

EFFECTO DE LA MICORRIZACIÓN Y LA FERTILIZACIÓN EN LA ACUMULACIÓN DE BIOMASA EN PLANTAS DE BANANO (*Musa* AAA cv. Gran Enano) (Musaceae)

MICORRHIZATION AND FERTILIZATION EFFECT ON BIOMASS ACCUMULATION IN BANANA PLANTS (*Musa* AAA cv. Gran Enano) (Musaceae)

Carmen Elena Usuga Osorio¹; Darío Antonio Castañeda Sánchez²
Ana Esperanza Franco Molano³; Felipe Andrés Gómez Velásquez⁴;
y Carlos Adrián Lopera Agudelo⁵

Resumen: Bajo condiciones de invernadero (ubicado en el municipio de Bello – Antioquia (Colombia) se evaluó el efecto independiente y combinado de los factores: tipo de inóculo de Hongos Micorriza Arbuscular (HMA), fertilización y aplicación de materia orgánica sobre el porcentaje de asociación de HMA en plantas de banano (*Musa* AAA cv. Gran Enano), así como en la acumulación de materia seca foliar y radical. Dentro del factor tipo de inóculo, se evaluaron inóculos nativos, de agroecosistemas bananeros y ecosistemas naturales del Urabá (Antioquia-Colombia), uno comercial y la especie *Acaulospora morrowiae*; con respecto a la fertilización se probó la mitad, completa y dos veces la dosis de la fertilización recomendada de acuerdo al análisis de suelo y a los requerimientos de la planta, y cada uno de estos factores con y sin la aplicación de materia orgánica; como testigos se usaron, la no aplicación del respectivo factor. Se usó como material vegetal plantas de banano micropropagadas del grupo Cavendish cv. Gran Enano (AAA). El sustrato utilizado para el crecimiento de las plantas de banano se compuso de suelo y arena en relación 70/30 v/v. El suelo se obtuvo de la granja experimental de Augura, ubicado en el municipio de Carepa en la región de Urabá. Los resultados encontrados, muestran que los factores que más incidieron en la asociación así como en la acumulación de biomasa en toda la planta son la micorrización y la adición de materia orgánica. Los resultados, también muestran un comportamiento positivo respecto al uso de inóculos nativos de agroecosistemas bananeros, con bajas aplicaciones de fertilizantes.

Abstract. The effects of independent and combined factors such as inoculum type, fertilization and organic matter application on the percentage of association of 'H.M.A' in banana plants (*Musa* AAA cv. 'Gran Enano'), and on the accumulation of leaves and roots material, were evaluated under greenhouse conditions. Native samples of inoculums from banana agro- and natural ecosystems of Urabá (Antioquia-Colombia), a commercial sample and a pure inoculum of *Acaulospora morrowiae* were used. Respect to fertilization half, total and twice doses recommended for soil analyses and plants requirements; these doses were applied with and without organic matter. The no application of the factor were used as control. The results showed that factors with greater impact on the percentage of association of 'H.M.A' in banana plants (*Musa* AAA cv. 'Gran Enano'), and on the biomass accumulation were those in which mycorrhiza were used and organic matter was added. Furthermore, results showed a positive behavior regarding to the use of native samples from banana agroecosystems and low fertilization.

Key words: Greenhouse, mycorrhiza, fungi, nutrition.

Palabras claves: Invernadero, micorriza, hongos, nutrición.

¹ Investigadora. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Facultad de Ciencias Agrarias. A.A. 4932, Medellín, Colombia. <ceusugao@gmail.com>

² Profesor Ocasional. Politécnico Colombiano Jaime Isaza Cadavid. Facultad de Ciencias Agrarias. A.A. 4932, Medellín, Colombia. <dacastanedas@gmail.com>

³ Profesora Asociada Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. A.A. 1226, Medellín, Colombia. <afranco@quimbaya.udea.edu.co>

⁴ Investigador. Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Instituto de Biología. Calle 67 N° 53-108. A.A.1226, Medellín, Colombia. <fagv02@gmail.com>

⁵ Investigador. Universidad de Antioquia. Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Instituto de Biología. Calle 67 N° 53-108. A.A.1226, Medellín, Colombia. <agrocala@walla.com>

Recibido: Septiembre 13 de 2007; aceptado: Abril 8 de 2008.

Numerosos estudios han descrito que la inoculación micorrízica produce beneficios en los cultivos tales como: estimulación del enraizamiento y crecimiento de las plántulas, mejora de la supervivencia y desarrollo durante la aclimatación de plantas micropagadas, reducción de los requerimientos externos en fósforo, incremento de la resistencia de las plantas al ataque de patógenos que afectan la raíz, mejora la tolerancia por estrés abióticos, precocidad en la floración y fructificación, incremento en la producción de frutos y uniformidad en la producción (Sieverding, 1991; Sánchez, 1999; Barea y Azcón, 2001).

En plantas de banano la micorrización temprana, optimiza el enraizamiento y el desarrollo de la micoplántula (Jaizme y Azcón, 1995; Jaizme *et al.*, 2002; Rodríguez, 2003). Los datos obtenidos en algunos estudios permiten concluir la alta dependencia micorrízica de esta especie, con gran capacidad para beneficiarse de la simbiosis desde las primeras fases de desarrollo, perdurando su efecto después del trasplante a campo (Jaizme, Rodríguez y Piñero, 2004; Declerck, Planchette y Strullu, 1995).

En condiciones naturales la mayoría de plantas están micorrizadas, sin embargo, su presencia puede alterarse por la incidencia de factores antrópicos. Actividades como, fertilización excesiva principalmente con fosfatos, el uso no controlado de fungicidas y herbicidas puede hacer disminuir o hasta desaparecer el potencial micorrízico del sistema (Barea y Azcon, 2001).

En investigación realizada en agro-ecosistemas bananeros del Urabá, (Antioquia - Colombia) se tomaron lotes manejados agrónomicamente diferente, uno con productos orgánicos como materia orgánica tipo compost, aplicación de biofertilizantes y manejo de coberturas y un lote con uso excesivo de fertilizantes sintéticos y herbicidas, se comparó el porcentaje de asociación de HMA sobre las plantas de banano, y los resultados obtenidos fueron 18,6% para el lote con manejo orgánico y 0,06% para el lote con elevado uso de agroquímicos (Usuga, 2002). Lo anterior refleja como el manejo agronómico influye sobre el recurso micorrízico. Si el potencial micorrízico es tratado mediante un manejo agronómico de tipo sustentable, su asociación se mantiene y es suficiente para el desarrollo del cultivo (Barea, Azcon y Azcon-Aguilar, 1991).

La fertilización es una de las actividades más importantes en el cultivo de banano, ya que de una nutrición adecuada depende, en gran medida, que la fruta cumpla los calibres y calidades de los mercados internacionales. En la región de Urabá, el 97,87% de fincas aplican fertilizantes químicos, diversos factores como: lixiviación, escorrentía, evaporación y químicos, conducen a que parte de los fertilizantes no sean aprovechados en la nutrición del cultivo, generando pérdidas parciales de nutrientes. Se debe recurrir a alternativas o suplementos en la fertilización del cultivo que contribuyan a un manejo más sustentable, eficiente y a la supervivencia y beneficio de la microbiota del suelo.

Con la realización de esta investigación se pretendió evaluar el efecto de Hongos Micorriza Arbuscular foráneos y nativos de la región del Urabá (Antioquia-Colombia) sobre el desarrollo de plantas de banano (Musa AAA, cv. Gran Enano) y su interacción con diferentes dosis de fertilización sintética y orgánica.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. La investigación se desarrolló bajo condiciones de invernadero, ubicado en el municipio de Bello (Antioquia-Colombia) y propiedad de la Secretaria de Agricultura de Antioquia, a una altura de 1.420 metros sobre el nivel del mar.

Condiciones climáticas. Las características climáticas promedio registradas durante el desarrollo de los experimentos fueron, 24°C de temperatura, 70% de humedad relativa y 1.800 mm de precipitación.

Sustrato para el crecimiento de plantas de banano. El sustrato para el crecimiento de las plantas de banano, se compuso de suelo y arena, en relación 70:30 volumen a volumen respectivamente. El suelo se obtuvo de la granja experimental de Augura (Asociación de Bananeros de Colombia) ubicada en la zona bananera de Urabá, (Antioquia-Colombia); las características químicas del suelo fueron, pH: 5,4, materia orgánica: 2,3%, fósforo: 22 mg·kg⁻¹, azufre: 11 mg·kg⁻¹, hierro: 81 mg·kg⁻¹, manganeso: 14 mg·kg⁻¹; cobre: 4 mg·g⁻¹, zinc: 2 mg·kg⁻¹, aluminio: 0,5 cmol·kg⁻¹, calcio: 10,7 cmolc·kg⁻¹, magnesio: 2,8 cmol·kg⁻¹, potasio: 1,04 cmolc·kg⁻¹ y presentó una capacidad de intercambio catiónico de 15 cmol·kg⁻¹. El sustrato se esterilizó

tres veces durante una hora a 120°C cada 24 horas; al final del proceso se pasó a través de un tamiz USA, estandar testing sieve de 2 mm y se vertió 3 kg por bolsas de polietileno.

Tipos de inóculos

Inóculo nativo de agroecosistema bananero y ecosistema natural. Se utilizaron dos tipos de inóculos nativos de la región de Urabá (Antioquia-Colombia), uno proveniente del agroecosistema bananero y el otro de ecosistemas naturales. Las características promedio de las principales variables climáticas de la región son: 2.400 mm de precipitación, con déficit en el periodo enero – marzo; 26,6°C de temperatura y 85% de humedad relativa. Las zonas de vida predominante en esta región son el bosque húmedo tropical (bh-T), el bosque muy húmedo premontano (bmh-PM) y el bosque muy húmedo tropical (bmh-T). El inóculo del agroecosistema bananero se muestreó seleccionando aleatoriamente 20 fincas de la región. En cada una de éstas, se escogió un lote igualmente de manera aleatoria de entre el total de lotes existentes en cada finca. El muestreo fue compuesto, es decir, en cada lote se seleccionaron 16 plantas haciendo un recorrido en zig-zag, en cada una de estas y a una distancia de 30 cm del pseudotallo y de los primeros 30 cm de

profundidad, se tomó una submuestra de 1 kg de la mezcla de suelo más raíces de banano encontradas.

El inóculo del ecosistema natural se muestreó de cuatro lotes sin ningún tipo de intervención antrópica, en la zona rizosférica del componente arbóreo se tomo muestra de suelo y raíces, se mezclaron las cuatro muestras y se tomó una muestra compuesta (Tabla 1).

Como planta hospedadora se empleó *Brachiaria decumbens*. En la parte superficial, se adicionaron 200 g del inóculo (suelo más raíces). El tiempo de crecimiento fue de 16 semanas, sin fertilización, con riego manual, manteniendo el sustrato a capacidad de campo.

Inóculo comercial. El inóculo comercial se obtuvo de una empresa comercializadora. Este inóculo y los dos anteriores consistieron en una mezcla de raíces y esporas, se caracterizaron según procedencia, presencia de géneros de HMA, identificación basada en caracteres morfológicos (Morton *et al.*, 1996), y número de esporas por g de suelo, calculado por decantado, tamizado y centrifugación (Sieverding, 1983) modificado para suelo del Urabá Antioquia (Usuga, 2002) (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los tipos de inóculo evaluados para establecer el efecto de las micorrizas en el desarrollo de plantas de banano, cv. Gran Enano.

Procedencia	Especies	Esporas g ⁻¹ suelo	Código
Inóculo nativo del agroecosistema bananero	<i>Glomus</i> (<i>G. aggregatum</i> , <i>G. geosporum</i> , <i>G. clarum</i>), <i>Acaulospora</i> (<i>a. morrowiae</i> , <i>A. mellea</i> , <i>A. gerdmannii</i>), <i>Scutellospora</i> (<i>S. calospora</i>) y <i>Entrophospora</i>	28	11
Inóculo del ecosistema natural	<i>Acaulospora</i> spp., <i>Glomus</i> spp., <i>Entrophospora</i> spp.	11	12
Inóculo comercial	<i>Glomus</i> sp., <i>Acaulospora</i> sp., <i>Scutellospora</i> sp., y <i>Entrophospora</i>	30	13
Inóculo puro (suelo, esporas)	<i>Acaulospora morrowiae</i>	30	14

Inóculo nativo puro (*Acaulospora morrowiae*). Del inóculo nativo de agroecosistema bananero, se aislaron esporas previamente caracterizadas de la especie *Acaulospora morrowiae* (Usuga, 2002). Se multiplicaron en viales de capacidad de 50 g sobre sustrato de arena: suelo en una proporción volumen a volumen de 30:70 y sembrando semillas

pregerminadas de *Sorgum vulgare*, el tiempo de crecimiento fue de 60 días (Tabla 1).

Inoculación micorrízica de plantas de banano. El inóculo aplicado consistió de sustrato más raíces de la planta hospedadora, la cantidad se ajustó estimando una aplicación de 500 esporas por

tratamiento de cada uno de los tipos de inóculo y se depositó en la parte superior de la bolsa sobre el sustrato.

Fertilización. Los cálculos de las necesidades de nutrientes a aplicar, se efectuaron con base en las características químicas del suelo usado para la preparación del sustrato y de los requerimientos nutricionales de las plantas de banano del grupo Cavendish cv. Gran Enano, de acuerdo a la edad de las plantas (Soto, 1992). A partir del total requerido, se evaluaron los siguientes niveles: la mitad de la dosis, dosis completa, dos veces la dosis completa y como testigo sin aplicación de fertilizante. La fertilización fue semanal durante 16 semanas y suministrada en forma líquida. La dosis completa consistió, por aplicación y por planta de NH_4NO_3 (0,01396 g), KNO_3 (0,0880 g), MgSO_4 (0,0056 g), como elementos mayores y $\text{CaMn}_2\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ (0,00068 g), H_3BO_3 (0,00057 g), $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (0,00005 g), $\text{CuSO}_4\cdot 5\text{H}_2\text{O}$ (0,00002 g), a partir de esta se calcularon y aplicaron las demás dosis evaluadas.

Materia orgánica. Se evaluó el efecto de la materia orgánica en la micorrización, adicionando 300 g de materia orgánica en el tercio superior de las bolsas que tenían el sustrato y sin aplicación como testigo. Las características de la materia orgánica usada fueron: tipo compost con 40% de materia orgánica, cenizas 60%, CIC 55 $\text{meq}\cdot 100^{-1}\text{g}^{-1}$, relación carbono nitrógeno (C/N) de 13, humedad 30%; procedente de lombricompost de lombriz roja californiana.

Tratamientos. Los tratamientos evaluados se diseñaron, por la combinación de los diferentes niveles de los factores tipo de inóculo, materia orgánica y fertilización, obteniendo 40 tratamientos (Tabla 2); por tratamiento se evaluaron cinco repeticiones.

Material vegetal. Se utilizaron plantas micropropagadas del grupo Cavendish cv. Gran Enano (AAA), procedentes del Laboratorio de Biotecnología Vegetal de la Universidad Católica de Oriente (Antioquia, Colombia). Las plantas, fueron aclimatadas durante 30 días, en un sustrato estéril compuesto por arena, bajo cobertura de zarán y riego en aspersión con frecuencia de dos veces por día; la composición química del suelo utilizado fue la misma descrita anteriormente. Las plantas con 30 días de aclimatadas se pasaron a bolsas que

contenían el sustrato con los respectivos tratamientos. Las plantas se mantuvieron con riego inicialmente por nebulización y posteriormente por aspersión.

Mantenimiento. Las plantas permanecieron bajo condiciones de invernadero durante un período de 16 semanas, tiempo durante el cual únicamente se adicionó agua y se aplicó fertilizante según tratamiento.

Variables respuesta. Cuando las plantas tenían 16 semanas, se determinó la acumulación de biomasa por órgano, a través del peso seco de hojas, pseudotallo y raíces.

La colonización micorrizal se evaluó a partir de 0,5 gramos de raíz, decoloradas y tinturadas de acuerdo con el método de Phillips y Hayman (1970), modificado para raíces de banano (Usuga, 2002). La asociación se expresó en porcentaje de raíces colonizadas, por el método de láminas propuesto por Sieverding (1983).

Diseño experimental. El efecto de la micorrización y la fertilización en la asociación y ganancia de biomasa de las plantas de banano se evaluó mediante un arreglo factorial $5 \times 4 \times 2$. Los factores consistieron de: tipos de inóculo, nivel de fertilización y aplicación de materia orgánica. Se evaluaron cinco tipos de inóculos: I1, I2, I3, I4; provenientes del agroecosistema bananero, ecosistema natural, uno comercial, e inóculo puro (*Acaulospora morrowiae*) respectivamente y como testigo el inóculo I0, sin la aplicación de micorriza. Los cuatro niveles de fertilización consistieron de: no aplicación de fertilización (FO), aplicación de la mitad de la fertilización (F/2), fertilización completa (F), y dos veces la fertilización completa (2F). En el caso de la materia orgánica se evaluó sin la adición de materia orgánica (MO) y con la adición de materia orgánica (MO300). La combinación de niveles de cada uno de los factores evaluados, generó en total cuarenta tratamientos cada uno de los cuales se evaluó en cinco repeticiones. El análisis de datos, se corrieron en el software R, versión 2.4 año 2007.

RESULTADOS

Asociación de los hongos micorrízicos a las plantas de banano. La asociación promedio general de los hongos micorrízicos en las plantas de banano fue de $32,689 \pm 29,281\%$. Según el

tipo de inóculo, e independientemente de la fertilización y la adición de materia orgánica, los inóculos usados presentaron de acuerdo con el análisis de varianza, promedios de asociación significativamente diferentes. Así, con el I1, se dio la mayor asociación a las plantas de banano con $64,044 \pm 24,345\%$; teniendo en cuenta la prueba de comparaciones múltiples de Tukey, este promedio fue significativamente diferente de todos los demás; el I3 obtuvo una asociación de $46,601 \pm 22,993\%$, formando otro grupo único diferente, los otros tipos de inóculos evaluados (I2, I4) formaron un grupo homogéneo respecto a sus promedios de asociación. Se anota que el inóculo I0

correspondió al testigo, esto es, no aplicación de hongos micorrícicos; sin embargo, las colonizaciones encontradas en las raíces de las plantas de banano para este tratamiento, correspondieron a contaminaciones de la materia orgánica con este tipo de hongos. La fertilización incidió significativamente en la asociación promedio, particularmente los niveles de fertilización completa y media, con $37,865\%$ y $35,000\%$, respectivamente, con relación a la no fertilización y a la aplicación de dos veces la dosis requerida en las cuales se presentaron en el mismo orden asociaciones promedias del $32,157\%$ y $25,745\%$, (Tabla 2).

Tabla 2. Actividad de las micorrizas e influencia de la nutrición en el crecimiento de plantas de banano, cv. Gran Enano.

Factor	Nivel	Asociación (%)	Seudotallo (g)	Foliar (g)	Psraíz (g)
Inóculo	I0	16,2625 a	2,8375 a	2,8 ab	1,2075 a
	I1	64,044 b	4,088889 b	3,395 c	1,58 b
	I2	18,5845 a	2,7725 ac	2,8325 ab	1,1325 a
	I3	46,60125 c	3,665625 b	3,125 bc	1,155 a
Fertilización	I4	17,95275 a	2,756667 ac	2,745 a	1,3683 ab
	F0	32,039796 ab	3,155726 ab	2,702 a	1,521 a
	F/2	34,9868 b	3,275 ab	2,844 ab	1,182 b
	F	37,8658 b	3,508 b	3,236 c	1,18 b
	2F	25,7458 a	2,903333 a	3,132 bc	1,268 ab

I1 a I4 corresponden al tipo de inóculo, I0 inóculo sin micorriza; letras iguales en la prueba de Tukey indican diferencias significativas al nivel $P \leq 0,05$ entre tratamientos (letras diferentes) y letras iguales indican que los tratamientos no son diferentes significativamente.

Teniendo en cuenta la materia orgánica independientemente de los demás factores evaluados, la aplicación de esta, favoreció significativamente la asociación micorrízica con $37,561 \pm 23,321\%$, respecto al no uso, en donde se presentó una asociación de $27,816 \pm 33,640\%$ (Tabla 2).

Efecto de la interacción de los factores tipo de inóculo, fertilización y uso de materia orgánica. Comparando el efecto independiente y combinado del tipo de inóculo, fertilización y uso de materia orgánica, en la asociación micorrízica de los hongos sobre las plantas de banano, el factor que mayor efecto significativo presentó, se debió al tipo de inóculo, y particularmente a los inóculos I1 (221,713) e I3 (152,304); el inóculo I2 (-45,759)

obtenido de ecosistema natural presentó efecto negativo respecto al control I0. Con respecto a la fertilización el mayor efecto favorable para la asociación se presentó con la fertilización completa (F: 51,466), y fue negativo cuando se aplicó dos veces la fertilización (2F: -32,059). La aplicación de materia orgánica favoreció (68,908), la asociación micorrízica. Los efectos debidos a la interacción de factores en general oscilaron con valores relativamente cercanos a cero (relativo a los testigos I0, MO, F0); se resalta el efecto negativo (-67,665) presentado por el inóculo I1, en combinación con la aplicación de materia orgánica y fertilización completa y que fue contrario al presentado por el inóculo I3 bajo la misma fertilización y con la adición de materia orgánica (Tabla 3).

Tabla 3. Efectos independientes y combinados de cada uno de los niveles de los factores tipo de inóculo, fertilización y adición de materia orgánica en la asociación de los hongos micorrízicos a las plantas de banano cv. Gran Enano, respecto a sus testigos.

Variable	Inóculo	F/2	F	2 F	MO1	MO1 : F/2	MO1 : F	M01 : 2F	
Asociación	0	-	18,761	51,466	-32,059	68,908	-	-	-
	I1	221,713	-3,420	-36,832	-21,460	-12,013	17,688	-67,665	14,141
	I2	-45,759	15,298	-17,283	-18,169	0,858	-20,364	23,062	-22,048
	I3	152,304	-49,663	19,640	40,987	7,316	-13,338	-15,913	14,300
	I4	7,559	-10,301	-23,947	-9,713	-57,041	-21,602	55,323	-15,913
Peso seco pseudotallo	0	-	0,548	2,484	-1,763	15,228	-	-	-
	I1	6,661	-	-	-	3,477	-	-	-
	I2	-1,716	-	-	-	-0,386	-	-	-
	I3	4,491	-	-	-	-2,074	-	-	-
	I4	-0,372	-	-	-	0,344	-	-	-
Peso seco raíz	0	-	-0,871	-1,249	-1,283	4,672	0,329	1,211	1,297
	I1	2,060	0,463	0,689	0,234	-1,770	1,553	0,706	0,724
	I2	-0,608	-0,313	-0,363	-0,267	0,843	0,329	-0,554	-0,047
	I3	-0,686	0,575	0,671	-0,980	0,902	-0,463	-1,321	-0,536
	I4	0,719	-0,777	-0,633	0,802	-0,735	-2,283	-1,284	-0,517

Donde, I1 a I4 corresponde al tipo de inóculo; F0, F/2, F, y 2F a cero, la mitad, completa y dos veces la dosis de la fertilización estimada a aplicar según análisis de suelos y MO1 al tratamiento con materia Orgánica. 0 corresponde al nivel cero o testigo de cada factor. Los valores positivos y negativos indican un efecto positivo o negativo respectivamente, frente al nivel cero del factor o factores.

Acumulación de biomasa. La materia seca promedio acumulada en hojas, pseudotallo y raíces fue de $2,980 \pm 1,151$, $3,243 \pm 1,667$, $1,290 \pm 0,752$ g respectivamente. Como era de esperarse, el peso seco del pseudotallo y de las hojas, resultó altamente colineal, así, la respuesta de estas dos variables a los diferentes factores, presentaron un comportamiento similar (Figuras 1 y 2), por lo que solo se usará el peso seco del pseudotallo en el análisis. Los factores más significativos en la acumulación de biomasa tanto a nivel de pseudotallo como de raíz, fueron el tipo de inóculo y la materia orgánica, en segundo lugar estuvo la fertilización. Con respecto al tipo de inóculo, el mayor peso seco promedio en pseudotallo y raíces, se obtuvo con el inóculo I1 (4,185 y 1,580 g respectivamente), aunque en pseudotallo también se encontró buena respuesta con I3 (3,666 g), mientras que en raíces fue el I4 (1,368 g), las demás diferencias entre los promedios de los demás niveles tanto para pseudotallo como para raíces, fueron pequeñas y no significativas (Tabla 2).

Con relación a la fertilización, la biomasa acumulada en los órganos estudiados mostró un comportamiento diferente, mientras en el pseudotallo la fertilización completa favoreció la acumulación, y la aplicación de

dos veces la dosis la desfavoreció; la acumulación de biomasa en raíz, se vio favorecida por la no aplicación de fertilizante. La aplicación de materia orgánica es un factor que definitivamente incide significativamente en la acumulación de biomasa tanto en pseudotallo como en raíz (Figuras 1, 2 y 3).

Efecto de la interacción de factores tipo de inóculo, fertilización y aplicación de materia orgánica en la biomasa acumulada de las plantas de banano. El mayor efecto en la acumulación de biomasa tanto en pseudotallo como en raíz se debió a la adición de materia orgánica, seguida por la aplicación de micorrizas específicamente el inóculo I1; también tuvo un efecto considerable en la acumulación de biomasa a nivel del pseudotallo el I3, (Tabla 3). A nivel de peso seco del pseudotallo fueron significativas la interacciones entre el tipo de inóculo y la aplicación de materia orgánica y no así, con la fertilización; sin embargo, sus efectos oscilaron muy cercanamente alrededor de cero (respecto a los niveles testigos usados en cada factor). En el caso del peso seco de raíz fueron significativas las interacciones entre los factores evaluados, sin embargo, como en el caso anterior sus efectos fueron pequeños y oscilaron muy cercanamente alrededor de cero.

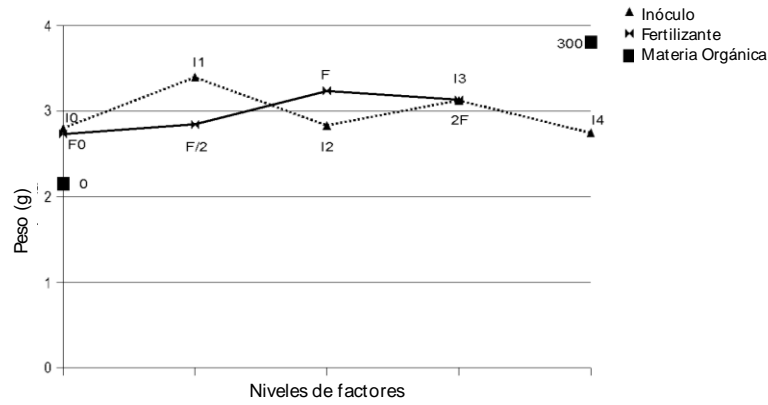


Figura 1. Materia seca acumulada en el sistema foliar de las plantas de banano cv. Gran Enano, de acuerdo al tipo de inóculo micorrícico, fertilización y aplicación de materia orgánica.

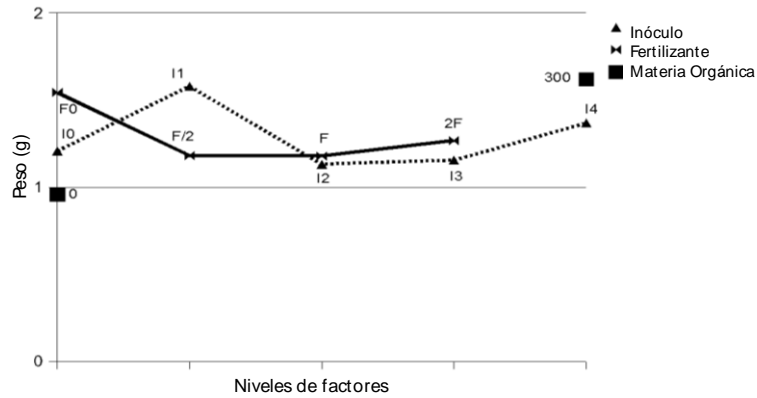


Figura 2. Materia seca acumulada en raíz de plantas de banano cv. Gran Enano, de acuerdo al tipo de inóculo micorrícico, fertilización y aplicación de materia orgánica.

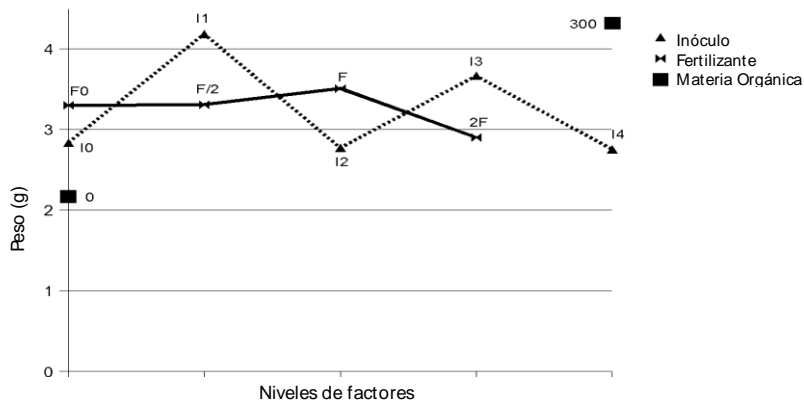


Figura 3. Materia seca acumulada en el pseudotallo de las plantas de banano cv. Gran Enano, de acuerdo al tipo de inóculo micorrícico, fertilización y aplicación de materia orgánica.

Efecto de la interacción de factores tipo de inóculo, fertilización y aplicación de materia orgánica en la biomasa acumulada de las plantas de banano. El mayor efecto en la acumulación de biomasa tanto en pseudotallo como en raíz se debió a la adición de materia orgánica, seguida por la aplicación de micorrizas específicamente el inóculo I1; también tuvo un efecto considerable en la acumulación de biomasa a nivel del pseudotallo el I3, (Tabla 3). A nivel de peso seco del pseudotallo fueron significativas la interacciones entre el tipo de inóculo y la aplicación de materia orgánica y no así, con la fertilización; sin embargo, sus efectos oscilaron muy cercanamente alrededor de cero (respecto a los niveles testigos usados en cada factor). En el caso del peso seco de raíz fueron significativas las interacciones entre los factores evaluados, sin embargo, como en el caso anterior sus efectos fueron pequeños y oscilaron muy cercanamente alrededor de cero.

DISCUSIÓN

La mayor asociación de los hongos micorrízicos a las plantas de banano de acuerdo al tipo de inóculo, se dio con el inóculo I1 seguido del inóculo I3; los cuales corresponden a una mezcla, el primero, de hongos colectados directamente de un agroecosistema bananero, ubicado en la región de Urabá (Antioquia-Colombia), y el segundo, de hongos producidos comercialmente; mientras que los del ecosistema natural de la misma zona y el cultivo puro (*Acaulospora morrowiae*) se comportaron muy semejantes al testigo I0, esta diferencia pudo haberse presentado por la capacidad de adaptación del inóculo de agroecosistemas a las condiciones físicas y químicas de los suelos del Urabá, sustrato donde se realizó el experimento, de antemano se sabe que el inóculo de agroecosistema fue un inóculo muestreado en agroecosistemas bananeros del Urabá y por lo tanto posee especies adaptadas a este tipo de sistema. Cabe resaltar que aunque se ha detectado HMA en prácticamente todo tipo de suelos, su población y actividad se pueden afectar positiva o negativamente por condiciones ambientales, la presencia de nutrientes solubles y agroquímicos.

Por otra parte, el inóculo del ecosistema natural provenía de suelo no intervenido con cero utilización de insumos agrícolas y microbiota nativa del Urabá,

la cepa pura *Acaulospora morrowiae* a pesar de que provenía de la misma zona, se inóculo aisladamente y probablemente requirió de un pool o microbiota que actuará sinérgicamente para su desarrollo y asociación.

Los datos mostrados en la Tabla 2 refuerzan la idea del establecimiento de ecotipos, en el cual, inóculos obtenidos de ecosistemas naturales, parecen no ser recomendables para uso agrícola, probablemente por contener especies afines a plantas arbóreas, no adaptadas a las plantas cultivadas, ni al manejo agronómico, ni a los agroquímicos usados en éstos.

Estudios realizados en Costa Rica, evaluando inóculos de ecosistemas diferentes, presentan resultados semejantes a los aquí mostrados, los tipos de inóculo utilizados fueron provenientes de suelos ricos en nutrimentos, sujetos a fertilizaciones e inóculos de suelos dedicados a cultivos anuales que normalmente reciben bajos niveles de insumos agrícolas (Arias, 1999).

Aunque la literatura reporta baja especificidad hongo-planta (Sánchez, 1999; Sieverding, 1991), estos resultados sugieren cierto grado de afinidad, al menos, entre el origen del tipo de inóculo y la relación que pueda tener este con la planta hospedera y con el nicho en el cual esta se desenvuelve.

Entre el inóculo I1 e I3, en este caso, un factor que puede estar marcando la diferencia es el tipo de suelo usado, el cual se obtuvo de la región bananera que pudo resultar desventajoso para el inóculo comercial (I3), pero principalmente el manejo agronómico del cultivo. Lo anterior, apoya la idea de que, en la obtención, producción y uso de Hongos Micorriza Arbuscular debe efectuarse teniendo en cuenta, el tipo planta a trabajar, parece existir cierto grado de afinidad entre el tipo de ecosistema al cual pertenece la planta y el tipo de especie de hongos que predominantemente se están asociando a esta, además, el nicho agroecológico en el cual se encuentra la planta de interés, favoreciendo la producción de mezclas de hongos, más que el uso de inóculos puros.

Los resultados encontrados con respecto al uso de materia orgánica concuerdan con lo reportado por la literatura favoreciendo la asociación de los Hongos

Micorriza Arbuscular a la planta hospedadora probablemente por el aumento en la disponibilidad de nutrientes para la planta y por ende incremento en las comunidades microbianas que favorecen la acción de los HMA (Sánchez, 1991) además del efecto positivo que esta tiene sobre las propiedades físicas, especialmente en su aireación lo que provoca mayor desarrollo de la asociación micorrízica.

Con relación a los tratamientos dados para el nivel de fertilización, el porcentaje de colonización, expresó los mejores resultados con la aplicación de una enmienda completa basada en análisis de suelo y necesidades de plantas de banano (*Musa* sp. cv. Gran Enano); sin embargo, no se presentaron diferencias significativas al aplicar la mitad de la fertilización. Con el doble de fertilización disminuye la respuesta; al respecto, se han obtenido resultados semejantes en Costa Rica, bajo condiciones de invernadero, donde plantas de banano reducen la respuesta a la asociación al someterse a un régimen intenso de fertilización y alto suministro de P en el sustrato de siembra (Arias, Blanco y Vargas, 1999).

En experimentos sobre plantas de Gerbera, la fertilización influyó sobre la cantidad de estructuras del hongo observables en las raíces. Cuando las plantas se fertilizaron con dosis moderadas, el porcentaje de colonización fue mayor que el registrado en las plantas tratadas con dosis de fertilización altas o ausencia de fertilizante (Pedraza Contreras y Gutiérrez, 2001). Otros casos muestran como utilizando sustratos muy ricos en nutrientes especialmente fósforo, pueden reducir o anular el efecto benéfico de las micorrizas (Blanco y Salas, 1996).

La acumulación de biomasa en términos generales presentó un comportamiento relativamente similar a la asociación de los hongos a las plantas de banano. Los resultados indican que el tipo de inóculo y el uso de materia orgánica están favoreciendo la acumulación de biomasa tanto del sistema aéreo como radical. Se soporta de nuevo la idea del uso de inóculos nativos obtenidos directamente de los agroecosistemas donde las especies están siendo cultivadas, y que la fertilización excesiva no es favorable para la acumulación de materia seca, ni para el establecimiento de la asociación micorrízica.

Las diferencias encontradas entre la fertilización y la acumulación de materia orgánica, probablemente se

deba a que cuando la planta es fertilizada con la dosis óptima, esta, fisiológicamente no es inducida a producir un mayor sistema radical para la exploración de nutrientes, caso contrario a cuando la planta no es fertilizada.

En resumen, se encontró comportamiento similar tanto para la asociación como para la acumulación de biomasa en diferentes órganos de la planta de banano. Los resultados encontrados refuerzan la idea de usar inóculos nativos, esto es, seleccionando una mezcla de hongos de los agroecosistemas donde la planta de interés es cultivada. Para que las especies existentes en la mezcla del inóculo expresen su potencial, debe cambiarse el manejo agronómico tratando de manejar racionalmente la fertilización y con la aplicación de abonos orgánicos.

El manejo racional y sustentable de la fertilidad de los suelos busca indispensablemente aumentar la eficiencia de su utilización, la que no depende de mayores tasas de aplicación de fertilizantes, sino de fomentar procesos de reciclaje y de eficiencia en la absorción de nutrientes, en donde la integración de la inoculación micorrizal a los sistemas agronómicos, serían una forma de aprovechamiento a su funcionalidad.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece muy especialmente a los investigadores Carlos A. Rivillas (Cenicafé, Colombia) y Maria del Carmen Jaizme Vega (Instituto Canario de Investigaciones Agrarias, Tenerife, España) por su asesoría y aportes académicos. Al Centro de Investigaciones del Banano (CENIBANANO - AUGURA) y a la Universidad de Antioquia por el apoyo financiero y logístico.

BIBLIOGRAFÍA

- Arias, F.; F. Blanco y R. Vargas. 1999. Evaluación de la infectividad de micorrizas arbusculares en plantas micropropagadas de banano (*Musa* AAA, cv. Valery) durante fases de invernadero y vivero. *Corbana* 25(52): 173-188.
- Barea, J.M. y C. Azcon. 2002. Técnica de elaboración y control de calidad de inoculantes micorrizicos. En: *Memorias Curso de Inoculantes Biológicos*. Departamento de Microbiología de Suelos y Sistemas Simbióticos, Estación Experimental del Zaidin, CSIC, Granada, España.

- Barea, J.M., R. Azcón and C. Azcón-Aguilar. 1991. Vesicular arbuscular mycorrhizal fungi in nitrogen fixing systems. *Methods Microbiol.* 24:391-346.
- Blanco, F. y E. Salas. 1996. Micorrizas en la agricultura: contexto mundial de investigación realizada en Costa Rica. *Agron. Costarricense.* 21(1):55-67.
- Declerck S., C. Plenchette y D.G. Strullu. 1995. Mycorrhizal dependency of banana (*Musa acuminata* AAA group) cultivar. *Plant and Soil.* 176(1): 183-187.
- Jaizme-Vega, M.C y R. Azcon. 1995. Responses of some tropical and subtropical cultures to endomycorrhizal fungi. *Mycorrhiza.* 5:213-217.
- Jaizme-Vega, M.C., M. Esquivel Delamo, P. Tenoury Dominguez, y A.S. Rodriguez-Romero. 2002. Efectos de la micorrización sobre el desarrollo de dos cultivares de platanera micropropagada. *Infomusa.* 11(1): 25-28
- Jaizme-Vega, M.C., A.S. Rodríguez- Romero and M.S. Piñero-Guerra, 2004. Potential use of rhizobacteria from *Bacillus genus* to stimulate plant growth of micropropagated banana. *Fruits.* 59(2):83-90.
- Morton J.B., M. Snyder, S. Sturmer, K. Heldreth, K. Nichols and W. Wheeler. 1996. Classification and identification of arbuscular mycorrhizal fungi. p.1-25. In: Memory First International Council of Museums – ICOM-workshop, Paris, France.
- Pedraza, M.; D. Contreras y A. Gutiérrez. 2001. Crecimiento y nutrición de microplantas de gerbera inoculadas con hongos micorriza arbuscular. *Agrociencia* 35(2):149-158.
- Rodriguez Romero, A.S. 2003. Alternativa biológica en cultivares de *Musa* frente a los principales patógenos de suelo en canarias. Tesis Doctoral. Facultad Farmacia ICIA. Universidad La Laguna, Tenerife, España. 299 p.
- Sánchez de P., M. 1999. Endomicorrizas en agroecosistemas colombianos. Universidad Nacional de Colombia, Palmira, Colombia. 225 p.
- Sieverding, E. 1983. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesiculo-arbuscular en el laboratorio. Centro Internacional de Agricultura Tropical CIAT, Cali, Colombia. 96 p.
- Sieverding, E. 1991. Vesicular-arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ) GmbH, Eschborn, Germany. 371 p.
- Soto, M. 1992. Bananos: cultivo y comercialización. 2ªed. Litografía e Imprenta LIL. San José, Costa Rica. 674 p.
- Usuga, C. y A.E. Franco. 2002. Identificación taxonómica de hongos micorriza arbuscular (HMA) en agroecosistemas bananeros del Urabá antioqueño. *AUGURA.* Medellín. 1(213):20-23.