

SUSTRATOS INOCULADOS CON MICROORGANISMOS PARA EL DESARROLLO DE PLANTAS DE CACAO (*Theobroma cacao* L.) EN ETAPA DE VIVERO

Sandra L. Cortés-Patiño¹, Nelcy P. Vesga-Ayala¹, Alina K. Sigarroa-Rieche²,
Laura Moreno-Rozo³ y Diana Cárdenas-Caro³

RESUMEN

La renovación de plantaciones del cultivo de cacao debe hacerse con material vegetal que asegure la supervivencia en el trasplante a campo, por lo cual, es indispensable la producción de plantas en vivero utilizando sustratos que les proporcionen condiciones apropiadas de crecimiento. Por lo anterior, se determinó el efecto de la inoculación microbiana en sustratos utilizados para la producción de plantas de cacao en etapa de vivero para lo cual se utilizaron semillas del clon IMC 67. Se evaluaron los siguientes tratamientos: (T1) testigo absoluto, 1:1 suelo:arena; (T2) bioabono, 2:1:1 suelo:bioabono:arena; (T3) Inoculante comercial mixto, 2:1:1 suelo:lombricompuesto:arena; (T4) rizobacterias cacao, 2:1:1 suelo:lombricompuesto:arena y (T5) testigo químico, 2:1:1 suelo:lombricompuesto:arena + fertilización química. Cada uno de estos cinco tratamientos fue sembrado en 60 bolsas (repeticiones) bajo un diseño experimental completamente al azar. Se determinó la altura de la planta, número de hojas, diámetro del tallo, longitud radical y peso seco foliar y radical, así como las poblaciones de bacterias en agar SRS. El análisis de varianza registró diferencias significativas ($P \leq 0,05$) en las plantas de los tratamientos T3 y T4, con respecto a los testigos absoluto y químico en la mayoría de las variables, por lo cual se recomienda la inoculación de estos microorganismos para mejorar el desarrollo vegetal de las plantas de cacao en etapa de vivero y por tanto, su supervivencia en el trasplante a campo. La inoculación microbiana en los sustratos también promovió el incremento de las poblaciones de rizobacterias.

Palabras clave: Hongos micorrízicos, lombricompuesto, microorganismos promotores de crecimiento, rizobacterias, viveros

ABSTRACT

Substrates inoculated with microorganisms for cocoa plants development (*Theobroma cacao* L.) during nursery stage
Renewal of cocoa crops must be done with strong seedlings to guarantee field transplant survival, which is highly associated with root development in the first months of plant growth. We aimed to evaluate the effect of substrates inoculated with microorganisms in the production of cocoa plants during nursery stage. Seeds of clon IMC-67 were planted in bags. A completely randomized design was used, consisting in five treatments with sixty replicates each, one bag per plot. Treatments were: (T1) absolute control, 1:1 sand:soil; (T2) bioabono, 2:1:1 soil:bioabono:sand; (T3) Commercial mixed inoculant, 2:1:1 soil:vermicompost:sand; (T4) Cocoa rhizobacteria, 2:1:1 soil:vermicompost:sand; and (T5) chemical control, 2:1:1 soil:vermicompost:sand + chemical fertilization. Plant height, root length, number of leaves, stem diameter, shoot and root fresh and dry weight, as well as the microbial populations in SRS agar were measured. The analysis showed significant differences ($P \leq 0.05$) between treatments inoculated with microorganisms (T3 and T4) and those that were not inoculated (T1 and T5) in most of the variables. Therefore, the inoculation of these microorganisms is recommended to improve cocoa plant development in nursery stage, and in turn, ensuring the survival after field transplant. Substrate inoculation also promoted the increase of rhizobacteria populations.

Additional key words: Growth promoting microorganisms, mycorrhizal fungi, plant nurseries, rhizobacteria, vermicompost

INTRODUCCIÓN

El cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en

Colombia, es de gran relevancia económica, social y ambiental, constituyéndose en una especie primordial del sistema agroforestal campesino de

Recibido: Marzo 28, 2015

Aceptado: Septiembre 27, 2015

¹ Semillero de Investigación Biotecnológica para la Agricultura y la Alimentación, SIBAA. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia

² Dpto. Ciencias del Medio Ambiente, Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia

³ Dpto. Biología. Universidad Francisco de Paula Santander. Cúcuta, Colombia
e-mail: diana.cardenascaro@hotmail.com

muchas regiones (Jaimes y Aranzazu, 2010), caracterizado por una economía de subsistencia, mano de obra familiar y bajos niveles de tecnología (Ramírez et al., 2014). Esto hace que el cultivo de cacao en el país, presente niveles de baja productividad con una producción de 450 kg de cacao seco por hectárea al año. Como causas de esta baja productividad se destacan, además de la nutrición mineral (Puentes et al., 2014), la falta de mejoramiento genético, la presencia creciente de enfermedades, falta de capital humano que permita una mayor transferencia de tecnología, el reducido número de árboles por hectárea y la edad avanzada del cultivo (Superintendencia de Industria y Comercio, 2012). Para la renovación se requiere de la siembra de nuevas plantaciones de cacao con plantas producidas en viveros certificados que aseguren material vegetal en buen estado fisiológico para que sobrevivan el trasplante definitivo a campo sin afectar su establecimiento y óptimo desarrollo. Por lo anterior, la disponibilidad de sustratos con buenos niveles de fertilidad es básica, pues induce un rápido y sólido desarrollo de portainjertos y clones (Palencia et al., 2009). Esto puede favorecerse por el uso de microorganismos como mejoradores de los sustratos utilizados en condiciones de vivero, lo cuales son reconocidos por su gran efecto como promotores del desarrollo radical en las plántulas de cacao y por su contribución al incremento y capacidad de absorción de nutrientes (Martínez et al., 2011; Tchameni et al., 2011) y por consiguiente, se pueden obtener plantas adecuadas para su establecimiento definitivo en campo o para procesos de injertación (Cuadros et al., 2011). Por lo anterior, este trabajo tuvo como objetivo evaluar el efecto de sustratos inoculados con hongos y bacterias promotoras del crecimiento vegetal en presencia de lombricompost (humus de lombriz) sobre el desarrollo de plantas de cacao en etapa de vivero y en la población microbiana rizosférica con el fin de formular un sustrato que permita la producción de plantas bien desarrolladas para el trasplante definitivo a campo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron semillas provenientes del clon IMC 67 reportado por Palencia et al. (2009) por sus características de comportamiento en las

diferentes zonas agroecológicas, por la buena adaptación en suelos que presentan pH bajos y porque al usarse como portainjerto aporta vigor vegetativo a la copa de los árboles. Las semillas utilizadas fueron suministradas por el vivero Parcela La Granja de San Vicente de Chucurí (Santander). Las semillas se lavaron con abundante agua y posteriormente se impregnaron de aserrín y se frotaron para retirar el mucílago. Luego se extendieron y se dejaron almacenadas bajo sombra por tres días para que lograran germinar y dieran la guía de siembra que da como resultado un desarrollo uniforme (Palencia et al., 2009). Se seleccionaron 300 semillas pregerminadas que se desinfectaron por inmersión en alcohol al 70 % por 1 min y con hipoclorito de sodio al 2 % por 2 min. Se realizaron tres enjuagues sucesivos con agua destilada para eliminar el exceso de hipoclorito de sodio y se sembraron en las bolsas con el respectivo sustrato, preparado como se describe más adelante.

El experimento se realizó en el municipio de San Cayetano (Norte de Santander), en el vivero La Ceiba. Se utilizó un diseño experimental completamente al azar, con 5 tratamientos y 60 repeticiones cada uno. Las plantas fueron colocadas muy cerca unas de las otras con el fin de simular la forma como son almacenadas en los viveros, lo cual podría influir en el crecimiento de cada planta. El suelo utilizado presentó textura arenosa (2 % arcilla y 10 % limo); 1,02 % materia orgánica; 4 mg·kg⁻¹ P; 30 mg·kg⁻¹ K; 806 mg·kg⁻¹ Ca; 37 mg·kg⁻¹ Mg; 0,07 dS·m⁻¹ CE y pH 6,45. Se prepararon los sustratos para los siguientes tratamientos: (T1) testigo absoluto, 1:1 suelo y arena sin materia orgánica, ni microorganismos benéficos, ni fertilización química; (T2) bioabono: 2:1:1 suelo: bioabono (lombricompost + *Trichoderma* sp.+ HFMA asociados al cultivo de cacao) y arena; el criterio para su formulación fue el de obtener una concentración de 200 esporas de HFMA y 10⁶ conidias de *Trichoderma* por planta; (T3) inoculante comercial mixto, 2:1:1 suelo, lombricompost y arena + inoculación con 20 mL de un inoculante comercial mixto (5g·L⁻¹) (*Trichoderma* sp., *Candida utilis* y *Pseudomonas putida*), siguiendo la recomendación del fabricante; (T4) rizobacterias de cacao, 2:1:1 suelo, lombricompost y arena + Inoculación con 20 mL de inoculante de rizobacterias asociadas al cultivo de cacao con una concentración celular de

$1 \cdot 10^8$ UFC·mL⁻¹ (10 mL de *Bacillus* sp. RzC044 + 10 mL de *Bacillus* sp. RzC026), la cual se realizó teniendo en cuenta un volumen igual al del inoculante comercial; y (T5) testigo químico, 2:1:1 suelo, lombricompuesto y arena, más fertilizante químico (5 g·L⁻¹ de úrea en aplicación foliar en plántulas de 45 días), el cual representa un sustrato recomendado por Palencia et al. (2009).

Se prepararon 3 kg de sustrato para cada bolsa. El suelo y la arena se pesaron de acuerdo a las cantidades que requería el tratamiento T1 (1:1) se mezclaron y luego este sustrato se desinfectó mediante vaporización, y se llenaron las bolsas. Luego se pesó el suelo y la arena (2:1) para los demás tratamientos (T2, T3, T4, T5) se mezclaron y luego este sustrato se desinfectó mediante vaporización. Se adicionó el lombricompuesto para completar el sustrato a utilizar y se llenaron las bolsas de estos tratamientos

Quince días después de la siembra se inocularon los tratamientos correspondientes a T2, T3 y T4. Se realizó de acuerdo a las características de cada microorganismo a utilizar. (T2) bioabono: se preparó una mezcla de suelo micorrizado (2 % del sustrato bioabono para obtener una concentración de 200 esporas de HFMA por planta) y 10^6 conidias de *Trichoderma* sp. por gramo de bioabono (10 mg·kg⁻¹ del sustrato bioabono). Esta mezcla de microorganismos se adicionó cuidadosamente en cada bolsa alrededor de la plántula de cacao para no afectar sus raíces. (T3) inoculante comercial mixto: los gránulos dispersables del producto comercial se prepararon siguiendo las especificaciones del fabricante, en una dosis de 5 g·L⁻¹ de agua destilada estéril. Se adicionaron 20 mL del inoculante con ayuda de una probeta estéril alrededor de la base del tallo de la planta. (T4) rizobacterias: se utilizaron cepas aisladas del cultivo de cacao y conservadas en solución salina (0,85 % NaCl) en el banco de cepas del Laboratorio de Biología Aplicada de la Universidad Francisco de Paula Santander. Estas cepas corresponden a *Bacillus* sp. RzCO44 y *Bacillus* sp. RzCO26. Su activación se realizó en agar nutritivo y se incubó a 35 °C por 24-48 h hasta obtener su crecimiento. A partir de estos cultivos se prepararon los inoculantes líquidos en caldo DYGS (g·L⁻¹ de caldo): glucosa 2, peptona 1,5, extracto de levadura 2, KH₂PO₄ 0,5,

MgSO₄·7H₂O 0,5, ácido glutámico 1,5, pH 6,8. Se ajustó a una densidad óptica de 0,5 leída en espectrofotómetro Nova 60 a 600 nm. Se adicionaron 20 mL del inoculante (10 mL de RzC044 + 10 mL de RzC026) con ayuda de una probeta estéril alrededor de la base del tallo de la planta. (T1) testigo absoluto y (T5) testigo químico: no se inocularon con microorganismos y en su reemplazo se adicionaron 20 mL de agua destilada estéril.

La duración de la etapa de vivero comprendió el tiempo desde que germinaron las semillas hasta el momento en que el tallo de las plantas presentó un diámetro de aproximadamente 6,5 mm. Durante este tiempo se realizaron las labores de riego y los cuidados propios del cultivo, incluyendo la fertilización según el tratamiento, y el control de algunos organismos plaga.

Transcurridos tres meses se tomaron cinco plantas por cada tratamiento y se les midió el diámetro del tallo, altura de la planta, longitud de la raíz principal con cinta métrica, número de hojas, peso seco radical y foliar.

Las plantas seleccionadas se llevaron al laboratorio de Investigaciones en Biología Aplicada de la Universidad Francisco de Paula Santander en donde se realizó el recuento en placa de la población de bacterias en agar SRS (Sundara y Sinha, 1963) Los datos obtenidos se transformaron según Log₁₀ para realizar el análisis estadístico. Así mismo, se evaluó el porcentaje de raíces colonizadas por los HFMA y el número de esporas de estos hongos en 50 g de suelo rizosférico, según la metodología de extracción de esporas propuesta por Serralde y Ramírez (2004) con algunas modificaciones en el proceso de recuperación de las esporas. Los datos obtenidos en el porcentaje de colonización se transformaron según el arcosen \sqrt{x} y la población de esporas, se transformó a Log₍₁₀₎ para realizar el análisis estadístico.

Una vez se comprobaron los supuestos en los residuales del modelo, normalidad, homogeneidad de varianzas y aleatoriedad, se realizó el análisis de varianza y pruebas de comparación de medias por la prueba de Tukey. Se utilizó el programa estadístico IBM SPSS Statistics 19.

RESULTADOS

Efecto del sustrato sobre variables de crecimiento vegetativo. Con relación a la parte

aérea de la planta se encontraron efectos significativos ($P \leq 0,05$) en todas las variables evaluadas (Cuadro 1). Los tratamientos con inoculante comercial mixto (T3) y rizobacterias de cacao (T4) superaron a los testigos químico y absoluto en la variable altura de planta, mientras que en el diámetro del tallo y peso seco foliar todos los tratamientos superaron al testigo absoluto. Con relación al número de hojas este último fue superado por T3, T4 y T5. Se destaca que en todas las variables los tratamientos T3 y T4 compartieron los mayores valores, mientras que el testigo absoluto presentó siempre el menor valor. Asimismo, el bioabono (T2) produjo siempre un efecto similar al del testigo químico.

No se detectó efecto de los tratamientos sobre el desarrollo radical ($P > 0,05$), aunque se observó una tendencia del testigo químico (T5) a presentar los menores valores en el peso y longitud de las raíces. El peso seco radical fue muy similar en los 5 tratamientos en un rango entre 0,92-1,26 g por planta. La variable longitud radical presentó valores que oscilaron entre 31,5 y 39,8 cm en los tratamientos inoculados y las plantas de los tratamientos testigo absoluto y testigo químico registraron 29,04 y 25,90 cm, respectivamente.

Microbianas rizosféricas. Se registró un efecto benéfico sobre la población microbiana rizosférica y fue significativo ($P \leq 0,05$) en los sustratos tratados con la inoculación de microorganismos y tratamiento testigo químico, con respecto al sustrato testigo absoluto, como se observa en el Cuadro 2. El testigo químico presentó similitudes con los tratamientos inoculados, excepto en el porcentaje de colonización de raíces por HFMA. El testigo absoluto registró los menores valores en la población microbiana rizosférica con respecto a todos los tratamientos excepto en la variable porcentaje de colonización de raíces. El tratamiento T3 (inoculante comercial mixto) presentó los mayores valores en las poblaciones bacterianas cuantificadas en agar SRS y en la población de esporas de HFMA. El T4 (rizobacterias cacao) registró valores superiores en el porcentaje de colonización de raíces por HFMA. Sin embargo, tanto el T4 como el T3 presentaron resultados estadísticamente similares a los encontrados en el T2 (bioabono).

DISCUSIÓN

El efecto positivo en los tres tratamientos

inoculados con microorganismos (T2, T3 y T4), con respecto a las plantas del testigo químico y absoluto, es una clara evidencia de los diversos mecanismos benéficos de estos hongos y bacterias rizosféricas, que tienen un rol importante en el ciclaje, síntesis de compuestos promotores del crecimiento vegetal que favorecen el desarrollo radical, lo cual promueve la absorción de nutrientes por parte de la planta (Arora et al., 2013). Las plantas de los tratamientos T3 (inoculante comercial) y T4 (rizobacterias del género *Bacillus*) presentaron un mayor desarrollo en cuanto a la altura, número de hojas y diámetro del tallo, las cuales son características que se tienen en cuenta en la selección de plantas de cacao que servirán de patrón para ser injertadas. Aunque el desarrollo radical no se vio influenciado significativamente por efecto de la inoculación microbiana, la longitud radical presentó una tendencia a incrementarse en los tratamientos T2 y T4.

Efecto del sustrato sobre poblaciones. Similares resultados han sido reportados por rizobacterias del género *Bacillus* inoculadas en plantas de tomate en condiciones de invernadero (Hernández et al., 2010), tomate y pimentón (Luna et al., 2013), en las cuales se ha registrado un aumento de la longitud de la planta, la raíz y la biomasa foliar y radical con respecto a las no inoculadas. Así mismo, los microorganismos presentes en el inoculante comercial T4 (*Pseudomonas putida*, *Trichoderma* sp. y *Candida utilis*), son ampliamente reconocidos por sus actividades biofertilizantes y de biocontrol con lo cual pueden mejorar el desarrollo y la salud de las plantas (Infante et al., 2009; Cubillos et al., 2009; Cano, 2011). Los resultados obtenidos coinciden con las respuestas registradas sobre el crecimiento de *Medicago sativa* L. var. Valenciana co-inoculadas con un consorcio de rizobacterias y hongos de micorriza arbuscular (Chamizo et al., 2009); *Cistus albidus* L. co-inoculadas *Azospirillum brasilense* y *Pantoea dispersa* (Schoebitz et al., 2014) que pueden atribuirse a diversas interacciones microbianas simbióticas en la rizósfera.

Estos consorcios inoculados en los T3 y T4 resultaron más eficientes en la promoción del crecimiento de las plantas de cacao con respecto a las HFMA y *Trichoderma* sp. co-inoculadas en el tratamiento T2, similar a lo reportado por Martínez et al. (2011) en plantas de

melón inoculadas con HFMA y *Trichoderma harzianum* y en plantas de cacao inoculadas con

HFMA y *Trichoderma asperellum* (Tchameni et al., 2011).

Cuadro 1. Efecto de diferentes tipos de sustrato sobre variables de crecimiento vegetativo en plantas de cacao en etapa de vivero

Tratamiento	Sustrato	Altura de planta (cm)	Número de hojas	Diámetro del tallo (cm)	Peso seco foliar (g)	Peso seco radical (g)	Longitud radical (cm)
T1	Testigo absoluto	24,02 b	10,40 c	5,06 b	2,10 b	1,22 a	29,04 a
T2	Bioabono	29,30 ab	12,80 bc	6,38 a	4,25 a	1,22 a	34,60 a
T3	Inoculante comercial mixto	35,50 a	16,40 ab	7,00 a	4,61 a	1,26 a	31,50 a
T4	Rizobacterias de cacao	34,70 a	17,40 a	7,10 a	4,12 a	1,25 a	39,80 a
T5	Testigo químico	26,90 b	15,40 ab	6,24 a	4,18 a	0,92 a	25,90 a

Medias con igual letra en cada columna no presentan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

Cuadro 2. Efecto de diferentes tipos de sustrato sobre la población microbiana en la rizósfera de plantas de cacao en etapa de vivero

Sustrato	Agar SRS UFC·g ⁻¹	Colonización de raíces (%)	Número de esporas por 50 g de sustrato
Testigo absoluto	4,67 c	39,4 a	146 c
Bioabono	5,93 a	44 a	255 b
Inoculante comercial mixto	5,76 a	20,4 ab	379 a
Rizobacterias cacao	5,72 ab	54,16 a	360 ab
Testigo químico	5,32 b	6,4 b	334 ab

Medias seguidas por la misma letra en cada columna no representan diferencias significativas según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$)

En contraste a la co-inoculación microbiana, el tratamiento con los valores más bajos en las diferentes variables evaluadas fue el testigo absoluto (T1) en el cual el sustrato sólo contenía suelo y arena. Esto permite resaltar la importancia de la adición de materia orgánica como acondicionador de las características del suelo y fuente de nutrientes para las plantas, así como sustrato activador de los microorganismos habitantes del suelo (Félix et al., 2010; Gracia et al., 2011). Por esta razón, el tratamiento químico (T5), registró mayores valores en las variables de desarrollo foliar con respecto al testigo absoluto, lo que sugiere que el lombricompostó mostró un efecto benéfico si se compara con la ausencia de este sustrato orgánico en el testigo absoluto (T1), aunque no conlleve la inoculación de microorganismos exógenos.

Algunos estudios han sido reportados con efectos benéficos en las variables altura de la planta, número de hojas, peso seco foliar y en el peso fresco radical en plantas de cacao en etapa de vivero inoculados con *Azospirillum brasilense* y

Glomus intraradices, con respecto a las plantas no inoculadas (Aguirre et al., 2007). Por su parte, Cuadros et al. (2011), a los 110 días encontraron valores significativos en la longitud de la raíz (38-60 cm), en la altura de la planta (30-35 cm) y en el número de hojas (11-15 hojas) cuando inocularon semillas de cacao con un consorcio de esporas de HFMA. Esto demuestra el efecto benéfico de la actividad microbiana sobre el crecimiento de las plantas de cacao en etapa de vivero, con lo cual se recomienda su uso como una estrategia para mejorar el crecimiento vegetal y aumentar la supervivencia en el trasplante definitivo a campo. Con relación al efecto del sustrato sobre poblaciones microbianas rizosféricas, los resultados sugieren que la inoculación de microorganismos tuvo un efecto promotor de la actividad rizosférica en la población de bacterias y HFMA, lo cual podría estar asociado a la materia orgánica incorporada (lombricompostó) que provee un ambiente apropiado para estimular esta población microbiana, teniendo en cuenta que en el testigo absoluto donde no se adicionó

lombricompuesto, la población bacteriana en agar SRS, presentó los valores inferiores y fue diferente significativamente de los demás tratamientos.

La población de HFMA en la rizósfera de las plantas presentó un comportamiento que pudo estar influenciado por esporas presentes en el suelo utilizado en la preparación del sustrato, puesto que se registraron esporas de HFMA y colonización de raíces en todos los tratamientos evaluados (Cuadro 2). Aunque se realizó la desinfección del suelo, es probable que las esporas de estos hongos hayan permanecido viables.

Pese a este comportamiento, los resultados de porcentajes de colonización de raíces variaron con respecto al número de esporas de HFMA registradas. El tratamiento T4 inoculado con rizobacterias de cacao presentó el mayor porcentaje de colonización de raíces y de esporas de HFMA, lo que sugiere que estas rizobacterias estimularon la esporulación y los procesos de colonización por parte de los HFMA (Sarabia et al., 2010).

Entre los tres tratamientos inoculados con microorganismos, el menor porcentaje de colonización se observó en el T3 (Inoculante comercial mixto), que contiene *Trichoderma* sp., *Pseudomonas putida* y *Candida utilis*, los cuales son microorganismos con alto potencial antagonista. Esto sugiere que pudo haber un efecto inhibitorio de la interacción raíz-HFMA por parte de los microorganismos inoculados. Estos resultados coinciden con lo reportado por Sosa et al. (2006), quienes encontraron la disminución de la colonización radical de HFMA en presencia del hongo *Trichoderma harzianum*, debido a que este microorganismo puede producir sustancias solubles en el medio y compuestos volátiles que afectan las esporas de los hongos micorrízicos y la fase presimbótica del HFMA, periodo comprendido entre la germinación de las esporas y la colonización de la raíz.

En el tratamiento inoculado con bioabono (T2), no se observó una diferencia significativa en los recuentos de esporas encontrados en los demás tratamientos y el porcentaje de colonización de raíces por los HFMA fue similar a todos los tratamientos, excepto al T5 (testigo químico). Con respecto a esto, existen resultados contrastantes ya que las respuestas a la co-

inoculación de diferentes cepas de HFMA y diferentes especies de *Trichoderma* varían mucho, observándose un efecto estimulador de la colonización (Martínez et al., 2011), un efecto neutral y también un efecto negativo (Sosa et al., 2006), concluyendo que los resultados varían de acuerdo a las cepas de los microorganismos utilizados, la especie vegetal inoculada y las condiciones ambientales, incluyendo las características del suelo (Cano, 2011).

En el tratamiento 1 (testigo absoluto) se evidenció un alto porcentaje de colonización de la raíz, pero éste no representó un mejor desempeño en las variables de crecimiento vegetal. Esto se puede asociar a que en este tratamiento no se aplicó lombricompuesto en el sustrato, ni fertilización química por lo tanto, no hubo una fuente nutricional para el óptimo desarrollo de las plantas. El porcentaje de colonización presente en este tratamiento, pudo deberse al bajo fósforo disponible ($4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$), según el reporte de análisis fisicoquímico del suelo, puesto que la actividad micorrízica es favorecida por la baja disponibilidad de este nutriente (López et al., 2007; Cuadros et al., 2011).

El testigo químico presentó el porcentaje más bajo de colonización de raíces por parte de los HFMA, lo cual podría atribuirse a que la fertilización química foliar, pudo reducir la interacción de las raíces de las plantas con los hongos formadores de micorrizas arbusculares provenientes del suelo utilizado (Cano, 2011), debido a que se suple directamente el requerimiento del nutriente y no se estimula la actividad micorrízica (Martínez et al., 2011).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Los tratamientos de inoculante comercial mixto y de rizobacterias (T3 y T4), los cuales contenían consorcios microbianos inoculados con microorganismos, mostraron un comportamiento superior a los testigos absoluto y químico en la altura de la planta. En las variables número de hojas, diámetro del tallo y peso seco foliar fueron superiores al testigo absoluto, lo cual permite recomendar la inoculación de estos microorganismos para mejorar el desarrollo vegetal de las plantas de cacao en etapa de vivero y por tanto, su supervivencia en el trasplante a campo.

La inoculación microbiana en los sustratos T2,

T3 y T4 aumentó las poblaciones de rizobacterias según el recuento en agar SRS con relación al testigo absoluto, lo cual se vio favorecido por la incorporación de materia orgánica (lombri-compuesto).

Se registró un efecto positivo en la colonización de raíces debido a los HFMA no inoculados, sino provenientes del suelo utilizado en el sustrato. Así mismo, se observó una influencia negativa en el porcentaje de colonización micorrízica en las plantas que recibieron fertilizante químico (T5).

AGRADECIMIENTO

Al Fondo de Investigaciones de la Universidad Francisco de Paula Santander, FINU, por el financiamiento del proyecto según contrato 002-2011, y a FEDECACAO (Norte de Santander) por sus asesorías técnicas y al propietario del vivero La Ceiba por permitir el desarrollo del proyecto en este predio.

LITERATURA CITADA

1. Aguirre-Medina, J.F., A. Méndez-López, J. Cadena-Iñiguez y C.H. Avendaño-Arrazate. 2007. Efecto de la biofertilización en vivero del cacao (*Theobroma cacao* L.) con *Azospirillum brasilense* Tarrand, Krieg et Döbereiner y *Glomus intraradices* Schenk et Smith. *Interciencia* 32(8): 541-546.
2. Arora, N.K., S. Tewari y R. Singh. 2013. Multifaceted plant-associated microbes and their mechanisms diminish the concept of direct and indirect PGPRs. *In*: N.K. Arora (ed.). *Plant Microbe Symbiosis: Fundamentals and Advances*. Springer India. New Delhi. pp. 411-449.
3. Cano, M.A. 2011. Interacción de microorganismos benéficos en plantas: Micorrizas, *Trichoderma* spp. y *Pseudomonas* spp. Una revisión. *Rev. U.D.C.A. Act & Div. Cient.* 14(2): 15-31.
4. Chamizo, A., R. Ferrera-Cerrato, M.C. González-Chávez, C.A. Ortiz-Solorio, J.A. Santizo-Rincón, L. Varela y A. Alarcón. 2009. Inoculación de alfalfa con hongos micorrízicos arbusculares y rizobacterias en dos tipos de suelo. *Terra Latinoamericana* 27(3): 197-205.
5. Cuadros, G.A., R. Gómez y N.F. Rodríguez. 2011. Asociación simbiótica entre hongos micorrízicos arbusculares y el sistema radicular de plántulas de cacao (*Theobroma cacao* L.): efecto de la formononetina y la disponibilidad de fósforo en el suelo. *Corpoica, Cienc.Tecnol. Agropecu.* 12(1): 77-85.
6. Cubillos-Hinojosa, J., N. Valero y L. Mejía. 2009. *Trichoderma harzianum* como promotor del crecimiento vegetal del maracuyá (*Passiflora edulis* var. *Flavicarpa* Degener). *Agron. Colomb.* 27(1): 81-86.
7. Félix-Herrán, J.A., R. Serrato-Flores, A.D. Armenta-Bojórquez, G. Rodríguez-Quiroz, R. Martínez-Ruiz, H.S. Azpiroz-Rivero y V. Olal de Portugal. 2010. Propiedades microbiológicas de compostas maduras producidas a partir de diferente materia orgánica. *Ra Ximhai* 6(1): 105-113.
8. Gracia, F., S. Jaramillo y A. Carrillo. 2011. Efectos del abono orgánico mineral sobre la población microbiana de un haplustalf vértico. *Cultura Científica* 9: 81-89.
9. Hernández-Suárez, M., F.D. Hernández-Castillo, R-H. Lira-Saldivar y G. Gallegos-Morales. 2010. Biocontrol de *Rhizoctonia solani* y *Fusarium* sp. con microencapsulados de *Bacillus subtilis* y su efecto en crecimiento y rendimiento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Agraria-Nueva Época* 7(1, 2, 3): 17-25.
10. Infante, D., B. Martínez y N. González. 2009. Mecanismos de acción de *Trichoderma* frente a hongos fitopatógenos. *Rev. Protección Veg.* 24(1): 14-21.
11. Jaimes, Y. y F. Aranzazu. 2010. Manejo de las enfermedades del cacao (*Theobroma cacao* L.) en Colombia, con énfasis en monilia (*Moniliophthora roreri*). *Corpoica- Produmedios*. Bogotá. pp. 7-12.
12. López, M., I.M. López, M. España, A. Izquierdo y L. Herrera. 2007. Efecto de la fertilización inorgánica sobre la disponibilidad de nutrientes en el suelo, nivel nutricional de la planta y hongos micorrízicos arbusculares en plantaciones de *Theobroma cacao*. *Agronomía Trop.* 57(1): 31-43.
13. Luna, L., R.A. Martínez, M. Hernández, S.M.

- Arvizu y J.R. Pacheco. 2013. Caracterización de rizobacterias aisladas de tomate y su efecto en el crecimiento de tomate y pimiento. *Rev. Fitotec. Mex.* 36(1): 63-69.
14. Martínez-Medina, A., A. Roldán y J.A. Pascual. 2011. Interaction between mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* under conventional and low input fertilization field condition in melon crops: Growth response and *Fusarium* wilt biocontrol. *Applied Soil Ecology.* 47: 98-105.
15. Palencia, G.E., R. Gómez y O. Güiza. 2009. Nuevas tecnologías para instalar viveros y producir clones de cacao (*Theobroma cacao* L.). Corpoica-Produmedios. Bogotá. 32 p.
16. Puentes-Páramo, Y., J. Menjivar-Flores y F. Aranzazu-Hernández. 2014. Eficiencias en el uso de nitrógeno, fósforo y potasio en clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) *Bioagro* 26(2): 99-106.
17. Ramírez, J.A., A.K., Sigarroa y R.A. Del Valle. 2014. Characterization of cocoa (*Theobroma cacao* L.) farming systems in the Norte de Santander department and assessment of their sustainability. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 67(1): 7177-7187.
18. Sarabia, M., R. Madrigal, M. Martínez y Y. Carreón. 2010. Plantas, hongos micorrízicos y bacterias: su compleja red de interacciones. *Biológica* 12(1): 65-71.
19. Schoebitz, M., C. Mengual y A. Roldán. 2014. Combined effects of clay immobilized *Azospirillum brasilense* and *Pantoea dispersa* and organic olive residue on plant performance and soil properties in the revegetation of a semiarid area. *Science of the Total Environment* 466-467: 67-73.
20. Serralde, A.M. y M.M. Ramírez. 2004. Análisis de poblaciones de micorrizas en maíz (*Zea mays*) cultivado en suelos ácidos bajo diferentes tratamientos agronómicos. *Revista Corpoica* 5(1): 31-40.
21. Sosa, T., J. Sánchez, E. Morales y C. Cruz. 2006. Interacción micorrizas arbusculares-*Trichoderma harzianum* (Moniliaceae) y efectos sobre el crecimiento de *Brachiaria decumbens* (Poaceae). *Acta Biológica Colombiana* 11(1): 43-54.
22. Sundara, R. y M. Sinha. 1963. Phosphate dissolving microorganisms in the soil and rhizosphere. *Indian J. Agric. Sci.* 33: 272-278.
23. Superintendencia de Industria y Comercio. 2012. Cadena productiva del cacao: diagnóstico de libre competencia. Superintendencia de Industria y Comercio. Bogotá. 5 p.
24. Tchameni, S., M. Ngonkeu, B. Begoude, L. Wakam Nana, R. Fokom, A. Owona, J. Mbarga, T. Tchana, P. Tondje, F. Etoa y J. Kuaté. 2011. Effect of *Trichoderma asperellum* and arbuscular mycorrhizal fungi on cacao growth and resistance against black pod disease. *Crop Protection* 30: 1321-1327.