JOURNAL OF THE Selva Andina Biosphere
Official Journal of the Selva Andina Research Society.

Artículo de Revisión

ISSN 2308-3867 (print edition)
JSAB
ISSN 2308-3859 (online edition)

Experiencias sobre la propagación y efectividad de los hongos micorrizógenos arbusculares en Latinoamérica

Experiences on the propagation and efficacy of arbuscular mycorrhizal fungi in Latin America

Esquivel-Quispe Roberta[1*], Quispe-Ochoa Josue Olser[1], Hernández-Cuevas Laura Verónica[2]

Datos del Artículo

[1] Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga. Unidad de Investigación e Innovación.
Facultad de Ciencias Agrarias.
Portal Independencia Nº 57.
Ayacucho Perú.
Tel: 066-313434, 066-312510.
www.unsch.edu.pe

[2] Universidad Autónoma de Tlaxcala.
Centro de Investigación en Genética y Ambiente.
Laboratorio de Biología Molecular.
Carretera Federal San Martin-Tlaxcala 520.
Agua Escondida, 90120.
Villa Mariano Matamoros.
Tlaxcala México.
Tel: +52 248 481 5500

***Dirección de contacto**:
Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.
Unidad de Investigación e Innovación.
Facultad de Ciencias Agrarias.
Portal Independencia Nº 57.
Ayacucho Perú.

Roberta Esquivel Quispe
E-mail address: roberta.esquivel@unsch.edu.pe

Palabras clave:

Sustratos,
hospederos,
propagación hongos micorrizógenos arbusculares,
efectividad,
bioinoculantes.

J. Selva Andina Biosph.
2021; 9(2):99-110.

ID del artículo: 102/JSAB/2021

Historial del artículo.

Recibido mayo, 2021.
Devuelto agosto, 2021.
Aceptado octubre, 2021.
Disponible en línea, noviembre 2021.

Editado por:
Selva Andina
Research Society

Keywords:

Substrates,
hosts,
propagation of arbuscular mycorrhizal fungi,
effectiveness,
bioinoculants.

Resumen

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) tienen gran potencial para contribuir a la solución de múltiples problemas de la agricultura, son utilizados en la producción agrícola en forma de bioprotectores, biorreguladores, restablecedores y otros beneficios. Las plantas micorrizadas presentan mayores valores en altura, biomasa y rendimiento, porque la red micelial es más eficiente para evitar la deficiencia de nutrientes. Los HMA, se propagan en las plantas hospederas que tienen mayor capacidad de establecer la simbiosis micorrizógena arbuscular, entre ellas es principalmente de la familia Poacea y leguminosas. Las plantas hospederas se siembran en macetas que contienen sustratos esterilizados de pH 5.2 a 7 y fuente de fósforo bajo, conducidos en condiciones de invernadero, laboratorio o vivero, por un tiempo promedio de seis meses. El estudio de las micorrizas es poco, más aún sobre la propagación es muy escasa, motivo por la cual, el objetivo de esta revisión es recopilar experiencias sobre tipos de sustratos y hospederos que permiten la propagación de HMA, la cual puede ser útil y empleada por los investigadores que se interesan por recuperar el agroecosistema deteriorado, mitigar la contaminación y contribuir a la alimentación de calidad.

2021. Journal of the Selva Biosphere®. Bolivia. Todos los derechos reservados.

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) have great potential to contribute to the solution of multiple problems in agriculture, they are used in agricultural production in the form of bioprotectors, bioregulators, restoratives and other benefits. Mycorrhizal plants present higher values in height, biomass and performance; because the mycelial network is more efficient to avoid nutrient deficiency. AMF propagate in host plants that have the greatest capacity to establish arbuscular mycorrhizal symbiosis; among them it is mainly from the Poacea family and legumes. The host plants are planted in pots containing sterilized substrates of pH 5.2 to 7 and a low phosphorous source, conducted under greenhouse, laboratory or nursery conditions for an average period of six months. The study of mycorrhizae is scanty, the objective of this review compiles experiences on the effect of types of substrates, and hosts that favours the propagation of AMF, which can be used by researchers who are interested in recovering the deteriorated agroecosystem, mitigating pollution and contributing to quality food.

2021. Journal of the Selva Andina Biosphere®. Bolivia. All rights reserved.

Introducción

En la producción agrícola, actualmente hay uso excesivo de fertilizantes químicos, conduciendo a la contaminación del ambiente[1-4], degradación de suelos, incremento en costos de producción. Por dichos fundamentos hay necesidad de utilizar sistemas de producción más sustentables, siendo una alternativa, el uso de microorganismos beneficiosos o los biofertilizantes[2-4], como los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA) que permiten mejorar la productividad del suelo, disminuyendo el empleo de fertilizantes sintéticos y mitigar el daño ambiental[1,5-9].

Los HMA en la agricultura, *Phyllum* Glomeromycota, especies de dicho grupo de hongos se asocian con diferentes plantas formando micorrizas arbusculares[5,10], asociaciones mutualistas entre familias de la mayoría de plantas[5,11-13].

Uno de los factores limitantes para el uso de HMA, es su propagación en plantas, y no en medios de cultivo artificiales, como las bacterias beneficiosas que crecen en estos. También por existir escasa información respecto al tipo de sustrato y plantas hospederas que permitan obtener mayor número de esporas o propágulos de HMA, motivo que nos ha conducido a la búsqueda de información a nivel de Latinoamérica. El objetivo de esta revisión fue recopilar experiencias sobre tipos de sustratos, hospederos que permiten la propagación de HMA, su efectividad, puede ser útil y empleada por los investigadores que se interesan por recuperar el agroecosistema deteriorado, mitigar la contaminación y contribuir a la alimentación de calidad.

Desarrollo

Los HMA se asocian con más de 80 % de plantas, formando la micorriza arbuscular en las raíces[5-7,11,12], en esta asociación, los hongos reciben de la planta hospedera hidratos de carbono, un hábitat para completar su ciclo de vida, al mismo tiempo que contribuyen a mejorar el estado nutrimental e hidratación de su hospedero, por su función ecológica de desdoblar, solubilizar los nutrientes del suelo, manteniendo la estabilidad de los ecosistemas, además de protegerlo de fitopatógenos[5-7,14].

Muchos agroecosistemas están deteriorados, requieren ser recuperados, una de las formas es incorporando los biofertilizantes, como HMA, con fines de mejorar la eficiencia de los procesos biológicos en el suelo y plantas, sin embargo, es escasa la información sobre los sustratos utilizados para su reproducción, información de importancia vital para alcanzar los niveles de producción de bioinoculantes requeridos para que estas prácticas puedan implementarse de manera intensiva y extensiva. Las fuentes de fertilización orgánica, así como la biológica son herramientas que tienen un potencial, además de ser fuente de nutrientes eficientes y económica en la nutrición de cultivos, pudiendo estas sustituir, o disminuir la fertilización sintética, propiciando efectos benéficos desde las perspectivas económicas, sociales y ecológicas[15,16], lo que hace necesario proporcionar fuentes de información que favorezcan e incentiven el desarrollo de estrategias para mejorar los métodos de propagación de bioinoculantes como los HMA. El uso de HMA, podría ser una práctica recomendable para el cultivo sustentable de guayabas en invernadero[17]. Incluso en la conservación de especies silvestres como Magnolias de los andes en peligro de extinción, con un papel clave en su desempeño en los bosques andinos perturbados de forma natural[18]. También puede garantizarse su uso eficiente en los planes de rehabilitación de las playas[19]. Los HMA representan uno de los grupos fúngicos de mayor importancia, tanto ecológica como económica[20].

Efectividad de HMA. Entre las alternativas nutricionales, los biofertilizantes, como los HMA, han sido muy eficientes como sustitutos del fertilizante mineral[1] en Cuba, se ha promovido la utilización de abonos orgánicos y biofertilizantes, con resultados loables[1]. La reducción o sustitución de la fertilización inorgánica a través de HMA puede representar una práctica viable que promueva mayor rentabilidad, así como la conservación agroecológica de los sistemas de producción[21,22].

En Colombia el mayor peso seco foliar y radical se reportó en plántulas de *Musa AAA* cv. Gran Enano (banano) inoculadas con 15 inóculos provenientes de agroecosistemas bananeros[23]. En el Perú se obtiene mayor peso seco de follaje y altura de la planta micorrizada de cultivo asociado de *L. multiflorum* y *P. sativum* en condiciones de invernadero. La aplicación de Eco Mic y Quito Max solos y combinados incrementó el rendimiento de *Z. mays* significativamente frente al control no tratado[24].

Las micorrizas representan un gran potencial para contribuir a la solución de múltiples problemas en la agricultura, por sus amplias ventajas que ofrecen para condiciones tropicales. Sin embargo, sus efectos no son semejantes en todos los cultivos, árboles, ni en todas las condiciones agroclimáticas, por las interacciones que realizan con otros microorganismos. Las micorrizas arbusculares pueden ser aplicadas en la agricultura como bioprotectores y biorreguladores en vivero o durante el enraizamiento de vitroplantas, constituyéndose así, en una alternativa valiosa para solucionar problemas de micropropagación, aclimatación y nutrición de diferentes especies de importancia agrícola[14,22]. En cuanto a la producción de masa seca aérea, los tratamientos inoculados presentaron los mayores valores, diferenciándose significativamente del resto[16]. La red micelial parece ser la estrategia más eficiente y menos "costosa" para la planta, puesto que las hifas exploran mayor volumen del suelo, llegando a espacios muy pequeños ya que cuentan con mecanismos fisiológicos eficientes para la asimilación de nutrientes.

Los HMA incrementan la toma de fosfatos solubles, mientras que los hongos solubilizadores de fosfatos (P) promueven la solubilización de complejos insolubles de fosfato, que en conjunto benefician la nutrición de *L. sativa*, en un experimento con 8 tratamientos, fueron significativamente mayores en las plantas que crecieron en el sustrato adicionado con rocas fosfóricas (RP) e inoculadas con hongos *Penicillium thomii* (Ascomycota) y *Rhizophagus intraradices* (Glomeromycota)[25].

Con el objetivo de determinar la influencia de la inoculación de hongos micorrizógenos y la reducción del fertilizante mineral en la producción de plántulas en semilleros tradicionales de tabaco, se realizó la investigación durante dos campañas[26], esta señaló que las prácticas agrícolas provocan una disminución en la infectividad de los HMA[27].

Tabla 1 Efectividad de los HMA en plantas micorrizadas

Planta micorrizada	Altura tallo (cm)	Longitud de pedúnculo (cm)	peso seco follaje (g)	peso seco raíz	Referencia
Lactuca sativa	no		1.27		25
Musa AAA cv. Gran Enano	no	no	0.78-1,417	1.750-3.287	23
Anthurium andreanum	4.2 - 4.70	18.3 - 23.7	no	no	28
Anthurium andreanum	4.70	23.67	no	no	28
Zea mays	23.2 - 35.6	no	0.73-1.87	0.13-0.29	29
Brachiaria decumbens	no	no	40.8 (g/planta	no	30
Begonia sp var. Rex	no	16 (hojas)	5.00	0.80	16
Psidium guajava L (Guayaba)	9.3-18.8	no	0.46-2.02	0.4-1.7	17

Los efectos benéficos de los consorcios de hongos micorrízicos en *Coffea arabica* var. Garnica con manejo tecnológico medio, produjeron significativamente mayor altura y desarrollo de las plantas, tanto en condiciones de invernadero como en campo[31]. Se inoculó con una mezcla de cepas de HMA a las plantas *Amelanchier denticulata* (tlaxistle) y *Eysenhardtia polystachya* (palo dulce), presentaron mejores respuestas en diámetro, altura, biomasa aérea ($p<0.001$) y contenido de fósforo[32].

La aplicación de 310.50 g m^{-2} (75 %) de fertilizante mineral y 0.50 kg de HMA m^{-2} de suelo influyó positivamente en las variables, diámetro, longitud del tallo, masa fresca, seca, área foliar, rendimiento de plántulas de tabaco útiles/m^2 y porcentaje de incremento de colonización micorrízica, lo que permitió obtener un efecto económico y ambiental positivo[26].

Los resultados obtenidos señalan que las prácticas agrícolas provocan una disminución en la infectividad de los HMA. Una reducción en el uso de fertilizantes y plaguicidas podría ser puesta en combinación con la inoculación con HMA, con el fin de reducir el deterioro ecológico del suelo, al mismo tiempo se reducirían los costos de producción[27].

En Cuba se realizó con el fin de evaluar el efecto que ejerce la aplicación de diferentes dosis de MicoFert agrícola, sobre la producción de materia seca (MS) y contenido de fósforo foliar en *Leucaena leucocephala*, con inoculación de biofertilizantes produjo mayor fosforo foliar[33].

Los HMA tuvieron efecto positivo en la longitud y peso seco del follaje de las plantas hospederas de *L. multiflorum* y *P. sativum* en condiciones de invernadero, obteniéndose las micorrizadas entre 21.8 a 30.4 y 69.2 a 82.6 cm de altura del follaje respectivamente. De la misma manera peso seco del follaje tuvieron 13.0 a 16.01 g por maceta.

Se determinaron los efectos de HMA, cepa Cubense y humus de lombriz, solos y combinados, como sustitutos de la fertilización mineral en el cultivo de tomate (hibrido HA 3108 Hazera) a diferentes dosis. El efecto benéfico del HMA aplicado a través del biofertilizante comercial Ecomic®, fue evaluado en la planta, a través de las variables: altura, materia seca de las hojas, rendimiento final, y la calidad bromatológica de los frutos[34]. En la evaluación de la biomasa altura y peso seco por maceta solo un tratamiento tiene significancia, sin embargo, numéricamente todos los inoculados con los consorcios de HMA son superiores al testigo. Los resultados señalaron que la aplicación de HMA, fue más eficiente que el humus de lombriz al 25 % de la dosis de fertilizante mineral.

Sustratos para la propagación de HMA. Depende de la disponibilidad en cada lugar de propagación, a continuación, se describen experiencias y resultados que se obtuvieron por investigador o investigadores: Se establecieron macetas para la propagación de HMA en invernadero, cada maceta se preparó con 500 g de suelo de la muestra correspondiente como fuente de inóculo y 500 g de suelo de la zona esterilizado[35]. Se evaluaron la respuesta, del compost, vermicompost y los Tés de compost y vermicompost asociados a las micorrizas en calabacita bajo condiciones de invernadero[35]. Se determinó la propagación de los consorcios de HMA a nivel de esporas, empleando 1 kg de substrato esterilizado, se añadió 200 g de muestra de suelo que contenían los consorcios de HMA.

Se determinó la influencia de diferentes valores de pH de los sustratos, se evaluaron los efectos de la biofertilización con HMA en el crecimiento de las plántulas de *Anthurium*. Los resultados indicaron que la mezcla turba ácida+cachaza+zeolita, de pH del sustrato 6.9 fue para el cultivo, señalando los tratamientos micorrizados un crecimiento superior a aquellos no aplicado[28].

Se utilizó suelo proveniente de la misma zona bananera los HMA nativos fueron colectados, éste inóculo se combinó con tres tipos de materiales inertes, arena, cascarilla de arroz y vermiculita, en proporciones,

volumen/volumen de 70/30 y 50/50 de suelo con cada uno de los materiales inertes, resultando así, un total de seis mezclas de sustratos. Las características químicas del suelo fueron: pH 5.2, materia orgánica 4.7 %, fósforo 27 mg·kg^{-1} y la textura del suelo fue franco arenoso. El sustrato S2 (Arena 50-suelo 50) y el S6 (Vermiculita 50-suelo 50) permitieron expresiones significativamente mayores respecto a los demás[23].

Tabla 2 Sustratos y proporciones que permitieron mayor multiplicación de HMA

Sustrato	Proporción v/v	Proporción % o peso	pH	Fuente de fósforo	Referencia
Terrafertil - ceniza de volcan	1:1	no	5.7	22.7 mg RP/planta	25
Suelo- arena (S2)	50	50	5.2	27 mg kg-1	23
Suelo- vermiculita (S6)	50	50	5.2	27 mg kg-1	23
A (tierra agrícola - arena-tierra negra)	3:3:2	no	6.5	0.1% NT	36
C (tierra sin cultivar)	no	100	7.2	0.03% NT	36
1 (Turba ácida - cachaza-suelo)	no	40:40:20	7.0	2930 pm	28
2(Turba ácida - cachaza-zeolita)	no	40:40:20	6.9	3076 pm	28
3(Turba ácida - cachaza-casca arroz)	no	40:40:20	6.8	3028 pm	28
Arena - suelo	1:1	no	no	no	17
SC (bagazo de caña de azúcar)-arena-Cascara de arroz carbonizado	1:1:1	no	6.6	1.1 g k^{-1}	37
Suelo + cascarilla de arroz	2:1	no		abono foliar	29
Suelo rojo: suelo agrícola	3:1	no	4.12	10	30
Suelo ferralítico lixiviado-cachaza -paja de arroz	no	62:28:10	7	289 mg.kg-1	16

Se evaluaron la respuesta del compost, vermicompost y los Tés de compost asociados a las micorrizas en la calabacita en condiciones de invernadero. Con resultados en la etapa vegetativa sobresalió el tratamiento 4 (75 % arena de rio+25 % de compost+Micorrizas+Té de vermicompost) y en la etapa reproductiva el tratamiento 6 (75 % arena de rio+25 % de vermicompost+Micorrizas+Té vermicompost)[15]. Se determinó la respuesta de la *Begonia* var. Rex en función de los sustratos conformados por la mezcla de suelo, cachaza y paja de arroz, y la aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (EcoMic®) en las variables cantidad de hojas, largo de las hojas, vigor de las plantas, masa seca de la parte aérea y las raíces, y número de esporas[16]. Con el objetivo de combinar HMA y hongos solubilizadores de fosfatos S con diferentes materiales en la elaboración de un sustrato para la producción en maceta de plantas de *L. sativa*, se consideró los tratamientos: 1) sustrato, 2) sustrato + HMA, 3) sustrato + S, 4) sustrato + HMA + S, 5) sustrato: rocas fosfóricas RP, 6) sustrato: RP + HMA, 7) sustrato: RP + S, y 8) sustrato: RP + HMA + S. El sustrato que se utilizó fue de pH 5.7 y 22.7 mg de RP por planta[25].

Plantas hospederas de HMA. Los HMA, necesitan una planta hospedera para completar su desarrollo, no existiendo hasta el momento medio de cultivo sintético que permita su aislamiento y multiplicación sin la presencia de la raíz vegetal[30,38].

Los cultivos trampas, permiten obtener suficientes esporas con todos los atributos morfológicos necesarios para identificar la especie, así como observar en sus diferentes estadios ontogenéticos[6]. Se usó *Z. mays* (maíz) y la leguminosa *Leucaena* sp. (guaje) como plantas hospederas[10]. Se establecieron macetas con el suelo recolectado (500 g/maceta) en condiciones de invernadero para obtener esporas recién formadas, empleando plantas hospederas *Z. mays* L. (maíz) y *Leucaena* sp. (Leguminosa conocida como guaje), el período de propagación fue de seis meses con riegos cada tercer día[10].

La propagación de HMA nativos empleando como plantas hospederas los cultivos asociados de *L. multiflorum* y *P. sativum*. El potencial infectivo de las

muestras de suelo se evaluó con plantas de maíz (*Z. mays* L.) en invernadero, siguiendo la metodología del número más probable (NMP)[27]. Como plantas trampa: *Brachiaria decumbens* (B), *Pueraria phaseoloides* K), *Sorghum vulgare* (S), y *Tagetes erecta* (T) (Tabla1). Estas, se sembraron pregerminada, se mantuvo por 5 meses y dejaron 15 días para la esporulación[23].

Se sembraron semillas de maíz (*Z. mays* L.), pasto inglés (*Lolium perenne* L.) y jitomate (*Lycopersicum esculentum* P. Mill.), se eligieron como plantas trampa por su capacidad de establecer la simbiosis micorrizógenos arbuscular. Al finalizar dos ciclos de cultivo de cuatro meses cada uno el suelo de cada maceta se recolectó y se realizó la extracción de esporas de HMA[39].

Tabla 3 Principales especies de plantas hospederas de HMA

Especie	Familia	Nº planta/maceta	Invernadero/campo	País	Referencia
Lactuca sativa	Asteraceae	no	invernadero	Argentina	25
Brachiaria decumbens (B)	Poaceae	no	invernadero	Colombia	23
Sorgum vulgare (S)	Poaceae	no	invernadero	Colombia	23
L. multiflorum	Poaceae	1	laboratorio	Perú	36
Zea mays	Poaceae	1	laboratorio	Perú	36
Anthurium andreanum	Araceae	1	vivero	Cuba	28
Sorghum bicolor	Poaceae	9	campo	Brazil	37
Zea mays	Poaceae	1	vivero	Colombia	29
Brachiaria decumbens	Poaceae	10	invernadero	Honduras	30
Begonia sp var. Rex	Begoniaceae	1	semicontrolada	Cuba	16
Psidium guajava L	Myrtaceae	1	vivero	México	17

Propagación de especies y consorcios de HMA (Cantidad de esporas y % de colonización). Los inóculos de hongos micorrizógenos se preparan empleando sustrato suelo esterilizado en condiciones de invernadero[5,40] se cuantifica el número de esporas empleando el método de tamizado húmedo[36,40].

La propagación de los HMA en el invernadero, se realizaron en macetas preparados con 500, 200 g de suelo de la muestra correspondiente como fuente de inóculo 500, 1300 g de suelo de la zona esterilizado durante tres días consecutivos, por un periodo de 1.5 h, 1 h diaria en autoclave a una temperatura de 120 °C y presión de 1.0 kg/cm^2[35] Establecieron macetas de propagación de los HMA con el suelo rizosférico recolectado (500 g/maceta), se mantuvieron en condiciones de invernadero. El período de propagación fue de 6 meses, las macetas se regaron con agua destilada cada tercer día y al final de la propagación se dejaron secar para favorecer la formación de esporas por los HMA[10,35].

La propagación de los consorcios de HMA, número de esporas y porcentaje de colonización en *L. multiflorum* (“ray grass’’) + *P. sativum* (“arveja”) presentan entre 16 a 43 esporas/g de suelo, en condiciones de invernadero. En condiciones de campo en cultivos de papayo con alta tecnología el NMP de propágulos infectivos por 100 g de suelo es de 10.9[27] esporas y oscila entre 8.04 y 12.62 % de colonización.

El contenido de P 30 y 60 ppm disminuye el número de esporas de 49.9 a 40 y 31 esporas respectivamente, así mismo disminuyó el porcentaje de colonización cuando se aplica la cal 30 y 60 ppm a 27 y 16 % de colonización respectivamente[30]. Sin embargo, incrementa la biomasa al aplicar 30 y 60 ppm de fósforo. El nivel de P debe mantenerse bajo, las altas concentraciones inhiben el desarrollo de las micorrizas vesículo-arbusculares (MVA)[30].

Tabla 4 Propagación de especies o consorcios de HMA (Cantidad de esporas y % de colonización)

Especie o género de HMA	Consorcios HMA	Nº esporas/100 g	NMP de propágulos/cm^3	% de colonización	Inoculación directa/trasplante	Referencia
Rhizophagus intraradices - Penicillium thomii	*R. intraradices - P. thomii*	no	no	26	trasplante	25
Glomus , Acaulospora y *Entrophospora*	*Glomus , Acaulospora* y *Entrophospora*	966 - 1618	no	49.0 ± 44.8 %	trasplante	23
Glomus sp	no	1050-1633	no	25-40		36
Glomus hoi like	no	no	no	no	5 g.planta	28
Experimento I *Rhizophagus clarus*		162+-82.5	283 a 350	no		37
Experimento I *Claroideoglomus etunicatus*	no	240 +- 169.7	233 a 283	no		37
Rhizophagus clarus	no	11.6±10.0	28	no	trasplante	37
Claroideoglomus etunicatus	no	16.3±7.7	8	no	trasplante	37
Dentiscutata heterogama	no	0.3±0.5	0.3	no	trasplante	37
Pre-inóculo de cultivo de cacao 5g/maceta	*Glomus, Acaulospora, Entrophospora, Gigaspora, Archaeospora y Scutellospora*	12 - 364/10g	no	12.16 - 30.5 micelio	directa	29
Inoculante MYCORAL	*Glomus, Acaulospora y Entrophospora*	49.9 (25 mL/100g suelo)	no	no	directa	30
Inoculante EcoMic®)	Inoculante EcoMic®)	50%	no	no	trasplante	16
HMA nativos + INIFAP	HMA nativos + INIFAP	3-40/g	no	70		17

Después de seis semanas de establecido el experimento en condiciones de invernadero, se colectó todo el sistema radical, y se evaluó el potencial de colonización de los HMA, un mayor porcentaje de colonización micorrízicos en la parcela de pastizal, en las parcelas cultivadas se presentó un marcado descenso en el número de propágulos infectivos conforme se intensificó el manejo de producción. Los resultados obtenidos evidencian que las prácticas agrícolas provocan una disminución en la infectividad de los HMA[27].

El porcentaje de colonización se ha determinado quitando el pigmento de las raicillas, mediante el uso de base y ácido, actualmente pueden ser remplazados el azul de tripano, por la tinta de bolígrafo Parker QuinK lavable en agua, también se sustituyó el ácido láctico y la glicerina[41]. Se colorean y se cortaron en 2 cm de longitud, colocándolos paralelamente los trocitos sobre la lámina porta objeto, seguidamente se cubrieron con laminilla cubre objeto para observar al microscopio. En las observaciones microscópicas se cruzan por ciertos puntos las raíces y se cuentan los campos infectados o no infectados.

Se logró entre 30 y 60 % de colonización en tres tratamientos micorrizados, la colonización en campo con alta tecnología en cultivos de papayo oscila entre 8.04 y 12.62 % de colonización[25]. La colonización micorrizal promedio general de los HMA a las plantas trampa fue de 37.76±21.86 %, con respecto a este porcentaje, las plantas B (*Brachiaria decumbens*) y S (*Sorgum vulgare*) fueron las que más favorecieron la simbiosis[23].

La extracción de esporas de los HMA, se realizó empleando 100 g de suelo seco por muestra, utilizando el método de tamizado en húmedo y decantación[10,42,43]

Las esporas fueron separadas del material mineral y orgánico del suelo por medio de agitación mecánica seguida de centrifugación a 2500 r.p.m. (revoluciones por minuto) en agua, una segunda centrifugación a 1200 r.p.m. en una solución de sacarosa a 60 % y decantación en un tamiz con malla de 44 µm. Cada extracción se puso en una caja de Petri dividida en cuadrantes (0.5 × 0.5 cm) para aislar las esporas de HMA, considerando sólo aquellas con contenido y coloración homogénea. La abundancia de las esporas de HMA se determinó mediante conteo directo, contando el total de esporas de HMA en 100 g de suelo[35,44]. Se utilizan 50 y 20 g de suelo seco respectivamente por muestra[26]. Para separar las esporas del material mineral y orgánico del suelo, se hizo una centrifugación en una solución de sacarosa al 40 y 60 %[10,41,44,45]. Se realizó una centrifugación en una solución de sacarosa al 50 %[33]. Mediante el microscopio estereoscópico se separaron las esporas y se contabilizaron[36,38,46,47]. Se cuantificaron esporas vivas y muertas, considerando esporas vivas cuando fueron sin daño en las paredes de las esporas y tenían un contenido citoplasmático, considerándose muertas cuando no cumplen dichas características[47]. Posteriormente se hicieron preparaciones permanentes con alcohol polivinílico-lacto-glicerol (PVLG) y PVLG con reactivo de Melzer en proporción 1:1[36,38,41,46].

Las especies de HMA procedentes de agroecosistemas bananeros fueron: *Glomus (G. aggregatum, G. geosporum, G. clarum), Acaulospora (A. morrowiae, A. mellea, A. gerdermannii), (S. calospora) y Entrophospora* y el Inóculo comercial: *Glomus* sp., *Acaulospora* sp., *Scutellospora* sp., y *Entrophospora*. Se obtuvo entre 966-1618 esporas por 100 g de suelo y 49.0±44.8 % de colonización[23].

Se registró una abundancia de 216.4±96.6 esporas de HMA por 100 g de suelo seco[35]. 10 géneros y 27 morfoespecies de HMA[44]. La abundancia varió de 55 a 198 esporas en 100 g de suelo. *Ambispora reticulata* fue un nuevo registro para Chiapas y México. *Acaulospora* fue el género más frecuente y rico en morfoespecies. Chiquihuites destacó por tener más riqueza, diversidad y equitatividad de morfoespecies de HMA, explicadas principalmente por los bajos niveles de materia orgánica y PO_4^{-3} en el suelo[44].

Conclusiones

Los HMA pueden ser utilizados en la agricultura en forma de bioprotectores, biorreguladores, biofertilizantes, restauradores de suelos contaminados entre otros, puesto que las plantas micorrizadas en la mayoría de los casos presentan valores superiores de crecimiento y de resistencia que las no micorrizadas, lo que evidencia la efectividad micorrízica arbuscular.

Las mezclas de sustratos inertes y orgánicos que mantengan valores de pH ligeramente ácidos a neutrales (5.2 a 7) y bajos contenidos de fósforo (20 a 30 ppm) parecen ser más eficientes para la propagación de HMA que de manera individual.

Las plantas de la familia Poaceae han señalado ser las más adecuadas para la propagación de HMA, solas o en conjunto con leguminosas.

La propagación de especies individuales de HMA y en consorcios están influidas por el tipo de sustrato y por las plantas hospedantes, por lo que es básico considerarlos para propagar a los HMA de manera efectiva.

Fuente de financiamiento

Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga (promedio tres mil quinientos nuevos soles).

Conflictos de interes

El artículo de revisión no tiene ningún conflicto de interés.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga y al Ing. M. Sc Mike A. Corazón Guivin de la Universidad Nacional de San Martín por algunas sugerencias del presente trabajo.

Consideraciones éticas

El trabajo de investigación, es de revisión, por lo que los autores declaran que se desarrolló empleando la literatura revisada y citando a los autores correspondientes.

Contribuciones de los autores

Esquivel Quispe Roberta, planeo el artículo y elaboró documento base incluido tablas, realizó búsqueda de la bibliografía y lo catalogó. *Hernández Cuevas Laura Verónica*, realizó búsqueda de bibliografía, aportó ideas para la construcción del artículo y colaboró en la revisión y corrección del mismo. *Quispe Ochoa Josue Olser*, colaboró en la búsqueda de bibliografía.

Literatura citada

1. Perez A, Rojas J, Donicer V. Hongos forma dores de micorrizas arbusculares: una alternativa biologica para la sostenibilidad de los agroe cosistemas de praderas en el caribe colombiano. Rev Colombiana Cienc Anim 2011; 3(2):366-85. DOI: http://doi.org/10.24188/recia.v3.n2.2011.412
2. Vital-Vilchis I, Quiñones-Aguilar EE, Hernández-Cuevas LV, Rincón-Enríquez G. Growth of ornamental sunflower in pot at field level by effect of arbuscular mycorrhizal fungi. Terra Latinoam 2020;38(3):679-92. DOI: https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.715
3. Tuesta-Pinedo ÁL, Trigozo-Bartra E, Cayotopa-Torres JJ, Arévalo-Gardini E, Arévalo-Hernández CO, Zúñiga-Cernadez LB, et al. Optimización de la fertilización orgánica e inorgánica del cacao (*Theobroma Cacao* L.) con la inclusión de Trichoderma endófito y Micorrizas arbusculares. Tecnología en Marcha 2017;30(1):67-78. DOI: https://doi.org/10.18845/tm.v30i1.3086
4. Montoya-Martínez AC, Rincón-Enríquez G, Lobit P, López-Pérez L, Quiñones-Aguilar EE. Native arbuscular mycorrhizal fungi from the rhizosphere of *Agave cupreata* and their effect on *Agave tequilana* growth. Rev Fitotec Mex 2019;42(4):429-38. DOI: https://doi.org/10.35196/rfm.2019.4.429-438
5. Sieverding, E. Manual de métodos para la investigación de la micorriza vesículo-arbuscular en el laboratorio [Internet]. Cali: Centro Internacional de Agricultura Tropical; 1983 Sep [citado 15 de mayo de 2020]. 121 p. CIAT QR 604.S5 c.2. Recuperado a partir de: https://es.scribd.com/document/270011075/Manual-de-Metodos-Para-La-Investigacion-de-La-Micorriza-Vesiculo-Arbuscular-en-El-Laboratorio
6. Smith SE, Read D. Mycorrhizal Symbiosis [Internet]. Massachusetts: Academic Press; 2008. 787 p. DOI: https://doi.org/10.1016/B978-0-12-370526-6.X5001-6
7. Ferrera Cerrato R, Gonzales Chavez MCA, Rodriguez Mendoza MN. Manual de Agromicrobiología. 1ra Ed. México: Editorial Trillas; 2003.
8. Altiere M, Nicholis C. Diseños agroecológicos, Perú: Sociedad Científica Latinoamericana; 2013.
9. Gamundí de Amos IJ, Godeas AM, Cabello MN. La investigación micológica en la argentina: periodo 1978-2016. Darwiniana 2017;5(1):98-108. DOI: https://doi.org/10.14522/darwiniana.2017.51.711
10. Reyes-Jaramillo I, Chimal-Sánchez E, Salmerón-Castro JY, Vázquez-Pérez N, Varela-Fregoso L.

Comunidad de hongos micorrizógenos arbusculares (Glomeromycota) asociada con agaves mezcaleros de Oaxaca y su relación con algunas propiedades edáficas. Rev Mex Biodiv 2019;90: e902 777. DOI: https://doi.org/10.22201/ib.20078706e.2019.90.2777

11. Lovato P. Micorrizas arbúsculares en agroec osistemas. En: VIII Congreso Latinoamericano de Micología-Actualidades Biológicas: 2014, Medellín, Colombia: Asociación Latinoameri cana de Micología; 2014.
12. Becerra A, Bartoloni N, Cofré N, Soteras F, Cabello M. Arbuscular mycorrhizal fungi in saline soils: vertical distribution at different soil depth. Braz J Microbiol 2014;45(2):585-94. DOI: https://doi.org/10.1590/S1517-83822014000200029
13. Lovato P. Micorrizas arbúsculares en agroec osistemas. En: VIII Congreso Latinoamericano de Micología-Actualidades Biológicas: 2014, Mede llín, Colombia: Asociación Latinoameri cana de Micología; 2014.
14. Restrepo Giraldo KJ, Montoya Correa MI, Henao Jaramillo P, Gutiérrez LA, Molina Guzmán LP. Caracterización de hongos micorrízicos arbusculares de suelos ganaderos del trópico alto y trópico bajo en Antioquia, Colombia. Idesia 2019;37(1): 35-44. DOI: https://doi.org/10.4067/S0718-34292019005000301
15. Hermosillo-Salazar J, Vega-Sotelo F, Marquez-Mendoza JI, Leos-Escobedo L, Hermosillo-Alba MC, González-Quirino JG. Micorrizas asociadas a compost, vermicompost y tés orgánicos en el cultivo de calabacita (*Cucurbita pepo* L.), bajo invernadero. En:. IX Simposio Nacional y VI Reunión Iberoamericana de la Simbiosis Micorrízica. Mexico: Sociedad Mexicana de la Simbiosis Micorrízica, AC (SOMESIMI); 2018.
16. Morales Alvero C, Calaña Naranjo JM, Corbera Gorotiza J, Rivera Espinosa R. Evaluación de sustratos y aplicación de hongos micorrízicos arbusculares en *Begonia* sp. CulTrop 2011;32(1):50-62.
17. Quiñones-Aguilar EE, Rincón-Enríquez G, López-Pérez L. Hongos micorrízicos nativos como promotores de crecimiento en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.). Terra Latinoam 2020;38 (3) :541-54. DOI: https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.646
18. Serna-Gonzalez M, Urrego-Giraldo LE, Osorio WN, Valencia-Rios D. Mycorrhizae: a key interaction for conservation of two endangered Magnolias from Andean forests. Pl Ecol Evol 2019; 152(1):30-40. DOI: https://doi.org/10.5091/plecevo.2019.1398
19. González González S, Torrres-Arias Y, Ortega-Fors R, Furrazola Gomez E. Hongos micorrizógenos arbusculares (Glomeromycota) de la playa Santa María del Mar Cuba. Rev Jard Bot Nac 2016;37:81-4.
20. Torrres-Arias Y, Ortega-Fors R, González González S, Furrazola Gómez E. Diversity of arbuscular mycorrhizal fungi (Glomeromycota) in semicaducifolius forest of Ciénaga de Zapata, Cuba. Rev Jard Bot Nac 2015;36:195-200.
21. Díaz Franco A, Espinosa Ramírez M, Ortiz Cháirez FE. Reducción de la fertilización inorgánica mediante micorriza arbuscular en sorgo. Rev Int Contam Ambie 2019:35(3):683-92. DOI: https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.03.13
22. Molina M, Mahecha L, Medina M. Importancia del manejo de hongos micorrizógenos en el establecimiento de árboles en sistemas silvopastoriles. Rev Col Cienc Pec 2005;18(2):162-75.
23. Usuga Osorio CE. Castañeda Sánchez DA, Franco Molano AE. Multiplication of arbuscular mycorrhizae fungi (AMF) and mycorrhization effect in micropropagated plants of banana (Musa AAA cv.'Gran Enano') (Musaceae). Rev Fac Nac Agron Medellín 2008;61(1):4279-90.
24. Pérez-Madruga Y, Rosales-Jenquis PR, Menéndez DC, Falcón-Rodríguez A. Aplicación combinada de quitosano y HMA en el rendimiento de maíz. CulTrop 2019; 40(4): e06.

25. Velázquez MS, Cabello MN, Elíades LA, Russo ML, Allegrucci N, Schalamuk S. Combinación de hongos movilizadores y solubilizadores de fósforo con rocas fosfóricas y materiales volcánicos para la promoción del crecimiento de plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Rev Argent Microbiol 2017;49(4):347-55. DOI: https://doi.org/10.1016/j.ram.2016.07.005
26. Cruz Hernández Y, García Rubido M, León González Y, Acosta Aguiar Y. Influencia de la aplicación de micorrizas arbusculares y la reducción del fertilizante mineral en plántulas de tabaco. CulTrop 2014;35(1):21-4.
27. Sangabriel-Conde W, Trejo-Aguilar D, Soto-Estrada A, Ferrera-Cerrato R, Lara-Capistrán L. Potencial de colonización de hongos micorrícico-arbusculares en suelos cultivados con papayo bajo diferentes manejos de producción. Rev Mex Mic 2010;31:45-52.
28. Corbera J, Paneque VM, Calaña JM, Morales C. Evaluación de sustratos y aplicación de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de *Anthurium andreanum* en etapa de vivero. CulTrop 2008;29(4):27-33.
29. Davila L, Ramos J, Rosales C. Multiplicación de hongos micorrizicos arbusculares nativos de cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en maíz (*Zea mays*) bajo distintos tratamientos agronómico [tesis licenciatura]. Valledupar: Universidad Popular del Cesar; 2009.
30. Suárez Quimí DF. Evaluación de sustratos para la producción de inoculantes de micorriza vesículo-arbuscular [tesis licenciatura]. [Zamorano]: Universidad Zamorano; 2001 [citado 16 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: https://docplayer.es/31075008-Evaluacion-de-sustratos-inorganicos-para-la-exportacion-de-inoculante-de-micorriza-vesiculo-arbuscular.html
31. Trejo D, Ferrera-Cerrato R, García R, Varela L, Lara L, Alarcón A. Efectividad de siete consorcios nativos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas de café en condiciones de invernadero y de campo. Rev Chil Hist Nat 2011;84(1):23-31. DOI: http://doi.org/10.4067/S0716-078X2011000100002
32. Hernández-Cuevas L, Guerra-De la Cruz V, Santiago-Martínez G, Cuatlal-Cuahutencos P. Propagación y micorrización de plantas nativas con potencial para restauración de suelos. Rev Mex Cienc Forestales 2011;2(7):87-96. DOI: http://doi.org/10.29298/rmcf.v2i7.566
33. Ojeda L, Furrazola E, Hernández C. Respuesta de *Leucaena leucocephala* cv. Perú a la aplicación de diferentes dosis de MicoFert agrícola. Pastos y Forrajes 2015;38(3):176-82.
34. Charles NJ, Martin Alonso NJ. Uso y manejo de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) y humus de lombriz en tomate (*Solanum lycopersicum* L.), bajo sistema protegido. CulTrop 2015;36(1): 55-64.
35. Chimal-Sánchez E, Reyes Jaramillo I, Salmerón-Castro JY, Vázquez-Pérez N, Varela-Fregoso L. Cuatro nuevos registros de hongos micorrizógenos arbusculares (Glomeromycota) asociados con *Agave karwinskii* y *A. angustifolia* (Agavaceae) de Oaxaca, México. Act Bot Mex 2018;(125): e1356. DOI: https://doi.org/10.21829/abm125.2018.1356
36. Gutiérrez J, Esquivel R, editores. Influencia de tipo de substrato y planta hospedera en la colonización de Glomus sp. Ayacucho 2013. VIII Simposio Nacional y V Reunión Iberoamericana de la Simbiosis Micorrícica; 2016. México: Sociedad Mexicana de la Simbiosis Micorrízica. Universidad Autónoma Metropolitana Oaxtepec; 2016.
37. Schlemper TR, Stürmer SL. On farm production of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum using lignocellulosic agrowastes. Mycorrhiza 2014; 24(8):571-80. DOI: https://doi.org/10.1007/s00572-014-0576-5
38. Furrazola Gómez E, Rodríguez-Rodríguez R. Cuban collection of arbuscular mycorrhizal fungi:

history, functioning and conservation. Acta Botánica Cubana 2017;216(1):4-11.

39. Chimal-Sánchez E, García-Sánchez R, Hernández-Cuevas LV. Great richness of arbuscular mycorrhizal fungi at the Mezquital Valley, Hidalgo, Mexico. Rev Mex Mic 2015;41:14-26.

40. Fernández Martín F. Avances en la producción de inoculantes micorrízicos arbusculares. En: Rivera R, Fernández K, editores. El Manejo eficiente de la simbiosis micorrízica, una vía hacia la agricultura sostenible. Estudio de caso [Internet]. La Habana: Ediciones INCA; 2003. p. 97-110. Recuperado a partir de: http://repositorio.geotech.cu/xmlui/handle/1234/3472?show=full

41. Rodríguez Yon J, Arias Pérez L, Medina Carmona A, Mujica Pérez Y, Medina García LR, Fernández Suárez K, et al. Alternativa de la técnica de tinción para determinar la colonización micorrízica.CulTrop 2015;36(2):18-21.

42. Gerdemann JW, Nicolson TH. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. Trans Brit Mycol Soc 1963;46(2):235-44. DOI: https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0

43. Brundrett M, Bougher N, Dell B, Grove T, Malajczuk N. Working with mycorrhizal in forestry and agriculture [Internet]. Canberra: Australian Centre for International Agricultural Research; 1996. 344 p. DOI: https://doi.org/10.13140/2.1.4880.5444

44. Bertolini Vincenzo Montaño NM, Salazar-Ortuño BL, Chimal-Sánchez E, Varela L. Diversidad de hongos micorrizógenos arbusculares en plantaciones de café (*Coffea arabica*) del volcán Tacaná, Chiapas, México. Act Bot Mex 2020;(127):e 1602 . DOI: http://doi.org/10.21829/abm127.2020.1602

45. The International Bank for the Glomeromycota [Internet]. West Virginia University; 1993. [citado 16 de mayo de 2021]. Recuperado a partir de: https://invam.wvu.edu/

46. Lara-Capistrán L, Hernández-Montiel LG, Reyes-Pérez JJ, Preciado Rangel P, Zulueta-Rodríguez R. Respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización en campo. Rev Mex Cienc Agríc 2019;10(5):1035-46. DOI: https://doi.org/10.29312/remexca.v10i5.936

47. Fabián D. Guadarrama P, Hernández-Cuevas L, Ramos-Zapata JA. Arbuscular mycorrhizal fungi in a costal wetland in Yucatan, México. Bot Sci 2018;96(1):24-34. DOI: https://doi.org/10.17129/botsci.1216

Nota del Editor:
***Journal of the Selva Andina Biosphere (JSAB)* se mantiene neutral con respecto a los reclamos jurisdiccionales publicados en mapas y afiliaciones institucionales.**