 a	0,39 ab	2,07 a
25%P	1,35 a	29,80 a	5,00 a	1,02 a	1,74 a	2.76 a	0,39 a	0,29 ab	1,61 a
25%VP	1,17 a	25,53 ab	5,00 a	0,70 a	1,37 a	2.08 a	0,87 a	0,35 ab	1,70 a
50%V	0,87 a	19,00 ab	5,13 a	0,89 a	1,55a	2.44 a	0,64 a	0,41 a	2,28 a
50%P	1,21 a	27,45 ab	4,88 a	0,64 a	1,31 a	1.95 a	0,73 a	0,28 ab	1,42 a
50%VP	1,05 a	24,35 ab	4,75 a	0,71 a	1,94 a	2.66 a	0,78 a	0,37 ab	1,57 a
85%S	0,94 a	20,78 ab	4,88 a	0,68 a	1,45 a	2.13 a	0,70 a	0,28 ab	1,22 a
100%S	1,12 a	17,45 b	4,25 a	0,75 a	1,67 a	2.42 a	0,64 a	0,26 b	1,32 a

Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$), PSR= peso seco de la raíz, LR=longitud de la raíz, DT=diámetro del tallo (mm), PSTa=peso seco del tallo, PSH=peso seco de las hojas, PSTo=peso seco total, NF=nitrógeno foliar (%), PF=fósforo foliar (%), KF=potasio foliar (%).

Values followed by the same letters in the columns are not significantly different according Tukey test ($P \leq 0.05$) PSR= root dry weight, LR=root length, DT=stem diameter (mm), PSTa=stem dry weight, PSH=leaves dry weight, PSTo=total dry weight, NF=foliar nitrogen (%), PF=foliar phosphorus (%), KF=foliar potassium (%).

Tabla 8. Análisis nutrimental y morfológico de las plantas con HMA

Table 8. Nutritional and morphological analysis of the plants with AMF

Tratamiento	PSR	LR	DT	PSTa	PSH	PSTo	NF	PF	KF
	g	mm			g			%	
Testigo	1,15 a	17,20 b	5,00 a	0,93 a	1,77 a	2,70 a	1,21 ab	0,32 a	1,37 a
25%V	1,09 a	21,23 ab	4,88 a	0,63 a	1,24 a	1,87 a	1,53 ab	0,32 a	2,00 a
25%P	1,58 a	24,38 ab	4,88 a	0,90 a	1,58 a	2,48 a	0,70 b	0,26 a	1,22 a
25%VP	1,02 a	19,60 ab	5,00 a	0,97 a	1,80 a	2,77 a	1,92 a	0,28 a	1,67 a
50%V	1,03 a	16,15 b	4,75 a	0,85 a	1,48a	2,34 a	0,83 ab	0,42 a	2,56 a
50%P	1,36 a	32,35 a	5,13 a	0,58 a	1,20a	1,78 a	0,55 b	0,30 a	1,53 a
50%VP	0,84 a	18,95 ab	4,75 a	0,67 a	1,28 a	1,95 a	1,63 ab	0,41 a	2,16 a
85%S	0,69 a	25,05 ab	5,00 a	0,83 a	2,07 a	2,90 a	0,55 b	0,25 a	1,40 a
100%S	0,44 a	19,13 ab	4,75 a	0,67 a	1,60 a	2,27 a	0,49 b	0,29 a	1,33 a

Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$), PSR= peso seco de la raíz, LR=longitud de la raíz, DT=diámetro del tallo (mm), PSTa=peso seco del tallo, PSH=peso seco de las hojas, PSTo=peso seco total, NF=nitrógeno foliar (%), PF=fósforo foliar (%), KF=potasio foliar (%).

Values followed by the same letters in the columns are not significantly different according Tukey test ($P \leq 0.05$) PSR= root dry weight, LR=root length, DT=stem diameter (mm), PSTa=stem dry weight, PSH=leaves dry weight, PSTo=total dry weight, NF=foliar nitrogen (%), PF=foliar phosphorus (%), KF=foliar potassium (%)

Tabla 9. Evaluación microbiológica (conteo de esporas y porcentaje de micorrización) de los tratamientos con HMA

Table 9. Microbiological evaluation (spore counting and mycorrhizal percentage) of the treatments with AMF

Tratamiento	NES	PIM
	#	%
Testigo	12,75 ab	1,76 ab
25%V	3,25 c	2,54 ab
25%P	2,63 c	15,73 a
25%VP	5,50 bc	10,63 ab
50%V	14,75 a	0,87 b
50%P	9,25 abc	6,76 ab
50%VP	9,00 abc	15,46 ab
85%S	2,00 c	4,04 ab
100%S	2,38 c	9,32 ab

Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$), NES=número de esporas gramo de sustrato⁻¹ (#), PIM=Porcentaje de infección micorrízica (%)

Values followed by the same letters in the columns are not significantly different according Tukey test ($P \leq 0.05$), NES=spore number substrate gram⁻¹(#), PIM=mycorrhizal infection percentage (%)

Tabla 10. Coeficiente de correlación de Pearson de los parámetros nutrimentales de las plantas sin HMA

Table 10. Pearson's correlation coefficients of the nutritional parameters of the plant without AMF

	AM	AP	NH	DT	LR	PSR	PSTa	PSH	PSTo	NF	PF	KF
AM	-	0,22	0,32	0,41	0,30	0,05	-0,02	0,19	0,12	0,37	0,68*	0,33
AP	-	-	0,31	0,02	0,57	0,74*	0,53	0,29	0,41	-0,32	-0,25	-0,36
NH	-	-	-	0,50	0,70*	0,48	0,40	0,05	0,20	0,43	-0,09	-0,29
DT	-	-	-	-	0,30	-0,19	-0,05	-0,43	-0,31	-0,08	0,57	0,56
LR	-	-	-	-	-	0,78*	0,74*	0,46	0,62	-0,06	-0,27	-0,60
PSR	-	-	-	-	-	-	0,86**	0,57	0,74*	-0,02	-0,52	-0,29
PSTa	-	-	-	-	-	-	-	0,69*	0,87**	-0,15	-0,43	-0,38
PSH	-	-	-	-	-	-	-	-	0,96**	0,02	-0,34	-0,43
PSTo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,04	-0,40	-0,45
NF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,22	-0,23
PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,75*
KF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* $P \leq 0,05$, ** $P \leq 0,01$, AM=actividad microbiana, AP=altura de la planta, DT=diámetro del tallo, LR=longitud de la raíz, PSR= peso seco de la raíz, PSTa=peso seco del tallo, PSH=peso seco de las hojas, PSTo=peso seco total, NF=nitrógeno foliar, PF=fósforo foliar, KF=potasio foliar.

* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, AM=microbial activity, AP=plant heights, DT=stem diameter, LR=root length, PSR= root dry weight, PSTa=stem dry weight, PSH=leaves dry weight, PSTo=total dry weight, NF=foliar nitrogen, PF=foliar phosphorus, KF=foliar potassium.

Tabla 11. Coeficiente de correlación de Pearson de los parámetros nutrimentales de las plantas con HMA

Table 11. Pearson's correlation coefficients of the nutritional parameters of the plant without AMF

	AM	AP	NH	DT	LR	PSR	PSTa	PSH	PSTo	NF	PF	KF	NES	PIM
AM	-	0,41	-0,49	-0,26	-0,15	0,25	-0,27	-0,63	0,12	0,45	0,79**	0,58	0,60	0,24
AP	-	-	0,14	0,60	0,37	0,52	0,63	0,138	0,32	0,28	-1,22	-0,06	0,25	0,28
NH	-	-	-	0,33	-0,25	-0,06	0,56	0,506	0,37	0,04	-0,40	-0,46	0,08	-0,05
DT	-	-	-	-	0,67*	0,42	0,85**	0,68*	-0,15	-0,06	-0,57	-0,47	-0,03	-0,21
LR	-	-	-	-	-	0,39	0,59	0,541	-0,04	-0,45	-0,52	-0,44	-0,32	0,15
PSR	-	-	-	-	-	-	0,53	-0,059	0,03	0,05	-0,09	-0,02	0,22	0,12
PSTa	-	-	-	-	-	-	-	0,72*	0,33	-0,16	-0,62	-0,62	-0,04	0,15
PSH	-	-	-	-	-	-	-	-	0,17	-0,53	-0,72	-0,61	-0,28	-0,10
PSTo	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,04	-0,13	-0,32	-0,10	0,82**
NF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,30	0,04	0,13	0,15
PF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,77*	0,74*	-0,13
KF	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,63	-0,39
NES	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-0,38
PIM	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

* $P \leq 0,05$, ** $P \leq 0,01$, AM=actividad microbiana, AP=altura de la planta, DT=diámetro del tallo, LR=longitud de la raíz, PSR= peso seco de la raíz, PSTa=peso seco del tallo, PSH=peso seco de las hojas, PSTo=peso seco total, NF=nitrógeno foliar, PF=fósforo foliar, KF=potasio foliar, NES = número de esporas, PIM=porcentaje de infección micorrízica.

* $P \leq 0.05$, ** $P \leq 0.01$, AM=microbial activity, AP=plant heights, DT=stem diameter, LR=root length, PSR= root dry weight, PSTa=stem dry weight, PSH=leaves dry weight, PSTo=total dry weight, NF=foliar nitrogen, PF=foliar phosphorus, KF=foliar potassium, NES=spore number, PIM=mycorrhizal infection percentage.

Tabla 12. Número de hojas, largo y diámetro de los injertos a los 30 y 60 días

Table 12. Leaves number, stem length and stem diameter at 30 and 60 days

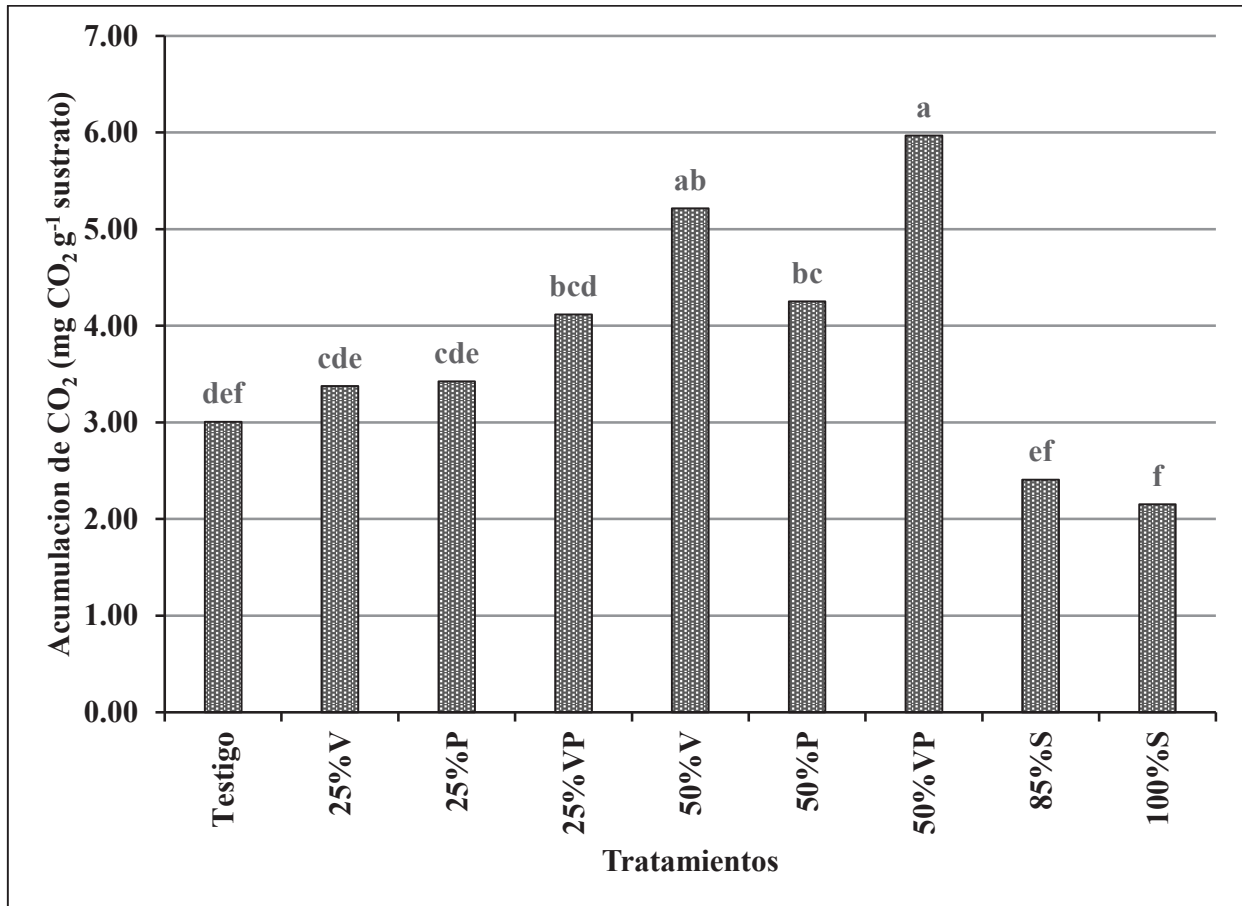
Tratamiento	30 días			60 días		
	Hojas	Largo	Diámetro	Hojas	Largo	Diámetro
Testigo	6,12 a	20,16 a	5,43 a	7,12 a	22,76 a	5,71 a
25%V	7,00 a	18,9 a	5,14 a	9,00 a	20,91 a	5,28 a
50%V	6,25 a	19,1 a	6,14 a	8,00 a	20,94 a	6,71 a
Testigo + HMA	6,75 a	17,94 a	6,28 a	8,62 a	19,66 a	6,85 a
25%V + HMA	6,12 a	18,58 a	5,00 a	7,62 a	19,77 a	5,85 a
50%V + HMA	6,00 a	19,47 a	6,14 a	7,62 a	21,63 a	6,71 a

Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$)

Values followed by the same letters in the columns are not significantly different according Tukey test ($P \leq 0.05$)

Figura 1. Acumulación de CO₂ (mg CO₂ g⁻¹ sustrato) después de 30 días de incubación

Figure 1. Accumulation of CO₂ (mg CO₂ g⁻¹ substrate) after 30 days incubation



Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$)

Values followed by the same letters in the columns are not significantly different according Tukey test ($P \leq 0.05$)

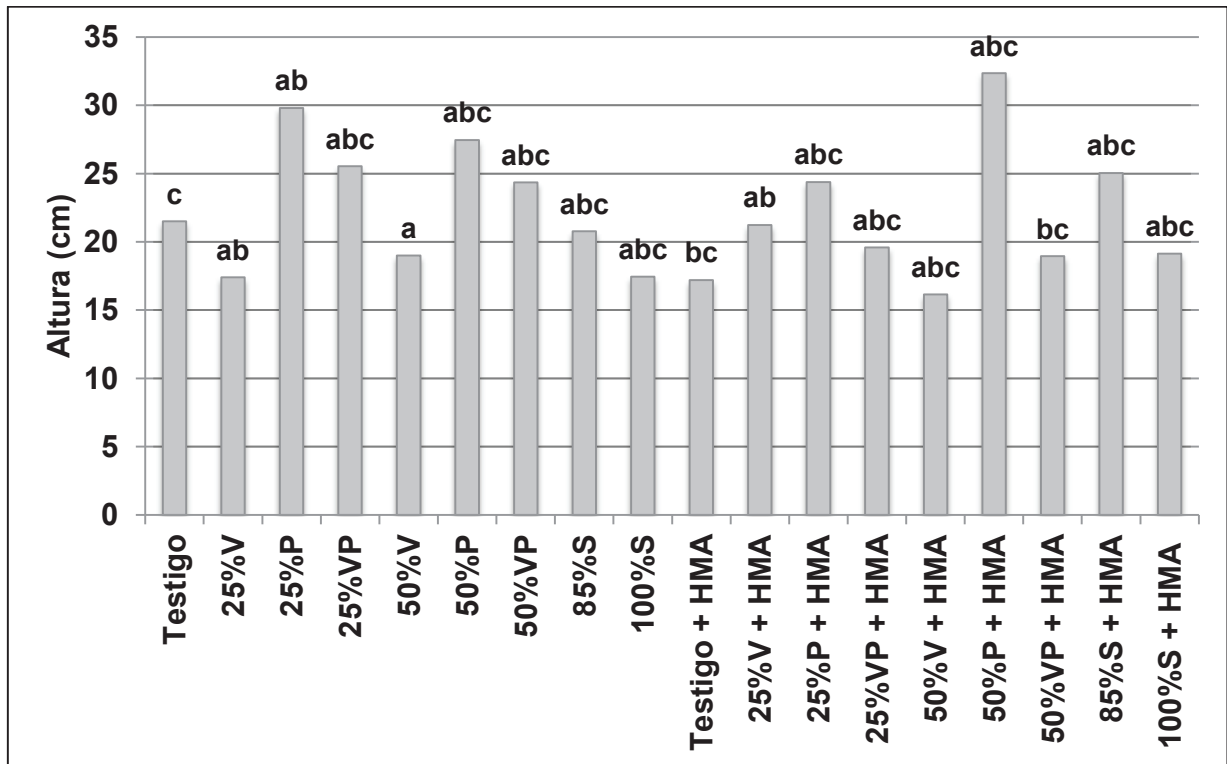
CAPÍTULO III. CONCLUSIONES GENERALES

- La producción de CO₂ resultante de la actividad microbiana se incrementó al elevarse el contenido de materia orgánica en el sustrato, siendo el mejor tratamiento 50%VP y el de 50%V. Además se presentó una relación positiva significativa entre la actividad microbiana y el contenido de fósforo foliar en plantas.
- En la germinación de semillas de cacao los mejores resultados se obtuvieron al utilizar los sustratos con mayores contenidos de materia orgánica (50%V y 50%VP) en donde se obtuvo el 100 % de germinación a los tres días y el resto de los tratamientos alcanzaron el 100 % de germinación a los 5 días.
- El uso de sustratos con 50 % de vermicomposta propició un aumento en la altura de las plantas patrón a los 30 días después de la siembra.
- El uso de un 50 % de vermicomposta en los sustratos de plantas patrón de cacao influyó en el aumento de la concentración de fósforo foliar en un 10 % en comparación con la norma técnica de producción (Testigo).
- La aplicación de biofertilizantes micorrízicos propició una mayor absorción de nitrógeno foliar al utilizar sustratos con 25 % de la mezcla de vermicomposta y peat-moss.
- El uso de 50 % de vermicomposta, peat-moss y la mezcla de ambos en los sustratos de plantas de cacao favoreció un aumento en el conteo de esporas micorrízicas.
- En plantas injertadas de cacao no hubo diferencia entre los tratamientos aplicados, sin embargo se mantuvo la altura, el número de hojas y diámetro de los injertos adecuados a lo largo de los 30 y 60 días.

- En general la aplicación de vermicomposta y micorrizas tuvo efectos positivos en la nutrición de las plantas de cacao en fase de vivero, siendo una alternativa para la renovación de las plantaciones.

CAPÍTULO IV. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE TODOS LOS TRATAMIENTOS EN CONJUNTO

En la Figura 2 se muestra que a los 30 días la altura fue superior en valor absoluto en los tratamientos sin utilizar HMA, presentando diferencia significativa con el Testigo (25%V y 50%V). Al aplicar la HMA los mejores tratamientos correspondieron a 25%V presentando diferencia significativa con el Testigo. A pesar de ello a los 60 días los mayores valores absolutos correspondieron a los tratamientos 25%V y 50%V sin HMA y 25%VP y 50%P con HMA sin presentar diferencias significativas. A los 90 días los mejores tratamientos correspondieron 25%P y 50%P sin HMA y 25%VP y 50%P con HMA sin diferencia significativa entre tratamientos.



Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$)

Figura 2. Altura de las plantas a los 30 días después de la siembra.

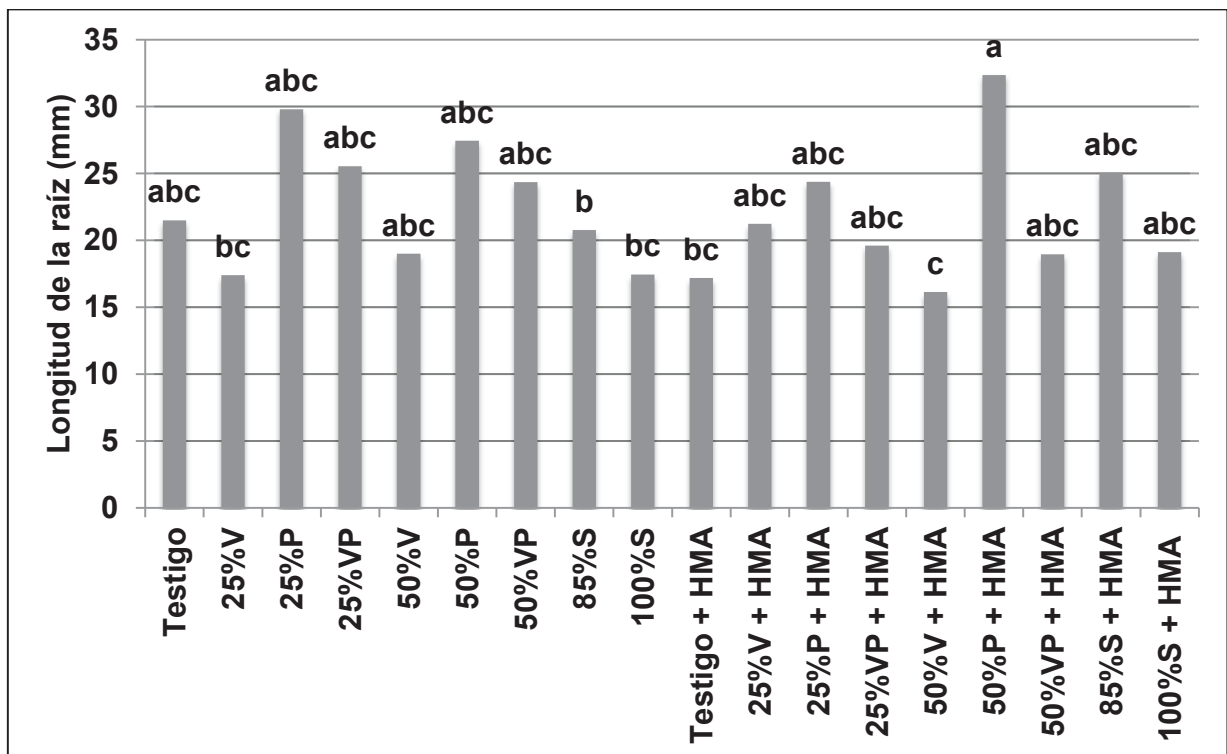
En relación al número de hojas los valores obtenidos presentaron un comportamiento similar incrementándose los mismos a través del tiempo y destacando los tratamientos Testigo, 25%VP y 50%P sin y con HMA (Cuadro 1).

Cuadro 1. Número de hojas a los 30, 60 y 90 días.

Tratamiento	Número de hojas		
	30 días	60 días	90 días
Testigo	7.25 a	10.50 ab	12.13 ab
25%V	6.63 ab	9.50 ab	11.88 ab
25%P	7.00 ab	10.38 ab	12.88 ab
25%VP	7.13 ab	11.38 a	13.63 ab
50%V	6.63 ab	10.13 ab	12.63 ab
50%P	7.13 ab	10.75 ab	13.75 ab
50%VP	6.34 ab	10.88 ab	12.63 ab
85%S	6.75 ab	10.25 ab	13.25 ab
100%S	6.50 ab	9.50 ab	11.50 ab
Testigo + HMA	7.13 ab	11.00 b	14.13 a
25%V + HMA	6.38 ab	9.25 ab	11.00 ab
25%P + HMA	6.75 ab	10.13 ab	12.13 ab
25%VP + HMA	6.50 ab	10.63 ab	12.88 ab
50%V + HMA	6.00 ab	10.63 ab	11.25 ab
50%P + HMA	6.50 ab	10.00 ab	11.63 ab
50%VP + HMA	5.88 b	9.50 ab	11.38 ab
85%S + HMA	6.38 ab	9.38 b	12.13 ab
100%S + HMA	6.38 ab	9.50 ab	12.63 ab

Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$)

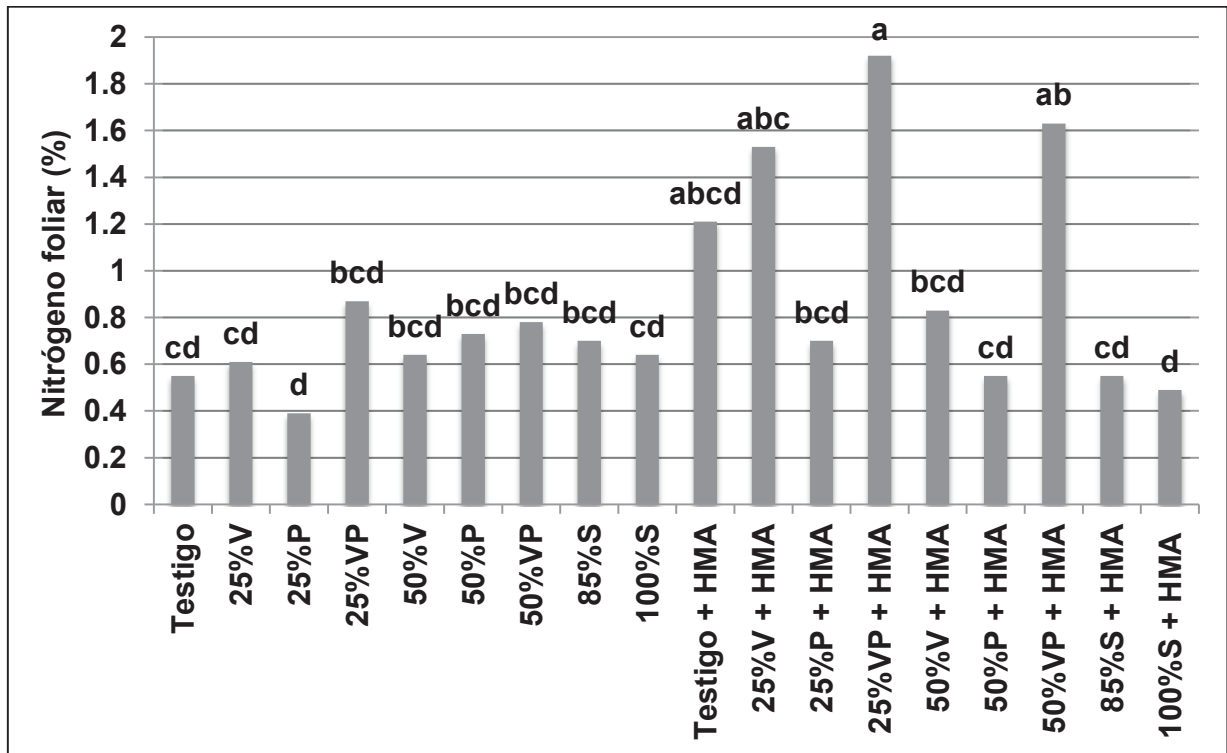
No se encontró diferencias significativas en el peso seco de tallo y hojas, sin embargo el peso seco de las raíces presentó diferencia significativa únicamente en el tratamiento 25%VP + HMA (1.58 g) con 100%S + HMA (0.44 g), los demás tratamientos se encontraron entre 0.69 y 1.33 g. En cuanto a la longitud de las raíces los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento 50%VP + HMA el cual presentó las diferencias más sobresalientes con los tratamientos 50%V + HMA y el Testigo + HMA (Figura 3).



Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$)

Figura 3. Longitud de las raíces de las plantas a los 90 días después de la siembra.

En relación a la nutrición de las plantas no se presentaron diferencias significativas entre tratamientos en los contenidos de fósforo y potasio foliar, sin embargo en el caso del nitrógeno foliar los mejores resultados se obtuvieron cuando se aplicó HMA con diferencia significativa con el Testigo sin micorriza en los tratamientos 25%VP y 50%VP con HMA (Figura 4).



Valores en las columnas seguidos de las mismas letras no difieren significativamente según test de Tukey ($P \leq 0,05$)

Figura 4. Contenido de nitrógeno foliar en las plantas a los 90 días después de la siembra.

LITERATURA CITADA

- Adriano M, Jarquín R, Hernández C, Figueroa M, Monreal C. 2011. Biofertilizer of Organic Coffee in Stage of Seedlings in Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 2(3); 417–431.
- Aguirre J, Mendoza A, Cadena J, Avendaño C. 2007. Efecto en la biofertilización en vivero de cacao (*Theoroma cacao L.*) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia*, 32(8):541-546.
- Alarcón A, Ferrera R. 1999. Manejo de Micorrizas Arbusculares en Sistemas de Propagación de Plantas Frutícolas. *Terra* 17(3):179–191.
- Andrade C. 2007. La viabilidad económica del cultivo del cacao en México a través de una economía sostenible. [Tesis de Licenciatura] Universidad de las Américas Puebla, 117 p.
- Artavia S, Uribe L, Arauz L, Castro L. 2010. Efecto de la Aplicación de Abonos Orgánicos en la Supresión de *pythium myriotylum* en Plantas de Tiquisque (*Xanthosoma sagittifolium*). *Agronomía Costarricense*, 34(1):17-29.
- Azcón R. 2000. Papel de la Simbiosis Micorrízica y su Interacción con Otros Microorganismos Rizosféricos en el Crecimiento Vegetal y Sostenibilidad Agrícola. En: Alarcón A. y Ferrera R. eds. *Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular*. México: Mundi-Prensa, p. 1–15.
- Camargo SL, Montaña NM, De la Rosa J, Montaña S. 2012. Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria* 13(7):1–19.
- Chen JH. 2006. The Combined Use of Chemycal and Organic Fertilizers and/or Biofertilizer for Crop Growth and Soil Fertility. *International Workshop on Sustained Managment of the Soil-Rhizosphere System for Efficient Crop Production and Fertilizer Use* 16: 1-11
- Córdova V, Sánchez M, Estrella N. 2001. Factores que afectan la producción de cacao (*Theobroma cacao L.*) en el ejido Francisco I. Madero del Plan Chontalpa, Tabasco, México. *Universidad y Ciencia*, 17(34): 93-100.
- Durán F. 2013. *Cultivo y explotación del Cacao*. Colombia: Grupo Latino, p. 424.

- Estrada W, Romero X, Moreno J. 2011. Guía Técnica para el Cultivo del Cacao Manejado con Técnicas Agroecológicas. El Salvador: CONFRAS.
- Félix J, Sañudo R, Rojo G, Martínez R, Olalde V. 2008. Importancia de los Abonos Orgánicos. *Ra Ximhai*: 4(1):57-67.
- FHIA. 2004. Cultivo de cacao bajo sombra de maderables y frutales. Cortés, Honduras: FHIA.
- Gosling P, Hodge A, Goolass G, Bending G. 2006. Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Organic Farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 113(1-4):17-35.
- Guerra B. 2007. Micorriza Arbuscular. Recurso Microbiológico en la Agricultura Sostenible. *Tecnología en Marcha* 21(1):191-201.
- Hopkins R, Andersen M, Van Lidth de Jeude M. 2003. Agricultura Orgánica. Una Herramienta para el Desarrollo Rural Sostenible y la Reducción de la Pobreza. Turrialba: Multiprint.
- [ICCO] International Cocoa Organization. Quarterly Bulletin of Cocoa Statistics- November 2015: Latest news. ICCO; [consultada 2015 Diciembre 6] <http://www.icco.org/home/latest-news.html>
- Jaimes Y, Aranzazu F. 2010. Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao L.*) en Colombia con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). Colombia: CORPOICA, p. 90.
- López J, Díaz A, Martínez E, Valdez R. 2001. Abonos Orgánicos y su Efectos en Propiedades Físicas y Químicas del Suelo y Rendimiento del Maíz. *Terra Latinoamericana* 19(4):293-299.
- Magaña J, Flores J. 1998. Efecto de la Fertilización Química Sobre el Desarrollo de *Cornus disciflora D. C.* en Vivero. *Revista Mexicana de Ciencias Forestales*, 23(83): p. 41-52.
- Martínez A, Enríquez G. 1981. La sombra para el cacao. Turrialba, Costa Rica: CATIE p. 93.
- Mejía L, Palencia G. 2002. Abono orgánico. Manejo y uso en el cultivo del cacao. Bucaramanga: CORPOICA, p. 25.

- Nan M, Kazuhira Y, Takuya M. 2007 Effect of peat on mycorrhizal colonization and effectiveness of the arbuscular mycorrhizal fungus *Gigaspora margarita*. Soil Science and Plant Nutrition 53(6): 744-752.
- Ngosong C, Jarosch M, Raupp J, Neumann E, Ruess L. 2010. The Impact of Farming Practice on Soil Microorganisms and Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Crop Type Versus Long-term Mineral and Organic Fertilization. Applied Soil Ecology, 46:132-142.
- NMX-FF-109-SCFI-2008, 2008. Humus de lombriz (lombricomposta) especificaciones y métodos de prueba.
- Palencia G, Gómez R, Guiza O. 2009. Nuevas Tecnologías para Instalar Viveros y Producir Clones de Cacao. Bogotá: Produmedios, p.31.
- Patrón J. 2014 Sustratos orgánicos alternativos para la producción de tubérculo semilla de papa en invernadero. [Tesis de Doctorado] Colegio de Postgraduados, 196 p.
- Paredes N. 2009. Manual de Cultivo del Cacao para la Amazonia Ecuatoriana. Quito: INIAP, p. 24.
- Pérez Y. 2012. Impacto de la biofertilización y aplicación de abonos orgánicos en la productividad de maíz (*Zea mays L.*) en Chiapas. [Tesis de Doctorado] El Colegio de la Frontera Sur, 125 p.
- Pineda A. 2013. Nestlé Inyecta Vida al Cacao. El Economista. [Consultada 2014 Abril 11] <http://eleconomista.com.mx/industrias/2013/10/29/nestle-inyecta-vida-cacao-mexicano>.
- Purseglove J. 1968. Tropical Crops. Londres, Inglaterra: Longmans Green, p. 381.
- Quevedo A. 1993. Influencia del humus de lombricultura en el crecimiento inicial de cedro colorado en plantación a campo abierto y comportamiento al ataque de *Hypshiphylla sp.* Folia Amazónica, 5(1-2):49-57.
- Saldaña M. 2014. Estatus Socioeconómico, Tecnológico y Uso de Abonos Orgánicos en la producción Sustentable de *Alpinia purpurata* en Tabasco, México. [Tesis de Doctorado] El Colegio de la Frontera Sur, 121 p.
- Shiva V, Pande P, Singh J. 2004. Principles of Organic Farming. Renewing the Earth's Harvest. New Delhi: Navdanya.

- [SIAP] Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. 2014. Cierre de la producción agrícola por cultivo. [Consultada 2015 Diciembre 6] <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>
- Sieverding E. 1990. Ecology of VAM Fungi in Tropical Agrosystems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 29(1-4):369–390.
- St. John T. 2000. *The Instant Expert Guide to Mycorrhiza. The Connection for Functional Ecosystems.* [Consultado 2014 Abril 15]. <<http://green-diamond-biological.com/wp-content/uploads/2012/03/Mycorrhiza-Primer.pdf>>
- Zulueta R, Alejandro M, Escalona M, Trejo D, Lara L. 2000. Respuesta de Dos Especies Forestales a la Inoculación Micorrízica. En: Alarcón A, Ferrera R. eds., *Ecología, Fisiología y Biotecnología de la Micorriza Arbuscular.* México: Mundi-Prensa, p. 184-193.