

Aislamiento y caracterización morfológica de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) de zonas riparias del Sur del Ecuador: un enfoque a la producción de biofertilizantes.

Isolation and Morphological Characterization of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) from Riparian Zones of Southern Ecuador: A bioinoculants-production approach

Narcisa Urgiles Gómez*¹, Christian Lalangui Zhingre¹, Estenia Chamba Quiñonez¹, Paúl Loján Armijos², Laura Poma López¹, Max Encalada Cordova¹ y Nikolay Aguirre Mendoza¹

¹ Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador

² Universidad Técnica Particular de Loja, Loja, Ecuador

Fecha de recepción del manuscrito: 14/12/2018

Fecha de aceptación del manuscrito: 01/06/2019

Fecha de publicación: 31/06/2019

Resumen— La distribución e identificación de microorganismos en zonas riparias en la Región Sur del Ecuador aún no ha sido estudiada, por tal motivo, esta investigación se ha enfocado en el aislamiento y descripción morfológica de los morfotipos de esporas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), los cuales constituyen un grupo de microorganismos de gran importancia ecológica, económica y social. Los HMA establecen asociación simbiótica obligada con cerca del 80% de las plantas terrestres. Se trata de una simbiosis mutualista en la que las dos contrapartes se benefician (aunque bajo ciertas circunstancias se han descrito algunas excepciones). Por un lado los HMA proporcionan a las plantas una mayor capacidad de absorción de agua y nutrientes del suelo y por otro lado, los hongos obtienen para su desarrollo parte de los carbohidratos de la planta. Los HMA se encuentran habitando prácticamente todos los tipos de suelos alrededor del mundo. Las esporas de HMA encontradas en las microcuencas de El Carmen y Mónica se agruparon en morfotipos utilizando las claves de identificación disponibles, lo que permitió su identificación a nivel de género. Se pudieron identificar los géneros *Glomus*, *Acaulospora* y *Scutellospora*. Las esporas encontradas se utilizaron como bioinoculantes en plántulas de tomate de mesa (*Solanum lycopersicum* Mill). La inoculación de las plantas tuvo un efecto significativo en el crecimiento, biomasa y peso de los frutos respecto a las plantas no inoculadas (tratamiento control). Se encontró que los HMA presentes en el bioinóculo o inoculantes microbianos presentan potencial en el desarrollo de bio-inoculantes para aplicación agrícola.

Palabras clave— Morfotipo de esporas; Colonización micorrízica; Inóculo microbiano; Producción agrícola; *Solanum lycopersicum* Mill.

Abstract— The distribution and identification of microorganisms in riparian areas in the Southern Region of Ecuador have not been studied so far. For this reason, this research has focused on the isolation and morphological characterization of spore morphotypes of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF). AMF constitute a group of microorganisms with important ecological and economic relevance. The AMF establish obligate symbiotic association with about 80% of terrestrial plants. Most of the cases correspond to mutualistic associations (although in a limited number of reports negative effects on plants have been observed). Being a mutualist symbiosis, the two partners involved benefit. On the one hand, HMA provides plants with a greater capacity to absorb water and nutrients from the soil. On the other hand, AMFs obtain part of the carbohydrates from the plant. AMF inhabit all types of soils around the world. Several AMF spores were found in riparian zones of the micro watersheds of El Carmen and Mónica which, according to their morphological characteristics, were grouped in various morphotypes and genera. The found genera were mainly *Glomus*, *Acaulospora* and *Scutellospora*. The spores were used as propagules for the inoculation of tomato (*Solanum lycopersicum* Mill) seedlings. The inoculation produced a significant effect on plants-growth, biomass and fruit weight variables compared to non-inoculated plants. This AMF have a great potential for the development of efficient bioinoculants or microbial inocula for agricultural purposes.

Keywords— Spore-morphotype, Mycorrhizal colonization; Microbial inoculum; Agricultural production; *Solanum lycopersicum* Mill.

INTRODUCCIÓN

El suelo es el recurso esencial para el desarrollo económico, ambiental y social por ser el sostén físico, químico y biológico de todos los ecosistemas terrestres, favoreciendo un desarrollo en equilibrio dinámico entre ellos (Nakme *et al.*, 2016). En el suelo se encuentran un sinnúmero de microorganismos que sirven como bioindicadores de la salud de los ecosistemas y agroecosistemas. Las poblaciones microbianas presentes en el suelo juegan un papel importante en los recursos vegetales y procesos agrícolas (Ramírez Gil *et al.*, 2013). Dentro de las poblaciones microbianas presentes en el suelo se encuentra un grupo de microorganismos denominados hongos micorrízicos arbusculares (HMA) los cuales tienen especial importancia en los procesos agrícolas y forestales (Alarcón y Ferrera-Cerrato, 2000).

Los HMA constituyen un grupo de microorganismos de gran importancia debido a que establecen procesos simbióticos con el 80% de las plantas; en dicha simbiosis las plantas se benefician del micelio extrarradical del hongo que incrementa el volumen de suelo explorado por la planta y por tanto le permite acceder a una mayor cantidad de agua y nutrientes (Torres-Arias *et al.*, 2017), especialmente de aquellos poco móviles en la solución del suelo como el caso del fósforo (P), elemento requerido por las plantas en grandes cantidades y que se encuentra generalmente en bajas concentraciones en forma de fosfatos no asimilables (Aguilera Gómez *et al.*, 2007). Además, los HMA participan como agentes de bio-control al ataque de patógenos de hábito radical (Singh *et al.*, 2000).

Según Börstler *et al.* (2006), en el mundo podría haber 1250 especies de HMA habitando en todos los suelos, incluyendo los de minas abandonadas, suelos agrícolas, pantanos, en hábitats acuáticos (Pérez y Vertel, 2010) y en suelos de zonas riparias ubicados en las riberas de los ríos en donde el microclima formado, la humedad del suelo y la diversidad vegetal favorecen su desarrollo y diversificación (Granados-Sánchez *et al.*, 2006).

De acuerdo con Enríquez *et al.* (2010), en los bosques naturales y zonas riparias ecuatorianas existe una organización heterogénea, traducido en un gran número de especies vegetales conviviendo en un mismo espacio de suelo, por lo tanto la posibilidad de encontrar asociaciones exitosas con diversas especies de HMA es alta. Asimismo, en estas zonas se han encontrado HMA en los primeros 20 centímetros del perfil del suelo especialmente de los géneros *Glomus* spp., *Scutellospora* spp., *Acaulospora* spp., *Gigaspora* spp. y *Rhizophagus* spp. En las últimas décadas los HMA están siendo utilizados en la producción de bioinóculos para la aplicación en cultivos a fin de aumentar su productividad y la resistencia a plagas: Su uso podría ayudar a reducir el uso de fertilizantes químicos que causan contaminación en el medio ambiente por sus efectos residuales (Loján *et al.*, 2017).

Con esta premisa, la presente investigación pretende: (1) contribuir al conocimiento de los HMA de zonas riparias a través de su aislamiento y caracterización morfológica y (2) evaluar su potencial como inoculantes de HMA que pueda

utilizarse para fines agrícolas para lo cual se utilizó *Solanum lycopersicum* Mill (tomate mesa) como cultivo modelo.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en el cantón Loja que, según la clasificación de Holdridge (1987) presenta una zona de vida de bosque seco montano bajo (bs-MB) con una temperatura media anual de 16 °C, precipitación media anual de 967,6 mm y clima según Koppen (1936) templado lluvioso.

La primera fase se desarrolló en las zonas riparias de las microcuencas El Carmen y Mónica, ubicadas geográficamente a 9552735 m N, 704961 m E y a 2399 msnm, 9548940 m N, 701540 m E y a 2346 msnm, respectivamente. Se recolectaron al azar 10 muestras de 250 g de suelo y raicillas de cada una de las dos microcuencas las cuales fueron tomadas a una profundidad de 20 cm. La fase de laboratorio e invernadero se desarrolló en la Universidad Nacional de Loja.

Aislamiento, clasificación e identificación de esporas de morfotipos de HMA

Se realizó una mezcla de las muestras procedentes de cada zona para obtener una muestra compuesta para la microcuenca El Carmen y otra para Mónica. La extracción de esporas de HMA del suelo se realizó aplicando la metodología de Gerdemann y Nicolson (1963). Se pesaron cinco muestras de 100 g de las muestras compuestas de cada una de las zonas riparias. Las muestras de suelo fueron colocadas en vasos de precipitación y se agregó agua destilada. Se mezcló y agitó el suelo por varios minutos hasta disolver por completo la parte sólida. Se filtró la mezcla a través de tamices de 400, 125 y 38 μm apilados en ese orden desde la parte superior. El contenido de los tamices de 125 y 38 μm se recogió en tubos de centrifuga de 15 ml, en los que se colocó aproximadamente 3 ml del material tamizado en tubos de ensayo y 9 ml de una solución de sacarosa al 70% y centrifugados a 3000 rpm durante cinco minutos. Se dejó reposar por otros cinco minutos y el sobrenadante se enjuagó con agua destilada en el tamiz de 38 μm y se colocó en una caja Petri con 5 ml de agua destilada. Finalmente, bajo el estereoscopio se extrajo las esporas de los morfotipos de HMA con una pipeta Pasteur. Las esporas se agruparon en morfotipos de acuerdo a sus características morfológicas como: color, forma, tamaño y ornamentación. Se determinó también el número de esporas de cada morfotipo por 100 g de suelo. Se prepararon placas permanentes de los morfotipos de esporas de cada zona, en portaobjetos (cinco esporas por placa), agregando una gota de reactivo de Meltzer (tinción) y una gota de Polivinil Lacto-Glicerol (PVLG). Luego se llevaron las placas al microscopio Olympus BX41, bajo el lente de 100x y se midió su tamaño, y se observaron las estructuras externas e internas de las esporas de cada morfotipo. Los resultados fueron comparados con las descripciones morfológicas que aparecen en la Home page del International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAN) (2018).

Determinación de colonización de HMA de las muestras de raíces de zonas riparias

Se realizó la separación de raicillas del sustrato clasificándolas en herbáceas y leñosas, se tomaron 25 segmentos de

raíces de cada zona de aproximadamente 1 mm de diámetro y 1 cm de largo, y se lavaron con agua destilada. Para la visualización de las estructuras intra-radicales de los HMA, se sumergieron las raíces en hidróxido de potasio (KOH) al 10 % y se colocaron en estufa a 70 °C, por dos horas las raíces herbáceas y dos horas y media las raíces leñosas. Posteriormente se lavaron dos veces en agua corriente, seguidamente se sumergieron por dos minutos en ácido clorhídrico (HCl) al 10 % a temperatura ambiente. Finalmente, se descartó el HCl y se adicionó el azul de metileno al 0,05 % diluido en ácido láctico al 90 % y se incubó por un periodo de dos horas las raíces herbáceas y dos horas y media las raíces leñosas.

Se colocaron cinco segmentos de raíces de 1 cm en una placa portaobjetos, se prepararon cinco placas por procedencia y bajo el microscopio (Olympus BX41) con el lente de magnificación de 10x se evaluó la colonización por HMA de cada raíz según la metodología de Trouvelot *et al.* (1986). Con este método se asignó un rango en clase de 0 a 5, y su equivalencia al porcentaje de colonización por hongos micorrízicos, donde 0 = 0%; 1 = <1%; 2 = <10%; 3 = <50%; 4 >50%; y 5 = >90% de acuerdo a la presencia de las hifas, arbusculos, vesículas y coils de las micorrizas.

Establecimiento de los cultivos trampa

Dada la naturaleza de simbioses obligados de los HMA, el cultivo trampa es el método más común y confiable para la producción de inóculo de este tipo de microorganismos. Se utilizó como planta hospedera *Plantago lanceolata* (llantén menor). Para el establecimiento del cultivo trampa se utilizaron muestras de suelo y segmentos de raíces correspondientes a cada zona riparia (200 g), las cuales fueron colocadas en macetas plásticas de 800 g, y mezclando con 600 g de sustrato (arena de mina y suelo agrícola en proporción 2:1 v/v) el cual se desinfectó con vapor. Se desinfectaron las semillas de *P. lanceolata*, colocando 100 semillas en 20 ml hipoclorito de sodio al 5,25 % durante un minuto, seguidamente fueron sembradas en las macetas con los diferentes inóculos de HMA, colocando cinco semillas por maceta. Se establecieron cinco macetas por cada zona riparia (10 en total), seguidamente cada maceta fue colocada en fundas (sunbag) para evitar contaminación. El ensayo se mantuvo por tres meses en el Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional de Loja y se regaron las plantas una vez a la semana con agua destilada. Dos semanas antes de la utilización del bioinóculo de HMA, se suspendió el riego a fin de tener mayor cantidad de esporas en el suelo.

Preparación y evaluación del inóculo de HMA

Luego de tres meses se cosechó el sustrato de los cultivos trampa. De cada maceta se extrajeron 60 g de sustrato conteniendo raicillas y se mezcló el material de las cinco macetas de acuerdo a su procedencia para obtener dos muestras de 300 g. Se determinó el número de esporas por 100 g de suelo y se registraron los morfotipos de esporas encontrados.

Se adquirieron semillas de tomate de mesa variedad Floradade, y se realizó el semillero en sustrato (arena de mina y tierra agrícola en proporción 3:1 v/v) desinfectado al vapor. Posteriormente, las plántulas se trasplantaron individualmente a los 30 días después de la siembra en bolsas plásticas

con sustrato en proporción 2:1 (arena: suelo agrícola), el cual también fue esterilizado a vapor.

Para evaluar la influencia de la inoculación en el crecimiento y desarrollo de las plantas, se utilizó un diseño simple al azar. Se establecieron tres tratamientos con tres réplicas y cada réplica con 12 plantas. El inóculo de micorrizas se aplicó en el trasplante, para lo cual se realizó un hoyo en el sustrato; se sacaron las plántulas cuidadosamente de la bandeja de germinación, se las limpió del sustrato para tener la raíz desnuda y se colocó la plántula en la funda aplicando a su alrededor 50 g de inóculo provenientes de los cultivos trampa de HMA y se colocó cerca de las raíces, dependiendo de la procedencia del material del inóculo de HMA como se indica en la Tabla 1, además se incluyó un tratamiento sin inóculo de HMA (tratamiento testigo). Se esterilizó el sustrato de vivero con la finalidad de eliminar microorganismos patógenos y simbióticos.

Tabla 1: Tratamientos de HMA obtenidos de zonas riparias, evaluados en el cultivo del tomate.

Tratamiento	Descripción
T1	El Carmen (Zona riparia 1)
T2	Mónica (Zona riparia 2)
T0	Sin inóculo de HMA

Se tomaron datos de las variables dependientes como peso fresco del fruto, biomasa seca total y porcentaje de colonización por HMA evaluadas cada 15 días después del trasplante (ddt), y durante cuatro meses. En los análisis estadísticos se comprobaron los supuestos de normalidad por la prueba de Shapiro-Wilks modificada, posteriormente se realizó el análisis de varianza y la discriminación de medias con el procedimiento de Tukey con una significación de 0,05 mediante el software estadístico Infostat (2018) para Windows.

RESULTADOS

Aislamiento, clasificación e identificación de esporas de morfotipos de HMA

Se lograron identificar 11 morfotipos de esporas que corresponden a tres géneros de HMA: *Glomus*, *Acaulospora* y *Scutellospora*. La zona del Carmen (T1) presentó mayor número de morfotipos y mayor número de esporas por 100 g de suelo tal como se indica en la Tabla 2, Fig. 1.

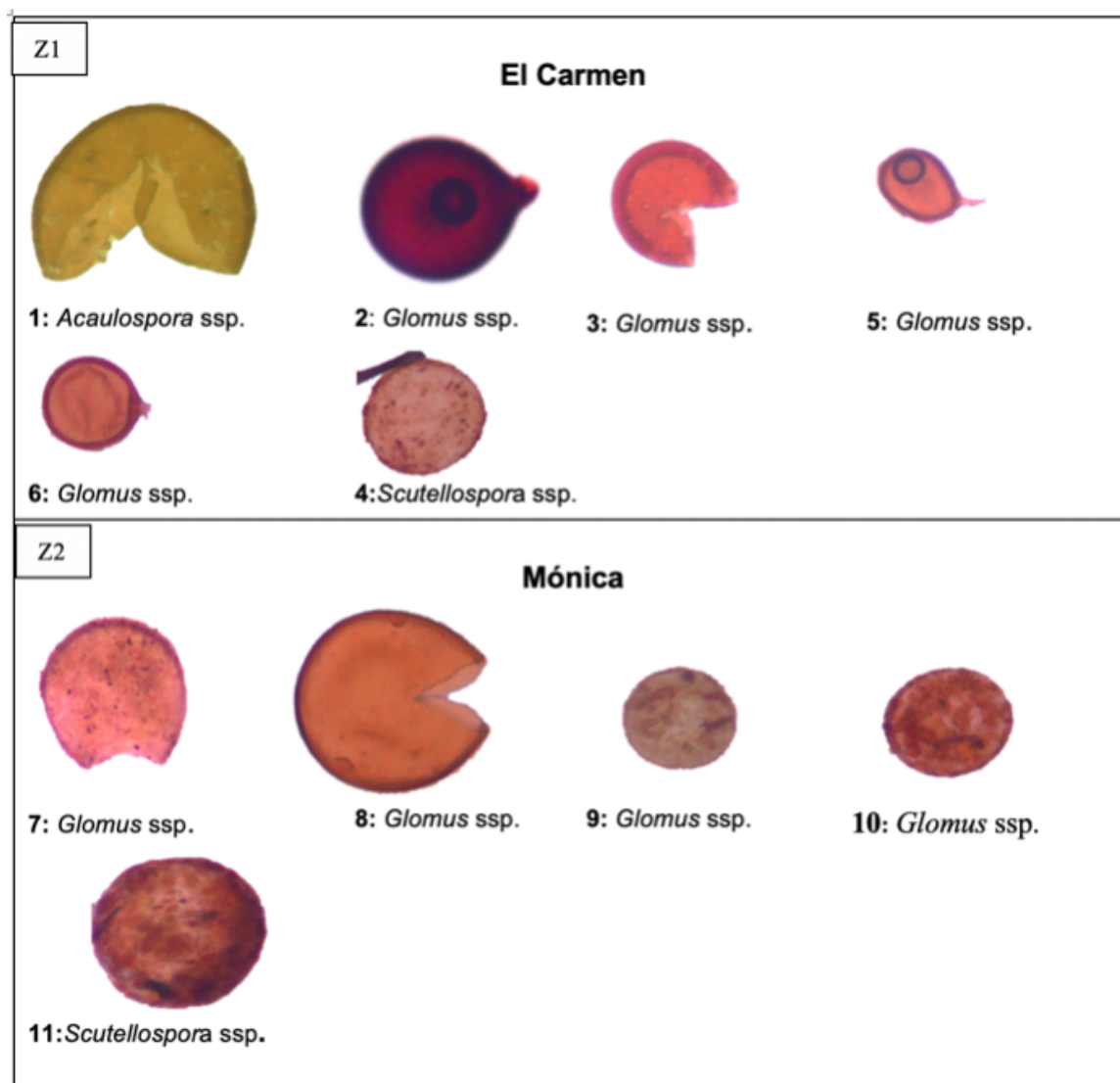
En la Fig. 1 se muestran los diferentes morfotipos de esporas de HMA pertenecientes a los géneros *Glomus*, *Acaulospora* y *Scutellospora* procedentes de las zonas riparias El Carmen (T1) y de Mónica (T2) del cantón Loja. Los morfotipos varían principalmente en cuanto a tamaño, forma y coloración.

Determinación de colonización de HMA de las muestras de raíces de zonas riparias

Se observaron diversas estructuras típicas de la simbiosis micorrízico-arbuscular: hifas intraradicales, vesículas y arbusculos. La colonización de HMA en raíces de las zonas riparias presentó diferencias significativas, como se muestra en la Fig. 2. Las raíces procedentes de El Carmen presentaron un 45,0 % de colonización micorrízica, mientras que en Mónica fue de 34,6 %.

Tabla 2: Resumen de la clasificación e identificación a nivel de género de los morfotipos de HMA y número de esporas de dos zonas riparias del cantón Loja.

Zona	Morfotipo	Género	Número de esporas/100 g	Total de esporas por género
T1: El Carmen	1	Acaulospora	36	36
	2	Glomus	12	62
	3		23	
	4		25	
	5		2	
	6	Scutellospora	22	22
T2: Mónica	7	Glomus	12	51
	8		5	
	9		31	
	10		3	
	11	Scutellospora	32	32

**Fig. 1:** Esporas de los morfotipos de HMA procedentes de las zonas riparias: Z1, El Carmen (T1); Z2, Mónica (T2) del cantón Loja. Fotos: Christian Lalangui

Evaluación de la aplicación del inóculo de HMA en plantas de *S. lycopersicum*

Altura de la planta

En la Fig. 3 se muestra la influencia de los tratamientos de bioinoculantes de HMA provenientes de las dos zonas riparias en estudio sobre la dinámica de crecimiento en altura

de la planta de *S. lycopersicum*, donde se observan diferencias significativas entre los tratamientos, principalmente entre los tratamientos con inóculo de HMA frente a las plantas sin inóculo. Las curvas muestran un crecimiento tendencial durante toda la fase de evaluación. T1 siempre supera a los demás tratamientos alcanzando 68,2 cm, mientras que, T0 presenta 51,0 cm a las 120 ddt.

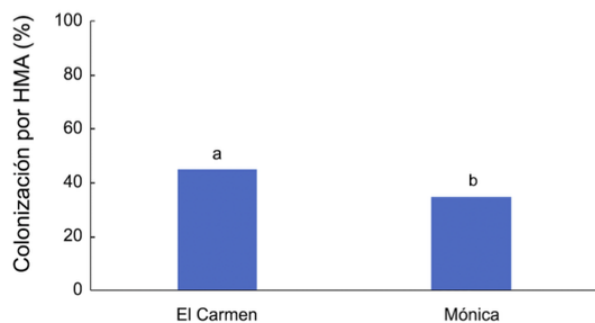


Fig. 2: Porcentaje de colonización de HMA en raíces procedentes de las zonas riparias: El Carmen (T1) y Mónica (T2) del cantón Loja, 2018. Letras diferentes indican diferencias significativas mediante el test de Tukey al 0,05.

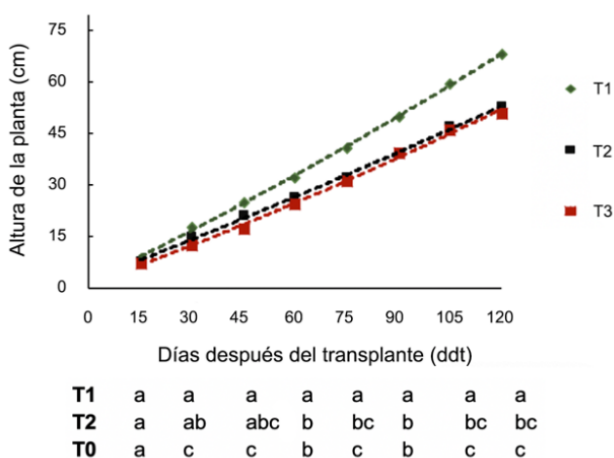


Fig. 3: Dinámica de crecimiento en altura de las plantas de *S. lycopersicum* con la aplicación de los bioinóculos de HMA de las zonas riparias del cantón Loja: El Carmen (T1), Mónica (T2) y el tratamiento sin inóculo de HMA (T0). Letras diferentes indican diferencias significativas mediante el test de Tukey al 0,05.

Peso fresco de fruto por planta

En la Fig. 4 se indican los resultados del peso fresco de frutos cosechados a los 120 ddt, observando que se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento con mayor peso de frutos se encontró en T1 (103,1 g), mientras que en el tratamiento T0 se observó los valores más bajos en comparación con los tratamientos que contienen inóculo de HMA (53,9 g).

Biomasa seca total por planta

En la Fig. 5 se presentan los resultados de biomasa de las plantas de *S. lycopersicum* registrados a los 120 ddt, los cuales indican diferencias significativas entre los tratamientos para la variable de biomasa seca total. El tratamiento T1 (0,9 g) superó la producción de biomasa frente a todos los tratamientos. T2 (0,5 g) y T0 (0,5 g) no presentaron diferencias significativas.

Porcentaje de colonización de HMA en raíces de *S. lycopersicum*

En la Fig. 6 se presentan los porcentajes de colonización de HMA en raíces de *S. lycopersicum* a los 120 ddt, los cua-

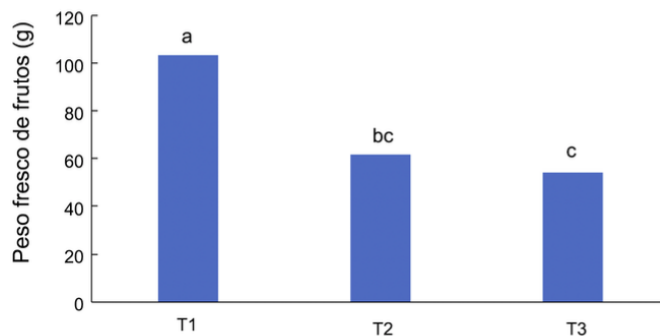


Fig. 4: Peso fresco de frutos de plantas de *S. lycopersicum* a los 120 ddt con la aplicación de los bioinoculantes de HMA de las zonas riparias del cantón Loja. El Carmen (T1), Mónica (T2) y el tratamiento sin inóculo de HMA (T0). Letras diferentes indican diferencias significativas mediante el test de Tukey al 0,05.

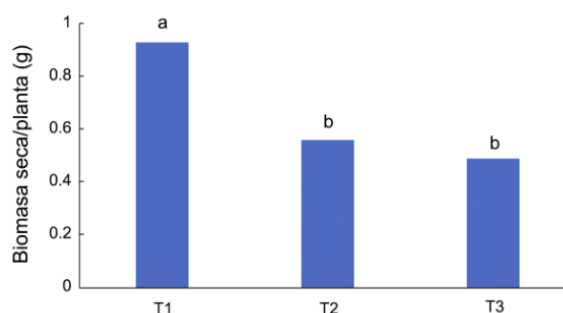


Fig. 5: Biomasa seca total de *S. lycopersicum* a los 120 ddt con la aplicación de los bioinóculo de HMA de las zonas riparias del cantón Loja: El Carmen (T1), Mónica (T2) y el tratamiento sin inóculo de HMA (T0). Letras diferentes indican diferencias significativas mediante el test de Tukey al 0,05.

les presentaron diferencias significativas. El tratamiento T1 (58,3%) presentó la mayor colonización de HMA entre los demás tratamientos en evaluación, superando la colonización de HMA en T2 (30,0%). Finalmente el tratamiento sin inoculación de HMA mantuvo una colonización nula.

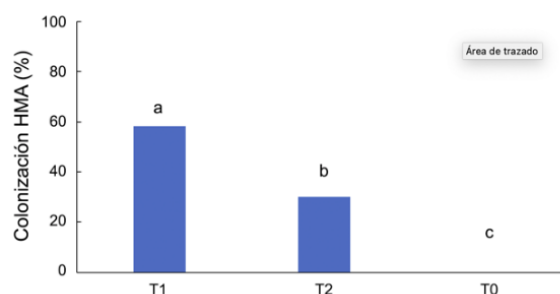


Fig. 6: Porcentaje de colonización de HMA en raíces de *S. lycopersicum* Mill a los 120 ddt con la aplicación de los bioinóculo de HMA de las zonas riparias del cantón Loja: El Carmen (T1), Mónica (T2) y el tratamiento sin inóculo de HMA (T0). Letras diferentes indican diferencias significativas mediante el test de Tukey al 0,05.

DISCUSIÓN

Según Pérez-Luna *et al.* (2012) en estudios de diversidad de HMA señalan la existencia de géneros dominantes o ge-

neralistas de HMA, en este caso se encontró a *Glomus* que se caracteriza como género generalista debido a su presencia en las zonas riparias de El Carmen y Mónica. En las zonas de bosques naturales es evidente encontrar un alto número de esporas de HMA, debido a la masa rizosférica existente de diversas especies vegetales (Garzón, 2016). En el estudio se encontró un promedio de frecuencias de las dos zonas de 102 esporas por 100 gramos de suelo, que representa un número alto en relación a los resultados obtenidos por Salgado García *et al.* (2014) en suelos de uso agrícola donde obtuvo en rango de 4 a 45 morfotipos de HMA. Por otra parte, Prieto-Benavides *et al.* (2012) manifiestan que el número de esporas encontradas en suelos de sistemas agroforestales tradicionales ecuatorianos es mucho mayor que en los suelos de uso agrícola. De acuerdo con Ruiz *et al.* (2011), la diversidad de especies de HMA y dominancia de esporas de los mismos está relacionado con propiedades químicas del suelo, el contenido de nutrientes y la composición florística de cada sistema, así en las zonas riparias de El Carmen y Mónica se encontraron 120 y 83 esporas en 10 g de suelo, respectivamente. La zona uno (El Carmen) presentó mayor número de morfotipos de HMA; de igual forma, el número de esporas fue mayor para el caso de *Acaulospora* y *Glomus*, lo cual coincide con los resultados de Sangabriel-Conde *et al.* (2017), que señalan que los géneros que predominan en todos los tipos de suelos son principalmente los géneros *Glomus* y *Acaulospora*. Tanto en la zona riparia de El Carmen como en Mónica se identificó la predominancia del género *Scutellospora*, lo cual se debe a la presencia de suelos con cobertura mayormente de pastizales y baja cobertura arbórea, coincidiendo con lo expresado por Furrázola *et al.* (2016) que indican que entre otros géneros *Scutellospora* se encuentra asociado a gramíneas de pastizales de montaña.

Urgiles *et al.* (2014, 2016), mencionan que a medida que aumentan el número de especies vegetales en un área determinada crece la diversidad de HMA. En la evaluación de la colonización de HMA en raíces procedente de las dos zonas riparias se encontró que en El Carmen (T1), presentó mayor porcentaje de colonización, se observó en estructuras intrarradicales como hifas, vesículas y apresorios. En las raíces de Mónica (T2), el porcentaje fue menor, visualizándose estructuras como hifas intercelulares y extrarradicales principalmente.

La respuesta de las plantas a la adición de los bioinóculos de HMA fue positiva; para la variable altura de planta el T1 presentó los mejores resultados pero el tratamiento T2 no fue significativamente diferente del control. Terry-Alfonso *et al.* (2018), mencionan que la aplicación de HMA favorece el desarrollo radical de las plantas y por ende facilita un mayor aprovechamiento de los nutrientes y agua del suelo, lo que se traduce en un adecuado desarrollo y crecimiento de la planta. Además, Ley-Rivas *et al.* (2015), reportan que la aplicación de cepas de HMA son benéficas para el crecimiento en altura de las plantas. Las bases fundamentales sobre las que se establece la simbiosis micorrízica arbuscular son nutritivas. La planta suministra al hongo compuestos carbonados procedentes de la fotosíntesis, mientras que este aporta a la planta nutrientes minerales, especialmente aquellos menos disponibles debido a la mayor accesibilidad del micelio externo del hongo a recursos del suelo más distantes (Sánchez *et al.*, 2015). Los HMA garantizan mayor asimilación de nutrientes

del suelo y por ende una mayor actividad metabólica de las plantas, lo que favorece la producción de órganos vegetativos constantemente (Ley-Rivas *et al.*, 2015).

Noval-Pons *et al.* (2017), mencionan que la colonización radical por HMA en fases tempranas del cultivo induce importantes cambios en la planta principalmente en respuestas de defensa en la planta hospedera que permiten superar los estreses bióticos y abióticos, en este proceso se produce la inducción de respuesta de resistencia sistémica, similar a la producida ante ciertos hongos y bacterias (Pérez Ortega *et al.*, 2015). En la variable de peso de frutos, el T1 obtuvo los mejores resultados seguido de T2; el tratamiento sin inoculación (T0) presentó los valores más bajos, lo cual refleja la actividad benéfica de los bioinóculos de HMA sobre el rendimiento del cultivo. Terry-Alfonso *et al.* (2018) reportan que la aplicación de bioinóculos de HMA incrementó la producción *S. lycopersicum* en un 30%; asimismo, Quiñones-Aguilar *et al.* (2014), obtuvieron incrementos significativos en la producción de papaya con la aplicación de HMA. De igual manera, en cuanto a la cantidad de biomasa de las plantas de *S. lycopersicum* Mill, el T1 superó a todos los tratamientos, más aún con respecto al T0; resultados similares reportan Mena Echevarría *et al.* (2011), donde la aplicación de HMA incrementó la biomasa en maíz y sorgo. Gañán *et al.* (2011), por su parte, mencionan que la acumulación de biomasa está relacionada con el porcentaje de colonización micorrízica de HMA.

En la evaluación, los morfotipos de HMA provenientes de la zona riparia (T1) presentan una adecuada actividad simbiótica entre el hongo y la planta, Noval-Pons *et al.* (2017) manifiesta que *S. lycopersicum* es una especie altamente micotrófica que facilita la simbiosis planta-HMA y la colonización en sus raíces contribuye a la captación y almacenaje de nutrientes, lo que favorece al crecimiento y producción de este importante cultivo agrícola.

REFERENCIAS

- Aguilera Gómez, L. I., Olalde Portugal, V., Arriaga, M. R., y Alonso, R. C. (2007). Micorrizas arbusculares. *CIENTICIA ergo-sum, Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 14(3), 300–306.
- Alarcón, A., y Ferrera-Cerrato, R. (2000). *Ecología, fisiología y biotecnología de la micorriza arbuscular* (n.º 04; CP QK604 E2.). Colegio de Postgraduados.
- Börstler, B., Renker, C., Kahmen, A., y Buscot, F. (2006). Species composition of arbuscular mycorrhizal fungi in two mountain meadows with differing management types and levels of plant biodiversity. *Biology and Fertility of Soils*, 42(4), 286–298.
- Enríquez, F. G., Núñez, L. G., y Paillacho, F. I. (2010). Evaluación de la efectividad de las micorrizas arbusculares nativas sobre el desarrollo y estado nutritivo del palmito (*Bactris gasipaes*, kunt) en etapa de vivero. *Agrociencias Amazonía*, 5, 1–10.
- Furrázola, E., Ojeda, L., y Hernández, C. (2016). Mycorrhizal colonization and species of arbuscular mycorrhizal fungi in grasses from the cuenca pecuaria “el tablón”, cienfuegos, cuba. *Cuban Journal of Agricultural Science*, 50(2), 321–331.
- Gañán, L., Bolaños-Benavides, M. M., y Asakawa, N. (2011). Efecto de la micorrización sobre el crecimiento de plántulas de plátano en sustrato con y sin la presen-

- cia de nematodos fitoparásitos. *Acta Agronómica*, 60(4), 297–305.
- Garzón, L. P. (2016). Importancia de las micorrizas arbusculares (ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Revista Luna Azul*(42), 217–234.
- Gerdemann, J., y Nicolson, T. H. (1963). Spores of mycorrhizal endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Transactions of the British Mycological society*, 46(2), 235–244.
- Granados-Sánchez, D., Hernández-García, M., y López-Ríos, G. (2006). Ecología de las zonas ribereñas. *Revista Chapingo. Serie ciencias forestales y del ambiente*, 12(1), 55–69.
- Holdridge, L. R. (1987). *Ecología basada en zonas de vida* (n.º 83). Agroamérica.
- Infostat. (2018). *Infostat/I software estadístico versión. universidad nacional de córdoba (fca-unc)[internet]. 2010 [citado 2018 marzo 30]*.
- International Culture Collection of Vesicular Arbuscular Mycorrhizal Fungi (INVAN). (2018). *Species descriptions from reference cultures, agricultural sciences building, west virginia university. west virginia university*. Disponible en <http://fungi.invam.wvu.edu/the-fungi/species-descriptions.html> (10/07/2018).
- Koppen, W. (1936). Das geographische system der klimat. *Handbuch der klimatologie*, 1–46.
- Ley-Rivas, J. F., Sánchez, J. A., Ricardo, N. E., y Collazo, E. (2015). Efecto de cuatro especies de hongos micorrizógenos arbusculares en la producción de frutos de tomate. *Agronomía Costarricense*.
- Loján, P., Senés-Guerrero, C., Suárez, J. P., Kromann, P., Schüßler, A., y Declerck, S. (2017). Potato field-inoculation in ecuador with rhizophagus irregularis: no impact on growth performance and associated arbuscular mycorrhizal fungal communities. *Symbiosis*, 73(1), 45–56.
- Mena Echevarria, A., Fernández Suárez, K., Jerez Mompie, E., Olalde Portugal, V., y Serrato, R. (2011). Influencia de la inoculación con glomus hoi-like y un conglomerado de especies de hma en el crecimiento de plantas de sorgo sometidas o no a estrés hídrico. *Cultivos Tropicales*, 32(1), 16–27.
- Nakmee, P. S., Techapinyawat, S., y Ngamprasit, S. (2016). Comparative potentials of native arbuscular mycorrhizal fungi to improve nutrient uptake and biomass of sorghum bicolor linn. *Agriculture and Natural Resources*, 50(3), 173–178.
- Noval-Pons, B. M., León-Díaz, O., Martínez-Gallardo, N. A., Pérez-Ortega, E., y Délano-Frier, J. P. (2017). Patrón de la actividad de las β -1, 3-glucanas y quitinasas en la interacción hma-sistema en tomate. ii fase temprana de la simbiosis. *Cultivos Tropicales*, 38(3), 36–43.
- Pérez, A., y Vertel, M. (2010). Evaluación de la colonización de micorrizas arbusculares en pasto bothriochloa pertusa (l) a. camus. *Revista MVZ Córdoba*.
- Pérez-Luna, Y. d. C., Álvarez-Solís, J. D., Mendoza-Vega, J., Pat-Fernández, J. M., Gómez-Álvarez, R., y Cuevas, L. (2012). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en maíz con cultivo de cobertura y biofertilizantes en chiapas, méxico. *Gayana. Botánica*, 69(1), 46–56.
- Pérez Ortega, E., de la Noval, B. M., Martínez Coca, B., Torres de la Noval, W., Medina Carmona, A., Hernández, A., y León, O. (2015). Inducción de mecanismos de defensa en plantas de tomate (solanum lycopersicon l.) micorrizadas frente al ataque de oidiopsis taurica (lev.) salm. *Cultivos Tropicales*, 36(1), 98–106.
- Prieto-Benavides, O. O., Belezaca-Pinargote, C. E., Mora-Silva, W. F., Garcés-Fiallos, F. R., Sabando-Ávila, F. A., y Cedeño-Loja, P. E. (2012). Identificación de hongos micorrizógenos arbusculares en sistemas agroforestales con cacao en el trópico húmedo ecuatoriano. *Agron Mesoam*, 23(2), 233–239.
- Quiñones-Aguilar, E. E., López-Pérez, L., Hernández-Acosta, E., Ferrera-Cerrato, R., y Rincón-Enríquez, G. (2014). Simbiosis micorrizica arbuscular y fuentes de materia orgánica en el crecimiento de carica papaya l. *Interciencia*, 39(3), 198–204.
- Ramírez Gil, J. G., Castañeda Sánchez, D. A., y Morales Osorio, J. G. (2013). Dinámica microbiana del suelo asociada a diferentes estrategias de manejo de phytophthora cinnamomi rands en aguacate. *Revista Ceres*, 60(6), 811–819.
- Ruiz, P. O., Rojas, K. C., y Sieverding, E. (2011). La distribución geográfica de los hongos de micorriza arbuscular: una prioridad de investigación en la amazonía peruana. *Espacio y Desarrollo*(23), 47–63.
- Salgado García, S., Castelán Estrada, M., Jiménez Jerónimo, R., Gómez Leyva, J. F., y Osorio Miranda, M. (2014). Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en suelos cultivados con caña de azúcar en la región de la chontalpa, tabasco. *Revista mexicana de micología*, 40, 7–16.
- Sánchez, M. R., Baños, Y. S., Hernández, Y. M., Martínez, A. Y., Benitez, M., Bharat, B. V., y Chávez, Y. P. (2015). Simbiosis de micorrizas arbusculares en plantas de arroz (oryza sativa l.) en condiciones de inundación y secano. *Acta Agronómica*, 64(3), 227–233.
- Sangabriel-Conde, W., Trejo-Aguilar, D., Soto-Estrada, A., Alvarado-Castillo, G., y cols. (2017). Diversity and functionality of arbuscular mycorrhizal fungi in carica papaya l. plantations with different agronomic management. *Agroproductividad*, 10(9), 90–94.
- Singh, R., Adholeya, A., y Mukerji, K. (2000). Mycorrhiza in control of soil borne pathogens. En *Mycorrhizal biology* (pp. 173–196). Springer.
- Terry-Alfonso, E., Ruiz-Padrón, J., y Carrillo-Sosa, Y. (2018). Effect of different nutritional management on yield and quality of tomato fruits. *Agronomía Mesoamericana*, 29(2), 389–401.
- Torres-Arias, Y., Fors, R. O., Nobre, C., Gómez, E. F., y Berbara, R. L. L. (2017). Production of native arbuscular mycorrhizal fungi inoculum under different environmental conditions. *brazilian journal of microbiology*, 48(1), 87–94.
- Trouvelot, A., Kough, J., y Gianinazzi-Pearson, V. (1986). Evaluation of va infection levels in root systems. research for estimation methods having a functional significance. *Physiological and genetical aspects of Mycorrhizae*, 217–221.
- Urgiles, N., Haug, I., Setaro, S., y Aguirre, N. (2016). Introduction to mycorrhizas in the tropics with emphasis on the montane forest in southern ecuador. *Universidad Nacional de Loja. Ecuador*.
- Urgiles, N., Strauß, A., Loján, P., y Schüßler, A. (2014). Cultured arbuscular mycorrhizal fungi and native soil inocula improve seedling development of two pioneer trees in the andean region. *New forests*, 45(6), 859–874.