

Caracterización de Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) en fincas productoras de cacao en Vinces-Ecuador.

Characterization of Arbuscular Mycorrhizal Fungi (AMF) in cocoa producing farms in Vinces-Ecuador.

Milton Senen Barcos-Arías¹ ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0863-6778>
Elías Nelson Villasagua Miño^{2*} ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4071-485X>
Andy Fabricio Mora Gonzalez³ ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5638-6326>
Angela María Reyes Láinez⁴ ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8283-1194>
Luis Damiani Sánchez Campoverde¹ ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6474-5828>

¹Universidad de Guayaquil. Facultad de Ciencias Agrarias. Av. Las aguas y Av. Juan Tanca Marengo, Guayaquil, Ecuador

²ADAMA Andina B.V. Puerto Santa Ana, Edificio The Point, 5to piso, oficina 506.

³TRAVISER S.A. Av. Leopoldo Carrera, Edif. Olivos Bussines Center Piso 1, oficina 104

⁴Universidad Estatal Península de Santa Elena. Facultad de Ciencias del Mar. Ciudadela Universitaria vía La Libertad -Santa Elena, Ecuador.

***Autor correspondencia:** eliasvillasagua@gmail.com

Recibido: 15 julio 2024 **Aprobado:** 20 noviembre 2024

Publicado: 31 diciembre 2024

RESUMEN

El suelo cacaotero en el Ecuador alberga una biodiversidad de microorganismos benéficos que aún no han sido estudiados; tales como, los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) que a través de la simbiosis mutualista tienen una estrecha relación en la adaptación y desarrollo del cultivo de cacao. El objetivo de esta investigación fue aislar e identificar la presencia de HMA en tres fincas productoras de cacao orgánico bajo sistema agroforestal y una finca de manejo convencional o química en plantas entre rangos de 1-10 y 11-20 años de edad,

provenientes del cantón Vinces-Ecuador. Se recolectaron muestras de suelo para determinar parámetros físicos-químicos como textura, humedad de suelo, pH, contenido de fósforo, además del contenido de esporas y la caracterización morfológica de HMA; a su vez, se tomaron muestras de raíces para determinar el porcentaje de micorrización. Los resultados demuestran que las plantas entre 1-10 años de edad de la finca I presentaron mejores resultados con 80,7% del porcentaje de micorrización y 159 esporas en 100 g de suelo; mientras que, la finca IV, en plantas de 1-10 años de edad, presentaron los menores valores con



36,0% de porcentaje de micorrización y 37 esporas en 100 g de suelo; no obstante, la clase textural del suelo, pH y nivel de fósforo de las cuatro fincas fueron similares. Se identificaron a nivel de esporas de HMA los géneros *Acaulospora*, *Claroideoglossum*, *Funneliformis* y *Pacispora*. Concluyendo que la diversidad de HMA en el suelo puede ser favorecida bajo sistemas agroforestales asociadas al cultivo de cacao.

Palabras claves: Cacao, micorrización, rizósfera, simbiosis.

ABSTRACT

The cocoa soil in Ecuador harbors a biodiversity of beneficial microorganisms that have not yet been studied; such as, the arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) that through the mutualist symbiosis have a close relationship in the adaptation and development of the cocoa crop. The objective of this research was to isolate and identify the presence of AMF in three farms producing organic cocoa under an agroforestry system and farm with conventional or chemical management in plants between 1-10 and 11-20 years of age from the canton of Vinces-Ecuador. Soil samples were collected to determine physical-chemical parameters such as texture, soil moisture, pH, phosphorus content, in addition to the spore content and the morphological characterization of AMF; In turn, root samples were taken to determine the percentage of mycorrhization. The results show that the plants between 1-10 years of age of the farm

I presented better results with 80.7% of the percentage of mycorrhization and 159 spores in 100 g of soil; whereas, farm IV, in plants of 1-10 years of age, presented the lowest values with 36.0% percentage of mycorrhization and 37 spores in 100 g of soil; however, the textural class of the soil, pH and phosphorus level of the four farms were similar. The genera *Acaulospora*, *Claroideoglossum*, *Funneliformis* and *Pacispora* were identified at the AMF spore level. Concluding that the diversity of AMF in the soil can be favored under agroforestry systems associated with the cultivation of cocoa.

Keywords: Cocoa, mycorrhization, rhizosphere, symbiosis.

Introducción

Durante más de un siglo el cacao (*Theobroma cacao* L.) ha sido uno de los cultivos de mayor importancia económica en el Ecuador, siendo la provincia de Los Ríos, una de las más productoras, donde suele ser el ingreso económico principal de muchas familias (Carranza *et al.*, 2020).

En Ecuador, el cacao es considerado símbolo del país. Su importancia, en décadas anteriores, fue tal, que llegó a ser la principal fuente de generación económica y social del país, mientras que, actualmente, está dentro de los tres países más productores a nivel mundial, con una proyección de subir hasta el segundo lugar, superando a Ghana en 2024 (García, Pico y Jaimez, 2021; Paredes, *et al.*, 2021; ANECACAO 2024).



ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria RECOA

Este cultivo es uno de los más adaptados a las condiciones climáticas de la región amazónica ecuatoriana, donde su fruto, es utilizado como materia prima para la exportación y elaboración de chocolate de empresas reconocidas a nivel local e internacional (Paredes, *et al.*, 2022).

Los cultivos transitorios provocan una pérdida acelerada de macro y micronutrientes, lo que lleva a la dependencia de insumos agrícolas (Paredes, *et al.*, 2021). Las prácticas agrícolas convencionales a gran escala, por lo general, dependen en gran medida de los insumos fertilizantes químicos, mientras que se pasa por alto, el gran papel que cumplen los microbiomas en distintos aspectos, como la absorción de agua y nutrientes del suelo por parte de las plantas (Busayo, *et al.*, 2022).

Sin embargo, en la rizosfera de las plantas de cacao existe una diversidad de microorganismos benéficos que intervienen en la absorción de agua, nutrientes, producción de reguladores de crecimiento e incluso en la protección contra enfermedades de forma natural (Utomo *et al.*, 2016).

Esto se da a través del proceso conocido como simbiosis, donde se encuentran los Hongos Micorrízicos Arbusculares (HMA) asociados a las raíces de las plantas de cacao, siendo estos, un componente esencial de los ecosistemas naturales y agrícolas, debido a que pueden colonizar las raíces de la mayoría de las plantas, considerándose así, como factores

importantes para mejorar los procesos fisiológicos de la planta huésped (Runzhi, *et al.*, 2020; Pacheco *et al.*, 2022).

La simbiosis de los HMA en plantas de cacao demuestra ser beneficiosa para el crecimiento de las plantas, favoreciendo el desarrollo de las mismas, además de un aumento de la biomasa radicular, repercutiendo en una mayor absorción del fósforo y agua del suelo (Cuadros, Gómez y Rodríguez, 2011; Agele *et al.*, 2018).

La principal función de esta asociación simbiótica, es el intercambio de nutrientes; la planta le brinda al hongo carbono que adquirió fotosintéticamente y el hongo ofrece principalmente nitrógeno y fósforo (Carrillo, *et al.*, 2022).

Los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) desempeñan roles importantes en el ciclo de carbono (C), nitrógeno (N) y fósforo (P) en los ecosistemas terrestres (Yunfeng *et al.*, 2022), influyendo también, indirectamente, en la germinación de las semillas e incluso en la defensa de las plantas contra factores como el estrés abiótico y biótico (Naranjo *et al.*, 2022).

En las zonas tropicales las micorrizas arbusculares desempeñan funciones importantes en los ecosistemas naturales y agrícolas. En ambientes naturales los HMA están involucrados en la estructuración de las comunidades microbianas que se desarrollan en la rizosfera de plantas (Cardoso, Nogueira y Zangaro, 2017).

Cuando los suelos son alterados por acción antropogénica pueden existir secuelas en la población de los HMA (Cardoso, Nogueira y Zangaro, 2017; Bertolini *et al.*, 2018); sin



embargo, es importante mencionar que las micorrizas han sobrevivido en los sistemas agroforestales tradicionales durante años, permaneciendo prácticamente en lugares perturbados, cumpliendo igualmente sus funciones, siendo importantes, también, por ejemplo, en la restauración de la vegetación nativa en hábitats perturbados por la conexión de las plantas con sus simbiontes fúngicos (Gooden, Thompson & Francés, 2020).

Según Albornoz *et al.*, 2021, solamente el 1% de las especies vegetales, han sido evaluadas, por lo que el tipo de micorrizas en la mayoría de las plantas solo ha sido inferido. Este desconocimiento de la presencia de las micorrizas arbusculares en los sistemas de producción agrícola, conociendo ya los beneficios de estos hongos, ha ido generando un aumento en las investigaciones con este tipo de asociaciones, especialmente, en zonas tropicales, donde se cree hay mayor presencia de HMA (Pacheco *et al.*, 2022; Álvarez *et al.*, 2021).

En los suelos cacaoteros del cantón Vinces, provincia de Los Ríos no existen reportes sobre la presencia de hongos micorrízicos arbusculares por lo que resulta importante conocer la presencia de las micorrizas en estos suelos; dado que, parte de las zonas cultivas en este cantón, se dedican a la producción de este cultivo. Con los antecedentes antes expuestos, esta investigación se planteó como objetivo de identificar la presencia de HMA en diferentes fincas productoras de cacao en la zona de Vinces, Ecuador.

Materiales y Métodos

2.1 Sitios de muestreo

Las muestras de suelo y raíces fueron recolectadas en el cantón Vinces, provincia de Los Ríos, que posee temperatura promedio de 26 °C, altura de 14 m.s.n.m. y precipitación promedio anual de 1680 mm. Para el estudio se seleccionaron cuatro fincas, tres de estas con nula aplicación de agroquímicos (orgánica) y una convencional o química. Las fincas poseen plantas de cacao CCN-51; en donde, para recolectar las muestras se separaron según su ciclo vegetativo que comprendían entre rangos de 1-10 y 11-20 años de edad, con el fin de conocer si existía una mayor o menor micorrización y concentraciones de esporas, según la edad de las plantas. La finca I está ubicada en la parroquia Antonio Sotomayor (1°38'25" S 79°46'50" O), la finca II en el recinto San Juan de Abajo (1°33'24" S 79°43'10" O), la finca III en el recinto Máximo Guizasola (1°33'29" S 79°44'5" O) y la finca IV convencional o química en el recinto Santa Mariana (1°33'35" S 79°44'7" O).

2.2 Recolección de muestras

Las muestras fueron recolectadas en el mes de mayo del 2017, se tomaron cinco muestras compuestas de suelo y raíces, según el rango de edad establecido. Cada muestra fue tomada a una distancia de 20 cm con respecto al tronco, a una profundidad de 20 cm. Se separó 1 kg de suelo por cada finca, para realizarles un análisis físico-químico, las muestras



restantes fueron utilizadas para realizar el conteo de esporas y porcentaje de micorrización.

2.3 Análisis físico-químico de los suelos estudiados

Se enviaron las muestras de suelo al Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) para conocer sus características físico-químicas. Los parámetros analizados fueron: textura y humedad del suelo, materia orgánica por el método de titulación de Welkeley Black, pH por suspensión del suelo: agua 1:2.5, conductividad eléctrica a través del conductímetro y fósforo por el método Olsen modificado.

2.4 Conteo de esporas de HMA

Se realizó mediante el método de tamizado y decantación en húmedo propuesto por Gerdemann y Nicolson (1963), pesando 100 g de suelo en un vaso precipitado de 1000 mL para luego completarlo con agua, luego se efectuó la decantación por los tamices de 500 µm, 75 µm y 45 µm; esta decantación se realizó tres veces. Lo sedimentado en el tamiz de 45 µm se depositó en tubos falcón de 50 mL para completar con agua hasta los 45 mL. Los tubos falcón pasaron a la centrifuga (modelo Sorvall™ Legend™ XT/XF marca Thermo Scientific™) y dejados por 5 min a 5000 rpm a 28 °C. Se retiró los tubos de la centrifuga para remplazar por 10 mL de Tween 20 y nuevamente llevados a la centrifuga. Posteriormente, se retiró el sobrenadante

para para realizar el conteo de las esporas usando el estereoscopio.

2.5 Tinción de raíces y porcentaje de micorrización

El procedimiento de tinción de raíces se utilizó el propuesto por Phillips y Hayman (1970) modificados por Kormanik *et al.* (1979). Las raíces se lavaron con agua, fueron sumergidas en KOH al 10% durante 24 horas, luego se lavó el KOH de las raíces para sumergirlas en peróxido de hidrogeno por 20 minutos, posteriormente en HCL al 1% por 5 minutos. Pasado el tiempo de estar sumergidas en HCL se agregó azul de tripano al 0,05% en lactoglicerol y se autoclavaron las raíces por 10 min a 121 °C (15 lb de presión). Las raíces fueron colocadas en portaobjetos para determinar el porcentaje de micorrización (% MIC) a través de la fórmula propuesta por McGonigle *et al.* (1990).

$$\% \text{ MIC} = \frac{\text{Número de campos infectados \{Hifas, Vesículas, Arbuscúlos\}}}{(\text{Total de campos observados})} \times 100 \quad (1)$$

2.6 Identificación morfológica de las esporas de hongos micorrízicos arbusculares

El criterio de identificación morfológica de los géneros de HMA se consideró características de color, forma, tamaño, número de paredes o capas que forman la espora y la unión o presencia de hifa suspensoria. Como referencia se usaron las investigaciones de Goto *et al.* (2008), Pereira *et al.* (2015), Pérez-Luna *et al.*

(2016), Sánchez-Roque *et al.* (2016) e INVAM (2017).

2.7 Análisis estadístico

No se utilizó un diseño experimental, se realizó una comparación entre el número de esporas y porcentaje de micorrización de las tres fincas con manejo orgánico y la testigo con manejo convencional. Los datos fueron analizados por el procedimiento estándar de análisis de varianza (ANDEVA) mediante el software estadístico IBM SPSS Statistics versión. La diferencia significativa para la separación de medias de los tratamientos, se realizó por la prueba de Tukey ($p \leq 0,05\%$).

Resultados y Discusión

3.1 Caracterización morfológica de HMA presente en el suelo de las fincas

Las muestras de suelo que se recolectaron de las cuatro fincas, se logró identificar los siguientes géneros y especies de micorizas arbusculares como se muestra en la **Figura 1**. Los géneros encontrados corresponden a *Acaulospora bireticulata*, *Acaulospora excavata*, *Claroideoglossum lamellosum*, *Funneliformis coronatum*, *Funneliformis geosporum* y *Pacispora boliviana*. *Acaulospora bireticulata* fue identificada por el diámetro, que osciló entre los 112,5 μm , además de poseer tres capas, la externa (1 μm), la interna (2,5 μm) y la media (10 μm), sus colores fluctuaron entre amarillo a café claro amarillento (Tomio *et al.*, 2008). Sánchez-Roque *et al.* (2016) encontraron la especie *Acaulospora excavata* en suelos de plantas orgánicas de *Coffea arábica*, esta

especie se caracteriza por presentar un diámetro de 105-112,5 μm , agujeros y ornamentaciones en la superficie de la espora de 7,5 μm de diámetro, una pared con un tamaño de 5 μm y color de las esporas fluctuaron de amarillo ocre a anaranjado claro (Pereira *et al.*, 2015; Pérez-Luna *et al.*, 2016).

Claroideoglossum lamellosum poseía un diámetro de 122,5 μm , presento dos capas visibles que la recubren, una capa externa (5 μm), la capa media (2 μm) y no se pudo observar claramente a la capa interna, por lo que encuentra muy unida a la capa media, característico de esta especie, los colores de las esporas fueron entre crema y amarillo pálido (Jean-Martial *et al.*, 2013; INVAM, 2017). La especie *Funneliformis coronatum* su promedio en el diámetro fue de 95 μm , mostró 2 capas claramente visibles, la capa hialina externa (3 μm) y la capa interna de color amarillo grisáceo (2 μm), características de esta especie; sin embargo, los colores oscilaron de amarillo pálido a café claro (INVAM, 2017), además en estudios con esta especie se ha comprobado que posee la capacidad de producir mayor cantidad de glicoproteína (glomalina) (Sharma *et al.*, 2017).

Funneliformis geosporum presentó un diámetro de 120 μm , la capa externa hialina de 1 μm de grosor, capa media amarillo o naranja de 6 μm y la capa interna amarilla pálida de 1,5 μm , la coloración de las esporas entre amarillo y naranja (INVAM, 2017), en México se ha reportado la presencia de esta especie asociada al cultivo de *Saccharum officinarum* L. en suelo con



pH entre 6,5 a 7,0 (Sanchez-Lizarraga *et al.*, 2017). La especie *Pacispora boliviana* ha sido reportada con la siguientes características de poseer un diámetro entre 80 μm y 107,5 μm , además la capa externa hialina (2 μm), la capa media (4 μm) y la capa interna (2 μm) con colores desde amarillo pálido a una tonalidad de color naranja, la presencia de ornamentaciones y agujeros en la superficie de la espora (Oehl y Sieverding, 2004), similares a la encontrada en este estudio, además ha sido reportadas en zonas de Sudamérica como Bolivia y en Ecuador en suelos provenientes bosques del trópico húmedo con niveles medio de nitrógeno y fósforo (Aragão *et al.*, 2013; Moína-Quimí *et al.*, 2018).

Estos géneros identificados son semejantes a los reportados por Rojas-Mego *et al.* (2014), quienes investigaron la abundancia y diversidad de HMA asociados al cultivo de cacao en tres agroecosistemas de la Amazonía de Perú; en donde, las especies pertenecían a los géneros *Acaulospora*, *Claroideoglossum*, *Ambispora*, *Glomus* y *Archeospora*.

Moína-Quimí *et al.* (2018), reportaron la presencia de micorrizas arbusculares en zonas del trópico húmedo del Ecuador del género *Acaulospora*, *Ambispora*, *Claroideoglossum*, *Diversispora*, *Funneliformis*, *Glomus* y *Pacispora*, en plantas de cacao (*Theobroma cacao*), banano (*Musa spp.*) y niguito (*Muntingia calabura*), estos géneros reportados son similares a los encontrados en las cuatro fincas del cantón Vinces asociados a las plantas de cacao. En este contexto, Lacatela

et al. (2017), en suelo del cantón Babahoyo de la provincia de Los Ríos en plantas de cacao CCN-51, observaron la presencia los géneros *Acaulospora mellea*, *Glomus mosseae*, *Glomus fasciculatum* y *Gigaspora gigantea* bajo sistema agroforestales.

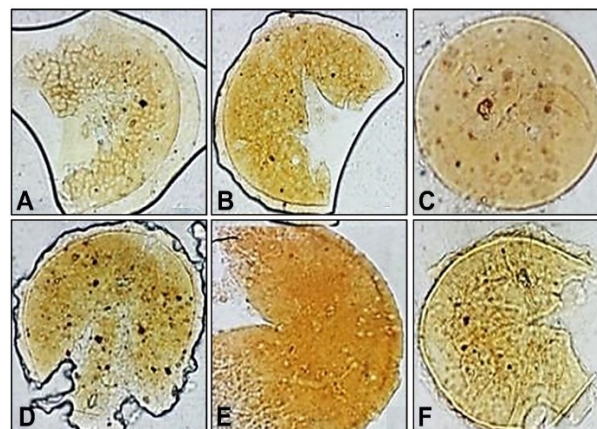


Figura 1. Esporas de hongos micorrízicos arbusculares observadas a 100x. A: *Acaulospora bireticulata*; B: *Acaulospora excavata*; C: *Claroideoglossum lamellosum*; D: *Funneliformis coronatum*; E: *Funneliformis geosporum*; F: *Pacispora boliviana*.

3.2 Cantidad de esporas de HMA presentes en las fincas

Las concentraciones de esporas en la finca I en los rangos de edad entre 1-10 y 11-20 presentaron una mayor concentración de 165 y 152 esporas/100 g de suelo respectivamente, como se observa en la **Figura 2**, presentando diferencia estadística significativa en comparación a la finca IV que se realiza su producción de manera convencional. Las concentraciones de esporas en la finca I se deben posiblemente a la diversidad de especies asociadas a las

plantas de cacao, encontrando especies de frutales como naranja (*Citrus sinensis*), zapote (*Quararibea cordata*), banano (*Musa paradisiaca*), aguacate (*Persea americana*) y mamey (*Mammea americana*), especies maderables como guachapelí (*Albizia guachapele*), caña guadua (*Indian thorny bamboo*) y palo prieto (*Erythrina glauca*); mientras que, en la finca II y III las especies asociadas al cultivo de cacao se encontraban naranja (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus limon*), banano (*Musa paradisiaca*) y palo prieto (*Erythrina glauca*).

Prieto-Benavides *et al.* (2012) observaron altas concentraciones de esporas en suelos provenientes de cultivos de cacao asociados a cultivos de especies frutales y maderables, por lo que manifiestan que la diversidad y cantidad de esporas se encuentra relacionado a la biodiversidad de especies vegetales; en este contexto, Meza *et al.* (2017) observaron mayores concentraciones de esporas por gramo de suelo en plantaciones de melina (*Gmelina arborea*) asociadas a un sistema agroforestal. Por lo tanto, las concentraciones de esporas de HMA en zonas con diversidad de especies vegetales pueden incluso considerarse como indicadores de deficiencia o valores altos de las propiedades físicas y químicas del suelo (Sousa *et al.*, 2018).

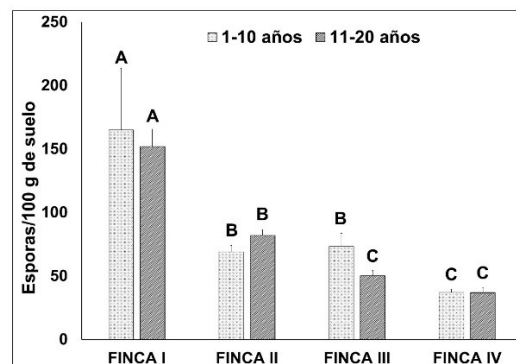


Figura 2. Concentraciones de esporas por finca según su rango de edad; valores promedios de cinco replicas; letras distintas sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas según test de Tukey ($p < 0,05$); \pm error experimental.

3.3 Porcentajes de micorrización

El mayor porcentaje de micorrización se observó en la finca I para las plantas de cacao con edad entre 1-10 y 11-20 años, presentando valores de 80,3 y 79,3% respectivamente, como se observa en la **Figura 3-4**, encontrando diferencia estadística significativa entre las fincas en estudio. Por otra parte, la finca IV en plantas con edad de 1-10 y 11-20 años presentaron menor porcentaje de micorrización de 26,0 y 48,7% respectivamente. El elevado porcentaje de micorrización de la finca I no se ve afectada por la edad de las plantas; dado que, se obtuvieron cercanos porcentajes de micorrización; además que, ambas plantaciones mantenían su agroecosistema de especies vegetales (Prieto-Benavides *et al.*, 2012); en este contexto, Meza *et al.* (2017) obtuvieron altos porcentaje de micorrización en plantas de *Gmelina arborea* en edad de 1 año; sin

embargo, al realizar un evaluación a los 3 años observaron que el porcentaje disminuyó, atribuyéndole esta reducción a la pérdida de las especies vegetales que se encontraban en el primer año del establecimiento de la plantación.

Lara-Pérez *et al.* (2014) indican que un suelo proveniente de ecosistemas tropicales, la población e infección micorrízica es mayor, por tal manera, se presume que la alta micorrización en la finca I se presenta por el agroecosistema forestal en el que se encuentran las plantas de cacao.

La baja micorrización en la finca IV posiblemente se produce por la reiterada fertilización con alto contenido de fósforo; dado que, las HMA no realizan su efectiva simbiosis con las plantas, repercutiendo en una baja reproducción y colonización micorrización (Ova *et al.*, 2015; Frater *et al.*, 2017; Mai *et al.*, 2018), además, otro factor que se relaciona a la baja micorrización es la aplicación de fungicidas, así lo reportan Wang *et al.* (2018) al observar que aplicando Benomil en pruebas de campo y laboratorio, disminuyó la micorrización y concentraciones de esporas.

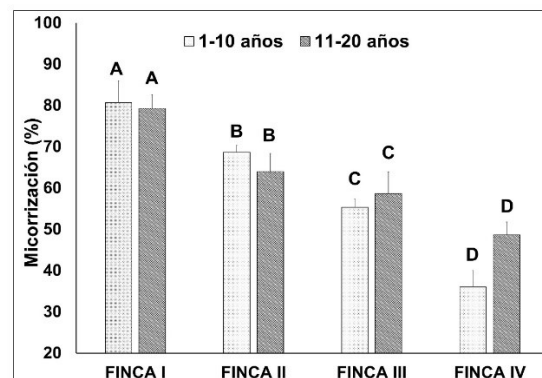


Figura 3. Micorrización de las fincas según su rango de edad; valores promedios de cinco réplicas; letras distintas sobre las barras indican diferencias estadísticas significativas según test de Tukey ($p < 0.05$); \pm error experimental.

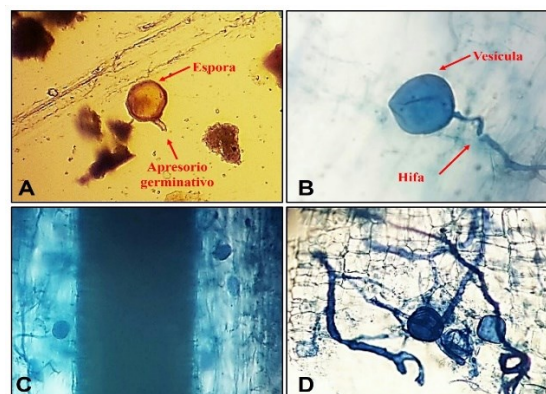


Figura 4. Estructura de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) observadas con el campo de 40x. A: Espora con una parte de su hifa de sustentación o apresorio germinativo; B-C-D: Vesículas e hifas.

3.4 Parámetros físicos-químicos del suelo en la concentración de spora y micorrización

El suelo de las fincas en el análisis físico de suelo, demuestran que las cuatro fincas

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria RECOA

poseen una textura franco limoso, ideales para el desarrollo del cultivo de cacao, además, son propicios para otorgar una mayor colonización y esporulación de las micorrizas arbusculares (Lacatela *et al.*, 2017). El pH del suelo de las cuatro fincas en estudio, se encontraban entre rangos de 5,4 a 5,8 (medianamente ácido); por lo que, se puede mencionar que el pH del suelo no influyó en las concentraciones de esporas y micorrización de las fincas; dado que, se encontraban en rangos cercanos (**Figura 5-6**); no obstante, en otros estudios con HMA se ha demostrado que poseen la capacidad de tolerar un bajo y alto pH, según el género de micorriza (Carrino-Kyker *et al.*, 2017; Wang *et al.*, 2017); en este contexto, Rojas-Mego *et al.* (2014) encontraron mayor abundancia de esporas en fincas de cacao bajo sistema de cobertura utilizando *Pueraria phaseoloides* con un suelo de 4,6 de pH con una textura franco.

La conductividad eléctrica (C.E.) en las cuatro fincas, demuestran que no son suelos salinos por lo que se encuentran en valores entre 0.35 y 0.96 dS/m (**Figura 5-6**); sin embargo, el mayor valor de C.E. se presentó en la finca I; mientras que, la finca IV presento el menor valor, por lo tanto, es importante mencionar que la C.E. y el pH en este trabajo no fueron factores que influyeron en las concentraciones de esporas y micorrización; dado que, en otros trabajos se ha demostrado que en plantas de arroz inoculadas con micorrizas sometidas a estrés salino, otorgan que las plantas produzcan una mayor producción fotoquímica para la fijación del CO₂,

optimizando el uso de la energía solar en sus procesos fotosintéticos, aumentando así la tolerancia a la salinidad de la planta. Por otro lado, en los tejidos vegetales aéreos, los HMA intervienen en la extrusión de Na⁺ del citoplasma, secuestrándolo en la vacuola (Estrada *et al.*, 2013; Porcel *et al.*, 2016; Ruiz-Lozano *et al.*, 2018).

La finca I y II presentaron una mayor micorrización y concentración de esporas en los rangos de edad de 1-10 y 11-20 años, por lo que se presume que el alto contenido de materia orgánica (M.O.) de 5,5 y 5,1 % respectivamente (**Figura 5-6**) favoreció la colonización micorrízica. Por otra parte, es importante mencionar que alto contenido de M.O. en el suelo está relacionado a la presencia de las otras especies asociadas a la finca; dado que, al producirse el desprendimiento de las hojas se acumulan en el suelo produciendo un efecto de acondicionamiento para el desarrollo de los macro y microorganismos benéficos, así otorgando un mejor desarrollo de las plantas (Rojas-Mego *et al.*, 2014; Verzeaux *et al.*, 2017).

Las cuatro fincas presentaron un nivel óptimo de fósforo que oscila entre los 62 y 75 ppm; sin embargo, este factor químico del suelo al parecer no fue un factor limitante en la producción de esporas y la colonización de las raíces de las plantas de cacao, pues a medida que el nivel de fósforo aumenta, estos parámetros no se ven afectados, además la finca I presentó una mayor micorrización y concentración de esporas aunque existiera una mayor cantidad de fósforo de 75 ppm; mientras



que la finca IV su concentración de fósforo reportada se encontró en 62 ppm (**Figura 5**). La mejor micorrización se presentó en la finca I en los rangos de edad 1-10 y 11-20 años en donde presentaron 80,3 y 79,3 % respectivamente, además que su contenido de fósforo en el suelo se encuentra en 75 ppm, por lo que se concreta que la micorrización en cacao en presencia de 75 ppm de fosforo no es un factor limitante para el desarrollo e infección de los HMA; en este contexto, Bañuelos *et al.* (2017) observaron en plantas de *Persea Americana* que la colonización micorrízica disminuye a partir de una concentración de 80 ppm; mientras que, a concentraciones de 20 ppm la micorrización fue de 78.3 %.

La finca IV proviene de un manejo convencional o químico, por lo que se especula que la baja esporulación y colonización de los HMA, se debe a la aplicación de fungicidas para el control de enfermedades de cacao; por ende, es menor la población de estos microorganismos, en cambio, en las otras fincas ocurre lo contrario por lo que la aplicación de fungicidas no se considera para el control de enfermedades, además el contenido de fósforo, pH, conductividad eléctrica y materia orgánica del suelo de las cuatro fincas se encuentra en valores cercanos por lo que se difiere plenamente que el contenido de esporas y micorrización es causada por la aplicación de los fungicidas. En este contexto, Atens SL (2016), nos muestra una tabla con ingredientes activos que afectan el normal desarrollo de las micorrizas, entre los que se encuentra

Propiconazole, Fosetil de aluminio y Mancozeb, que suelen ser usados por los agricultores cacaoteros para control de hongos, disminuyendo así, la micorrización y concentraciones de esporas de HMA. Así mismo, Henning *et al.* (2018) comprobaron que la aplicación de fuentes de fertilizantes a base de nitrógeno más la aplicación fungicidas durante 4 años redujeron la riqueza de HMA, cambiando los patrones de esporulación e incluso redujeron la diversidad y la productividad en las comunidades vegetales.

En otras investigaciones se comprobó que el manejo de un suelo con labranza convencional la concentración de esporas disminuye, en comparación a un suelo de labranza cero que la población es mayor de los HMA (Bainard *et al.*, 2017; Souza *et al.*, 2017). La ausencia de especies asociadas al cultivo de cacao en la finca IV posiblemente sería otra causa para la baja esporulación y micorrización (Meza *et al.*, 2017; Sousa *et al.*, 2018).

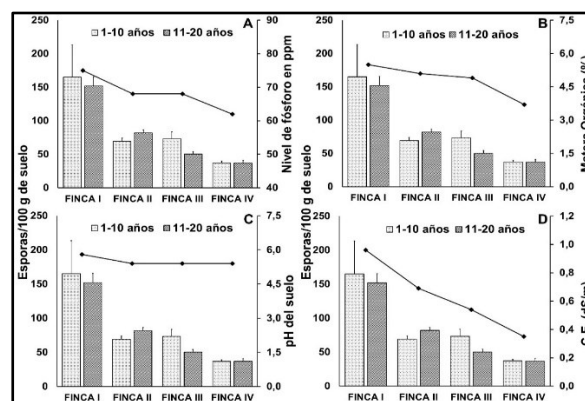


Figura 5. Concentraciones de esporas por finca según su rango de edad y su relación con factores químicos del suelo. A: Contenido de fósforo; B: Materia orgánica;

C: pH del suelo; D: Conductividad eléctrica. Valores promedios de cinco replicas; \pm error experimental.

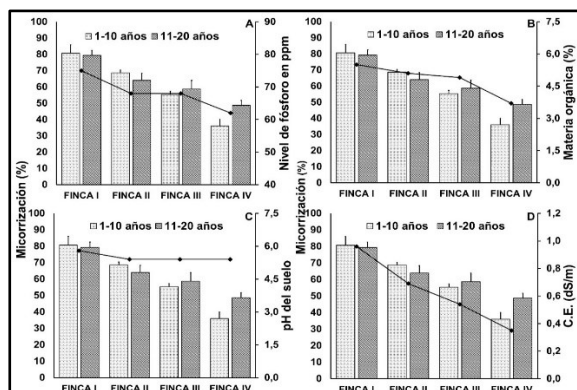


Figura 6. Micorrización por finca según su rango de edad y relación con factores químicos del suelo. A: Contenido de fósforo; B: Materia orgánica; C: pH del suelo; D: Conductividad eléctrica. Valores promedios de cinco replicas; \pm error experimental.

Conclusiones

La edad de una plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.) no es un factor limitante en la micorrización y contenido de esporas de las micorrizas arbusculares, además los factores físicos y químicos del suelo son óptimos para el desarrollo de las especies reportadas en este estudio de micorrizas *Acaulospora boreticulata*, *Acaulospora excavata*, *Claroideoglossum lamellosum*, *Funneliformis coronatum*, *Funneliformis geosporum* y *Pacispora boliviensis*; no obstante, el manejo convencional o químico de las plantaciones de cacao al parecer es un limitante en el desarrollo de los HMA en la esporulación y

micorrización en comparación a las fincas orgánicas; sin embargo, es indispensable destacar que el acompañamiento de especies forestales y cultivos de frutales asociadas al cultivo de cacao de manejo orgánico intervienen en la presencia de las micorrizas arbusculares.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de interés.

Contribución de los autores

Elías Villasagua participó en la recolección de los datos de cada variable y en la revisión bibliográfica. Milton Barcos Arias y Andy Mora González participaron en el diseño de la investigación, análisis e interpretación de los datos, preparación y edición del manuscrito. Angela María Reyes Laínez, Luis Damiani Sánchez Campoverde participaron en la revisión del contenido del manuscrito.

Referencias

- Agele, S., Aiyelari, P., Famuwagun, B., Adegboye, J. y Oyeneyin, E. 2018. Effects of Watering Regime and Mycorrhizal Inoculation on Seedling Growth and Drought Tolerant Traits of Cocoa (*Theobroma cacao* L.) Varieties. *International Journal of Horticulture*. 8(13):147-162. Doi:10.5376/ijh.2018.08.0013
- Albornoz, F. E., K. W. Dixon y H. Lambers. 2021. Revisiting mycorrhizal dogmas: Are mycorrhizas really functioning as they are widely believed to do? *Soil*

- Ecology Letters 3(1): 73- 82. Doi: <https://doi.org/10.1007/s42832-020-0070-2>
- Álvarez-Manjarrez, J., A. U. Solís Rodríguez, J. L. Villarruel-Ordaz, M. del P. Ortega-Larrocea y R. Garibay-Orijel. 2021. Micorrizas del bosque tropical caducifolio y otras simbiosis fúngicas. Acta Botánica Mexicana 128: e1906. Doi: <https://doi.org/10.21829/abm128.2021.1906>
- ANECACAO. 2024. Asociación Nacional de Exportadores de Cacao e Industrializados del Ecuador. Obtenido de Edición No. 27: [en línea] disponible en: <http://www.anecacao.com>
- Aragão, C., Alves, G., Magna, D., Souza, J., Carena, A., Carneiro, M., Oehl, F. 2013. *Paraglomus pernambucanum* sp. nov. and *Paraglomus bolivianum* comb. nov., and biogeographic distribution of *Paraglomus* and *Pacispora*. Journal of Applied Botany and Food Quality. 86(1):113-125. Doi:10.5073/JABFQ.2013.086.016
- Atens SL. 2016. Agrotecnologías Naturales. Obtenido de: Tabla de compatibilidades entre micorrizas y pesticidas: [en línea] disponible en: <https://www.atens.com/es/>
- Bainard, L., Chagnon, P., Cade-Menun, B., Lamb, E., LaForge, K., Schellenberg, M. y Hamel, C. 2017. Plant communities and soil properties mediate agricultural land use impacts on arbuscular mycorrhizal fungi in the Mixed Prairie ecoregion of the North American Great Plains. Agriculture. Ecosystems and Environment. 249(1):187-195. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.08.010>
- Bañuelos, J., Sangabriel, C., Gavito, M., Trejo, D., Camara, S., Medel, R. y Cerreon, Y. 2017. Efecto de diferentes niveles de fósforo en aguacate (*Persea americana*) inoculado con hongos micorrízicos arbusculares. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. 8(7):1509-1520. Doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i7.507>
- Bertolini, V., Montaña, N., Sanchez, E., Fregoso, L., Ruiz, J. y Martínez, J. 2018. Abundancia y riqueza de hongos micorrizógena arbusculares en cafetales de Soconusco, Chiapas, México. Biología Tropical. 66(1):91-105.
- Busayo, J., Jing, Li., Claire, E., Yong, Z., Yong-Long, W, Hui-Yun, G., Xing-Chun, L., Cong, W., Catharine, A., Cheng, G, Liang-Dong, G. 2022. Nitrogen fertilisation disrupts the temporal dynamics of arbuscular mycorrhizal fungal hyphae but not spore density and community composition in a wheat field". Doi: <https://doi.org/10.1111/nph.18043>
- Cardoso, E., Nogueira, M. A. y Zangaro, W. 2017. Importance of Mycorrhizae in Tropical Soils. En J. Azevedo, & M.



- Quecine (Edits.), Diversity and Benefits of Microorganisms from the Tropics (págs. 245-267). Springer, Cham. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-55804-2_11
- Carranza, Q., Angulo, M, Cedeño, G., Prado, Y. 2020. “Evaluación socioeconómica del cultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la zona norte de la Provincia de los Ríos”. Doi: <https://doi.org/10.37956/jbes.v4i2.79>
- Carrillo-Saucedo, S., Puente-Rivera, J., Montes-Recinas, S., & Cruz-Ortega, R. 2022. Las micorrizas como una herramienta para la restauración ecológica. Acta Botánica Mexicana, (129), e1932. Doi: <https://doi.org/10.21829/abm129.2022.1932>
- Carrino-Kyker, S., Kluber, L., Coyle, K. y Burke, D. 2017. Detection of phosphate transporter genes from arbuscular mycorrhizal fungi in mature tree roots under experimental soil pH manipulation. Simbiosis. 72(2):123-133. Doi:10.1007/s13199-016-0448-1
- Cuadros, G. A., Gómez, R. y Rodríguez, N. F. 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 Ciencia y Tecnología Agropecuaria. 12(1):77-85.
- Estrada, B., Aroca, R., Maathuis, F., Barea, J. y Ruiz-Lozano, J. 2013. Arbuscular mycorrhizal fungi native from a mediterranean saline area enhance maize tolerance to salinity through improved ion homeostasis. Plant, Cell & Environment. 36(10):1771-1782. Doi: <https://doi.org/10.1111/pce.12082>
- Frater, P., Borer, E., Fay, P., Jin, V., Knaeble, B., Seabloom, E., Harpole, W. 2017. Nutrients and environment influence arbuscular mycorrhizal colonization both independently and interactively in *Schizachyrium scoparium*. Plant and Soil. 425(2):493-506. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3597-6>
- García-Briones, Ana R., Pico-Pico, Bryan F., & Jaimez, Ramón. 2021. La cadena de producción del cacao en Ecuador: Resiliencia en los diferentes actores de la producción. Revista Digital Novasinergia, 4(2), 152-172. Doi: <https://doi.org/10.37135/ns.01.08.10>
- Gerdemann, J. y Nicolson, T. 1963. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting, transactions of the British. Mycological Society. 46:235-244. Doi: S0007-1536(63)80079-0.
- Goto, B., Moreira, M., Mui, S., Nogueira, E. y Costa, L. 2008. Notas sobre *Acaulospora bireticulata* Rothwell & Trappe e primeiro registro de *Acaulospora koskei* Blask para o Brasil. Acta Botanica Brasilica. 22(2):583-587. Doi:



<https://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062008000200025>

Henning, J., Weiher, E., Lee, T., Freund, D., Stefanski, A. y Bentivenga, S. 2018. Mycorrhizal fungal spore community structure in a manipulated prairie. *Journal of the Society for Ecological Restoration*. 26(1):124-133. Doi: <https://doi.org/10.1111/rec.12548>

INVAM. 2017. International Culture Collection of (Vesicular) Arbuscular Mycorrhizal Fungi: [en línea] disponible en: [http://fungi.invam.wvu.edu/thefungi/classification/claroideoglomeraceae/c-laroideoglomeraceae/lamellosum.html](http://fungi.invam.wvu.edu/thefungi/classification/claroideoglomeraceae/claroideoglomeraceae/c-laroideoglomeraceae/lamellosum.html)

Jean-Martial, J., Pascal, H., Abaubacry, K., Kadidia, B. y Neyra, M. 2013. Diversity patterns of indigenous arbuscular mycorrhizal fungi associated with rhizosphere of cowpea (*Vigna unguiculata* L. Walp.) in Benin, West Africa. *Pedobiologia-International Journal of Soil Biology*. 56(3):121-128. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.pedobi.2013.03.003>

Kormanik, P., Bryan, W. y Schults, R. 1979. Endomycorrhizal inoculation during transplanting improves growth of vegetatively propagated yellow poplar. *Plant Propagator*. 23(1):4-5.

Lacatela, W., Colina, E., Castro, C., Santana, D., León, J., García, G., Vera, M. 2017. Efectos De La Fertilización Nitrogenada Y Fosfatada Sobre Poblaciones De Micorrizas Asociadas

Al Cultivo de Cacao. *European Scientific Journal*. 13(6):464-479. Doi:10.19044/esj.2017.v13n6p464

Lara-Pérez, L., Noa-Carranza, J., Landa, Á., Hernández-Gonzalez, S., Oros-Ortega, I. y Andrade, A. 2014. Colonización y estructura de la comunidad de hongos micorrízicos arbusculares en *Alsophila firma* (Cyatheaceae) en bosque mesófilo de montaña en Veracruz, México. *Revista de Biología Tropical*. 62(4):1609-1623.

Mai, W., Xue, X., Feng, G., Yang, R. y Tian, C. 2018. Can optimization of phosphorus input lead to high productivity and high phosphorus use efficiency of cotton through maximization of root/mycorrhizal efficiency in phosphorus acquisition. *Field Crops Research*. 216:100-108. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.11.017>

McGonigle, T., Miller, M., Evans, D. y Fai. 1990. A new method which gives an objective measure of colonization of roots by vesicular—arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*. 115(3), 495-501.

Meza, F., Díaz, E., Escobar, T., Belezaca, C., Cachipundo, J., Meza, G., Cabrera, R. 2017. Identificación de Hongos Micorrízicos en Plantaciones de Melina (*Gmelina arborea* Roxb) en el Trópico Húmedo Ecuatoriano. *Revista de investigaciones veterinarias del Perú*. 28(4):969-975.



- Doi:<http://dx.doi.org/10.15381/rivep.v28i4.13883>
- Moína-Quimí, E., Oviedo-Anchundia, R., Nieto-Barcelona, S., Herrera-Samaniego, P., y Barcos-Arias, M. 2018. Evaluación de los Hongos Micorrízicos Arbusculares de zonas del trópico húmedo del Ecuador. *Bionatura*. 3(1):1-13. Doi: <http://dx.doi.org/10.21931/RB/2018.03.01.9>
- Naranjo, J., Mora, A., Moína, E., Ruíz, O., Alvarado, O., Calle, P., Flores, J., Oviedo, J y Barcos-Arias, M. 2022. Comportamiento en la absorción de Na y pb en plantas de cucurbitáceas e inoculación de micorrizas arbusculares nativas en especie tolerante y susceptible. *Rev. Int. Contam. Ambie.* 38, 587-601. <https://doi.org/10.20937/RICA.54023>
- Oehl, F. y Sieverding, E. 2004. *Pacispora*, un nuevo género de hongos micorrízicos arbusculares vesiculares en Glomeromycetes. *Journal of Applied Botany*. 78:78-82.
- Ova, E., Kutman, U., Ozturk, L. y Cakmak, L. 2015. High phosphorus supply reduced zinc concentration of wheat in native soil but not in autoclaved soil or nutrient solution. *Plant and Soil*. 393(2):147-162. Doi: <https://doi.org/10.1007/s11104-015-2483-8>
- Pacheco, A., Naranjo, J., Reyes, G., Oviedo, J., Ratti, M., Barcos, M. 2022. Discovering the Diversity of Arbuscular Mycorrhizal Fungi Associated with Two Cultivation Practices of *Theobroma cacao*. *Diversity*. 14, 651. <https://doi.org/10.3390/d14080651>
- Paredes-Andrade, N., Monteros-Altamirano, A., Paredes-Tapia A., Caicedo-Vargas, C., Lima Tandazo, L. 2021. Restauración de áreas agrícolas degradadas a través de sistemas agroforestales de cacao en Amazonía Ecuatoriana. Doi 10.35381/cm.v7i1.486
- Paredes, N.; Monteros-Altamirano, Á.; Lima, L.; Caicedo, C.; Bastidas, S.; Tinoco, L.; Fernández, F.; Vargas, Y.; Pico, J.; Subía, C.; Burbano, A.; Chanaluz, A.; Sotomayor, D.; Díaz, A.; Intriago, J.; Chancosa, C.; Andrade, A.; Enríquez, G. 2022. Manual del cultivo de cacao sostenible para la Amazonía ecuatoriana. 1era Ed. Manual Nro. 125.
- Pereira, C., Goto, B., Da Silva, D., Ferreira, A., De Souza, F., Da Silva, G. y Oehl, F. 2015. *Acaulospora reducta* sp. nov. and *A. excavata* two glomeromycotan fungi with pitted spores from Brazil. *Mycotaxon*. 130(1):983-995. Doi: <http://dx.doi.org/10.5248/130.983>
- Pérez-Luna, Y., Alvarez-Solís, D., Hernández, L. y Sánchez-Roque, Y. 2016. *Acaulospora excavata* (Glomeromycota) in agricultural soils of Chiapas, México. *International Journal of Advance Agricultural Research*. 4(2):6-9.

- Phillips, J. y Hayman, D. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*. 55:158-161.
- Porcel, R., Aroca, R., Azcon, R. y Ruiz-Lozano, J. 2016. Regulation of cation transporter genes by the arbuscular mycorrhizal symbiosis in rice plants subjected to salinity suggests improved salt tolerance due to reduced Na^+ root-to-shoot distribution. *Mycorrhiza*, 26(7):673-684. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00572-016-0704-5>
- Prieto-Benavides, O., Belezaca-Pinargote, C., Mora-Silva, W., Garcés-Fiallos, F., Sabando-Ávila, F. y Cedeño-Loja, P. 2012. Identificación de hongos micorrízicos arbusculares en sistemas agroforestales con cacao en el trópico húmedo ecuatoriano. *Agronomía Mesoamericana*. 23(2):233-239.
- Rojas-Mego, K., Elizarbe-Melgar, C., Gárate-Díaz, M., Ayala-Montejo, M., Ruiz-Cubillas, P. y Sieverding, E. 2014. Hongos de micorriza arbuscular en tres agroecosistemas de cacao (*Theobroma cacao* L.) en la Amazonía Peruana. *Folia Amazónica*. 23(2):149-156. Doi: <https://doi.org/10.24841/fa.v23i2.20>
- Ruiz-Lozano, J. M., Porcel, R., Calvo-Polanco, M. y Aroca, R. 2018. Improvement of Salt Tolerance in Rice Plants by Arbuscular Mycorrhizal Symbiosis. *Root Biology*. 52, 259-279. Doi: https://doi.org/10.1007/978-3-319-75910-4_10
- Runzhi, Z., Yao, M., Xinrui, L., Shumin, L., Ping, S., Xuerong, W., Haolei, W., Ning, Xu. 2020. Response of the arbuscular mycorrhizal fungi diversity and community in maize and soybean rhizosphere soil and roots to intercropping systems with different nitrogen application rates. *Science of The Total Environment*, Volume 740. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.139810>
- Sanchez-Lizarraga, A., Dendooven, L., Marino-Marmolejo, E., Davila-Vazquez, G., Hernández-Cuevas, L., Arena-Montaño, V. y Contreras-Ramos, M. 2017. Presence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in soil regularly irrigated with vinasses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 17(4):1116-1129. Doi: <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-95162017000400020>
- Sánchez-Roque, Y., Pérez-Luna, Y., Becerra-Lucio, A., Alvarez-Gutiérrez, P., Pérez-Luna, E., González-Mendoza, D. y Berrones-Hernández, R. 2016. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi in the development of cultivars of Chili. *International Journal of Advance Agricultural Research*. 4(2):10-15.

ECOAgropecuaria

Revista Científica Ecológica Agropecuaria RECOA

- Sharma, S., Prasad, R., Varma, A. y Kumar, A. 2017. Glycoprotein Associated with *Funneliformis coronatum*, *Gigaspora margarita* and *Acaulospora scrobiculata* Suppress the Plant Pathogens *In vitro*. Asian Journal of Plant Pathology. 11(4):199-202. Doi:10.3923/ajppaj.2017.199.202
- Sousa, N., Veresoglou, S., Oehl, F., Rillig, M. y Maia, L. 2018. Predictors of Arbuscular Mycorrhizal Fungal Communities in the Brazilian Tropical Dry Forest. Microbial Ecology. 75(2):447-458. Doi: <https://doi.org/10.1007/s00248-017-1042-7>
- Souza, J., Oehl, F., Donizete, C., Torres, C., Coyne, D., Alves, D. y Costa, L. 2017. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in the Brazilian's Cerrado and in soybean under conservation and conventional tillage. Applied Soil Ecology. 117:178-189. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2017.04.023>
- Tomio, B., Moreira, M., Mui, S., Jurandir, E., Nogueira, B. y Costa, L. 2008. Notas sobre *Acaulospora bireticulata* Rothwell & Trappe e primeiro registro de *Acaulospora koskei* Blask. para o Brasil. Acta Botanica Brasilica. 22(2):583-587. Doi: <http://dx.doi.org/10.1590/S0102-33062008000200025>
- Utomo, B., Prawoto, A. A., Bonnet, S., Bangviwat, A. y Gheewala, S. H. 2016. Environmental performance of cocoa production from monoculture and agroforestry systems in Indonesia. Journal of Cleaner Production. 134(6):583-591. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.102>
- Verzeaux, J., Hirel, B., Dubois, F., Lea, P. y Tétu, T. 2017. Agricultural practices to improve nitrogen use efficiency through the use of arbuscular mycorrhizae: Basic and agronomic aspects. Plant Science. 264:48-56. Doi: <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2017.08.004>
- Wang, N., Feng, Z., Zhou, Y., Honghui, Z. y Yao, Q. (2017). External hyphae of *Rhizophagus irregularis* DAOM 197198 are less sensitive to low pH than roots in arbuscular mycorrhizae: evidence from axenic culture system. Environmental Microbiology Reports. 9(5):649-657. Doi: <https://doi.org/10.1111/1758-2229.12573>
- Wang, X., Wang, X., Sun, Y., Cheng, Y., Liu, S., Chen, X., Kuyper, T. 2018. Arbuscular mycorrhizal fungi negatively affect nitrogen acquisition and grain yield of maize in a N deficient soil. Frontiers in Microbiology. 9(418). Doi: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2018.00418>

