



Propagación de hongos micorrizógenos arbusculares nativos y su influencia en la producción de maíz Amiláceo en Paquecc-Ayacucho. Primera parte: Propagación en cultivos asociados en invernadero
Native arbuscular mycorrhizogen fungi propagation and their influence in Amylaceous corn production, in Paquecc-Ayacucho. First chapter: Propagation in combined crops in greenhouse

Esquivel-Quispe Roberta*

Datos del Artículo

Universidad Nacional de Huancavelica.
Unidad de Posgrado.
Jr. Victoria Garma Nº 330 y Jr. Hipólito
Unánue Nº 209.
Perú.

***Dirección de contacto:**

Roberta Esquivel-Quispe
Universidad Nacional de Huancavelica.
Unidad de Posgrado.
Facultad de Ciencias Agrarias.
Av. Evitamiento Este S/N - Acobamba
Perú.
Tel móvil: +51 966714199
E-mail: roberesqui@hotmail.com
roberta.esquivel@unsch.edu.pe

Palabras clave:

Propagación,
hongos micorrizógenos,
cultivos asociados,
L. multiflorum,
P. sativum.

J Selva Andina Biosph.
2020; 8(1):42-52.

Historial del artículo.

Recibido septiembre, 2019.
Devuelto diciembre 2019.
Aceptado febrero, 2020.
Disponible en línea, mayo 2020.

Editado por:
**Selva Andina
Research Society**

Resumen

Los hongos micorrizógenos arbusculares (HMA), son microorganismos que representan hasta un 50% de la biomasa de los microbios del suelo, forman simbiosis de mayor relevancia con más del 90% de plantas. Considerando su importancia, se realizó el presente trabajo con el objetivo de evaluar la propagación de: consorcios de HMA del laboratorio de Agrobiología (VAP1) y los consorcios de hongos micorrizógenos arbusculares de cinco agroecosistemas y mezcla de estos consorcios, al ser inoculados en los cultivos asociados de "ray grass" (*L. multiflorum*) y "arveja" (*P. sativum*) en condiciones de invernadero en Ayacucho. Se consideraron siete tratamientos inoculados con los consorcios de HMA codificados como VAP1, Zm19, Zm20, Zm21, Zm22, Zm23, ZmM y testigo (Zm). La siembra se realizó en suelo esterilizado en unidades experimentales de 1.5 kg de capacidad, los cuales fueron inoculados con un promedio de 200 g de suelo que contenían esporas de consorcio de HMA. La propagación se evaluó mediante: número de esporas, porcentaje de colonización, peso seco y longitud del follaje, dichos parámetros resultaron ser mayores con significancia frente a Zm, a excepción del peso seco y longitud del follaje. Se concluyó que los consorcios de HMA de Zm23, VAP1, Zm19 y ZmM, se propagan en los cultivos asociados de *P. sativum* + *L. multiflorum*, produciendo entre 32 a 43 esporas/g de suelo, 15% a 35% de colonización y peso seco del follaje superior al resto de los consorcios de HMA, es decir, que los consorcios se propagan en cultivos asociados. El consorcio VAP1 corresponde a las especies de *C. luteum* y *F. geosporum*, Zm23, a las especies de *Gigaspora* sp., *C. etunicatum* y *Sclerocystis* sp., Zm19, a las especies de *E. infrequens*, *C. claroideum* y *G. microaggregatum*, Zm20, a las especies de *F. geosporum*, *Glo-mus* sp., y *C. etunicatum*, Zm21, a las especies *F. geosporum*, *Sclerocystis* sp y *Claroideoglomus* sp. Se concluye, utilizar cultivos asociados de *L. multiflorum* y *P. sativum* para la propagación de los consorcios de HMA y probar a nivel de campo los consorcios de HMA de los tratamientos Zm23, VAP1, Zm19, y ZmM.

© 2020. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. Bolivia. Todos los derechos reservados.

Abstract

Arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) are microorganisms that represent up to 50% of the biomass of soil microbes, form symbiosis of greater relevance with more than 90% of plants. Considering its importance, the present work was carried out to evaluate the propagation of: AMF consortia from the Agrobiological laboratory (VAP1) and the consortia of arbuscular mycorrhizal fungi from five agroecosystems and a mixture of these consortia, when inoculated in crops associates of "ray grass" (*L. multiflorum*) and "pea" (*P. sativum*) under greenhouse conditions in Ayacucho. Seven treatments inoculated with the AMF consortia encoded as VAP1, Zm19, Zm20, Zm21, Zm22, Zm23, ZmM and control (Zm) were considered. The sowing was carried out in sterilized soil in experimental units of 1.5 kg capacity, which were inoculated with an average of 200 g of soil containing HMA consortium spores. Propagation was evaluated using: number of spores, percentage of colonization, dry weight and length of the foliage, these parameters were found to be significantly higher against Zm, except for dry weight and length of foliage. It was concluded that the HMA consortia of Zm23, VAP1, Zm19 and ZmM, spread in the

Keywords:

Propagation, mycorrhizal fungi, associated cultures, *L. multiflorum*, *P. sativum*.

associated cultures of *P. sativum* + *L. multiflorum*, producing between 32 to 43 spores g of soil, 15% to 35% of colonization and foliage dry weight higher than the rest of the HMA consortia, that is, the consortia are propagated in associated crops. The VAP1 consortium corresponds to the species of *C. luteum* and *F. geosporum*, Zm23, to the species of *Gigaspora* sp., *C. etunicatum* and *Sclerocystis* sp., Zm19, to the species of *E. infrequens*, *C. claraideum* and *G. microaggregatum*, Zm20, to the species of *F. geosporum*, *Glomus* sp., and *C. etunicatum*, Zm21, to the species *F. geosporum*, *Sclerocystis* sp and *Claroideoglomus* sp. It is concluded, to use associated cultures of *L. multiflorum* and *P. sativum* for the propagation of the HMA consortia and to test at the field level the HMA consortia of the treatments Zm23, VAP1, Zm19, and ZmM.

© 2020. Journal of the Selva Andina Biosphere. Bolivia. All rights reserved.

Introducción

Los hongos que forman micorrizas de tipo arbusculares (HMA) representan 5 a 50% de biomasa de los microorganismos del suelo, formando simbiosis mutualista de mayor relevancia en sistemas agroecológicos¹⁻⁸.

La propagación de estos hongos, beneficiosos en países desarrollados como en Estados Unidos y otros, se realiza en cultivos aeropónicos *in vitro* con fines comerciales, sin embargo, el método de propagación en sustrato suelo también resulta válida, además de ser una técnica viable y menos costosa. Varios investigadores realizaron propagación de diferentes HMA en diferentes plantas hospederas (PH) o trampa, como maíz, frijol, ray grass, *Lolium perenne* L., *Plantago lanceolata* L., *Trifolium pratense* L entre otras⁹⁻¹⁸.

Existen diferentes especies de PH que forman asociaciones con especies de HMA, como, *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris*, *Cucurbita sculentum*, con el hongo *Scutellospora pellucida*⁹. Así mismo, señalaron que *Lolium multiflorum* y *Z. mayz* constituyen PH para las especies del género *Glomus*¹⁹. También en cultivos asociados de *L. multiflorum* y *Pisum sativum*, se propagan las especies del género *Glomus*^{20,21}. Sin embargo, a nivel local y nacional son muy pocos los trabajos de investigación relacionados a este tema¹⁹.

En el Laboratorio de Agrobiología de la Escuela Profesional de Agronomía de la Universidad Nacio

nal de San Cristóbal de Huamanga (UNSCH), se cuenta con varios consorcios de HMA, que influyen positivamente en el crecimiento de papa (*S. chacha*) en condiciones de invernadero y que aún no se ha determinado en qué hospederos asociados se propagan, tiene efecto positivo en su crecimiento. Considerando los antecedentes e importancia de HMA en la producción agroecológica, se realizó el presente trabajo de investigación con el objetivo de evaluar la propagación de: consorcios de HMA del laboratorio de Agrobiología (VAP1), consorcios de HMA de cinco agroecosistemas y mezcla, al ser inoculados en los cultivos asociados de *L. multiflorum* y *P. sativum*, en condiciones de invernadero Ayacucho, que corresponde a la primera fase realizada en 2017.

Materiales y métodos

El experimento se realizó en el laboratorio de Agrobiología, ubicado en pampa del Arco de la ciudad universitaria, a 2750 msnm Ayacucho-Perú. El tipo de investigación fue experimental aplicada.

Las variables estudiadas fueron: Variables Independientes (VI), cultivos asociados de “ray grass” (*L. multiflorum*) + “arveja” (*P. sativum*), Variables Dependientes (VD), Consorcios de HMA VAP1, consorcio de HMA de agroecosistema Paquecc (Zm19), consorcio de HMA de agroecosistema Macachacra (Zm23), consorcio de HMA de agroecosistema Huamanguilla (Zm21), consorcio de HMA de

agroecosistema Socos (Zm22), consorcio de HMA de agroecosistema Villa Florida (Zm20), consorcio de HMA de agroecosistema mezcla (ZmM) y suelo estéril (testigo).

Para determinar la propagación de los consorcios de HMA a nivel de esporas, se empleó el método tamizado húmedo modificado, técnica que emplea el Laboratorio de Micorrizas del Centro de Investigación en Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala-México (LMCI-CB-UAT), mientras que para obtener el porcentaje de colonización de las muestras, que consiste en la coloración de raíces y su observación al microscopio, como método para determinar su presencia de las estructuras de los hongos endomicorrizógenos a nivel de las raíces²²⁻²⁴.

Técnicas de extracción de esporas de HMA a partir de suelo de tres macetas o unidad experimental (UE) por tratamiento. La extracción de esporas a partir de suelo rizosférico de los ensayos, se ha realizado utilizando el tamizado húmedo modificado^{23,25-27}.

Técnica para la obtención del porcentaje de colonización en láminas. Consiste en quitar el pigmento de las raicillas, mediante el uso de base y ácido, luego se colorean y se cortan en 2 cm de longitud, colocándolos paralelamente los trocitos sobre la lámina porta objeto, seguidamente se cubren con

laminilla cubre objeto para observar al microscopio²²⁻²⁴.

En las observaciones microscópicas se cruzan por ciertos puntos las raíces y se cuentan los campos infectados o no infectados. Los cálculos se efectúan utilizando la siguiente fórmula:^{15,20,24}.

$$\% \text{ infección} = \frac{\text{Número de campos infectados}}{\text{Número total de campos observados}} \times 100$$

Se ha empleado el Diseño Completamente Randomizado, con cinco repeticiones por tratamiento, siendo una población de 40 UE.

Los ocho tratamientos fueron sorteadas y distribuidas, colocando cada tratamiento en columna de cinco UE, en condiciones de invernadero a una temperatura que oscila entre 15 a 30 °C y una humedad relativa entre 30 a 50%.

Obtención de sustrato suelo y análisis. Se ha empleado el suelo extraído de la ciudad universitaria, del área no cultivada, el cual ha sido secado y tamizado. El análisis de la muestra de dicho suelo tabla 2.

Esterilización del sustrato suelo. El sustrato obtenido se ha colocado en bolsas plásticas aplicando 1 kg por bolsa y se ha esterilizado en autoclave eléctrico vertical por tres días consecutivos, siendo 1 h/día y a una temperatura de 100 °C.

Tabla 1 Tratamientos para la propagación de HMA en invernadero

Tratamientos (Código)	Consorcio de HMA	Agroecosistemas
VAP1	Consorcio de HMA	Laboratorio de Agrobiología EPA- UNSCH
Zm19	Consorcio de HMA	Paquece Huanta – Ayacucho
Zm20	Consorcio de HMA	Villa Florida Iguain Huanta
Zm21	Consorcio de HMA	Huamanguilla Huanta – Ayacucho
Zm22	Consorcio de HMA	Socos Huamanga – Ayacucho
Zm23	Consorcio de HMA	Macachacra Huanta
ZmM	Mezcla de consorcios HMA	Zm20 + Zm21 + Zm23
Zm	Testigo	Suelo testigo

Semillas. Se emplearon semillas de ray grass (*L. multiflorum*) proporcionado por el laboratorio de

Pastos y Forrajes de la UNSCH un promedio de 100 g, las semillas de arveja (*P. sativum*) se compraron

500 g en el mercado central de Ayacucho, una parte de dichas semillas se seleccionaron y se desinfecta-

ron antes de la siembra.

Tabla 2 Análisis de fertilidad de suelo

Análisis mecánico (%)			Clase textural	pH (H ₂ O)	C.E. (dS/m)	CaCO ₃ (%)	M.O. (%)	Nt (%)	Elementos disp. (ppm)	
Arena	Limo	Arcilla							P	K
44.0	19.8	36.2	Ar-Ao	7.2	0.376	0.0	0.64	0.03	3.5	59.1

Propagación de inóculos. Los inóculos se prepararon por el método y la técnica que emplean en el LMCI-CB-UAT^{1,24,28,29}.

Figura 1 Riego con agua hervida



Preparación de macetas, siembra e inoculación. La propagación de los consorcios de HMA, cuyos tratamientos se muestran en la tabla 1, se efectuó utilizando bolsas polietileno de 1.5 kg de capacidad, previamente desinfectadas con hipoclorito de sodio al 3%. Seguidamente, se etiquetaron y se colocó el sustrato esterilizado hasta la altura del tercio superior de la maceta. Luego se añadió 200 g de muestra de suelo que contenían los consorcios de HMA, cubriendo con el resto de sustrato suelo esterilizado. Después de regar con agua reposada y hervida, se realizó la siembra asociada con las semillas de “ray grass” variedad westerworld (*L. multiflorum*) y semillas de arveja variedad “usui” (*P. sativum*). Ambas semillas previamente fueron desinfectadas con clorox 2% por 2 min, enjugándose con agua esterilizada. Este cultivo constituyó como plantas trampa para la propagación de HMA.

Figura 2 Vista general de la propagación de HMA, cada maceta cubierta con plástico transparente



Conducción. Las UE inoculadas y sembradas según los tratamientos se colocaron en el invernadero del laboratorio de Genética y Biotecnología Vegetal, cuya dimensión es de 20 m de largo y 10 m de ancho, para el experimento se utilizó sólo la cuarta parte del área. Las condiciones del ambiente de invernadero tenían una temperatura que oscila entre 15 a 30 °C y una humedad relativa entre 30 a 50%, un promedio de 10 a 11 h luz y no tenía mucha asepsia por tener otros cultivos. Las mesas previamente se desinfectaron con hipoclorito de sodio al 2%, sobre las que se distribuyeron las UE al azar, previo sorteo por tratamiento colocando en columna las cinco UE por tratamiento. Seguidamente, realizando riegos a capacidad de campo cada vez que fue necesario (figura 1). Para evitar la contaminación fueron protegidos con bolsas transparentes cada UE (figura 2).

Figura 3 Separación y montaje de las raíces de platas de ray grass y arveja para la observación

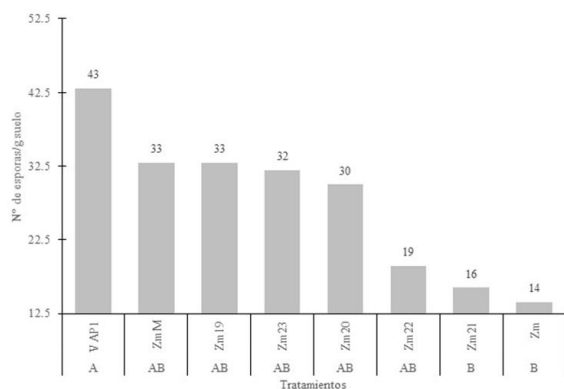


Evaluación del factor dependiente (número de esporas y porcentaje de colonización de los consorcios de HMA, El porcentaje de colonización se realizó la separación de raíces y montaje (figura 3)²²⁻²⁶. Posteriormente se realizaron el Análisis de Varianza y la prueba de Tuckey³⁰, utilizando el Programa Estadístico InfoStat.

Evaluación del factor independiente (cultivos asociados, peso y longitud del follaje). Después de tres meses de siembra e inoculación se procedió a medir la longitud de las PH desde el cuello hasta el ápice, luego, se cortó el follaje de las plantas desde el cuello. Después, se colocaron en la estufa a 60 °C para obtener materia seca. Al igual que para el variable dependiente se realizaron los análisis estadístico mediante el Programa InfoStat.

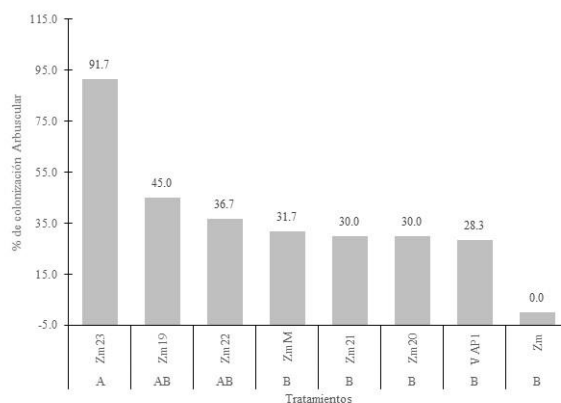
Resultados

Figura 4 Número de esporas de consorcios de HMA/g de suelo propagado en *P. sativum* + *L. multiflorum*



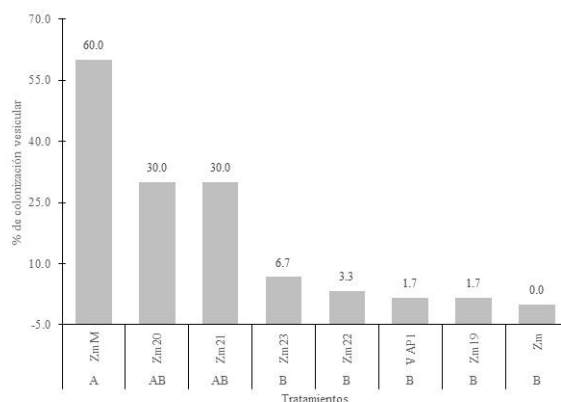
Medias con letra común no son significativamente diferentes (P>0.05)

Figura 5 Porcentaje colonización arbusculares de consorcios de HMA propagados en *P. sativum* + *L. multiflorum*



Medias con letra común no son significativamente diferentes (P>0.05)

Figura 6 Porcentaje colonización vesicular de consorcios de HMA propagados en *P. sativum* + *L. multiflorum*



Medias con letra común no son significativamente diferentes (P>0.05)

Discusión

Sobre la propagación de los consorcios de HMA (Número de esporas y porcentaje de colonización) en “ray grass (*L. multiflorum*) + “arveja” (*P. sativum*). En la figura 4, se visualiza 43 esporas/g de suelo con VAP1, que supera con significancia al resto. Los tratamientos ZmM, Zm19, Zm23, Zm20 y Zm22, presentan entre 33 a 19 esporas/g de suelo, sin diferencia significativa entre ellos. Zm21, es

similar al testigo, ambas tienen 16 y 14 esporas, respectivamente.

Figura 7 Porcentaje colonización micelio de consorcios de HMA propagados en *P. sativum* + *L. multiflorum*

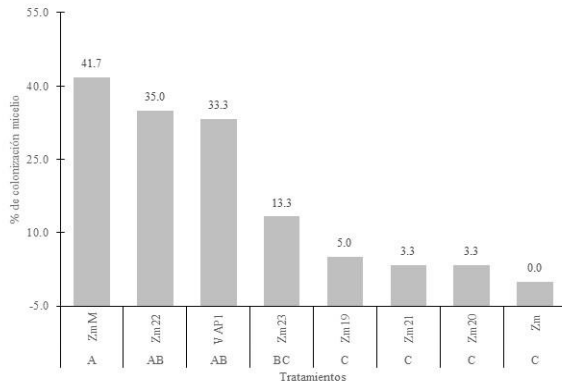
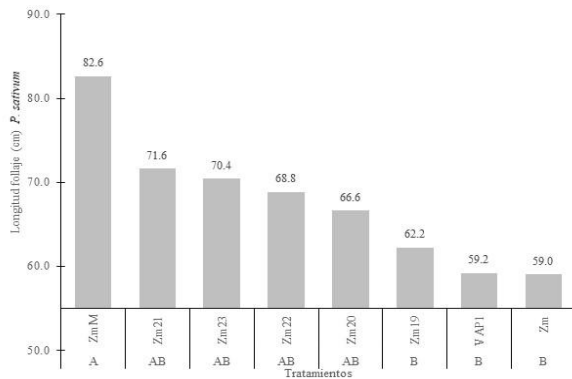


Figura 8 Longitud follaje de *P. sativum* en condiciones de invernadero



Medias con letra común no son significativamente diferentes (P>0.05)

Los resultados concuerdan con algunos investigadores, que obtuvieron 20 y 9 esporas de HMA *Gigaspora*/g de sustrato seco en 75 días de propagación³¹. También al propagar las especies de *Glomus geosporum* y *G. fasciculatum* en semillas de arveja y “ray grass” sembradas independientemente²⁰. Otros autores obtuvieron 24 y 28 esporas/g de suelo en *L. multiflorum* y 19.3 y 18.8 esporas/g de suelo en *P. sativum*. Mientras que, obtuvieron 49 y 430 esporas/g de sustrato, después de 150 días de micorrización, al propagar *Gigaspora margarita* y *Rhizophagus clarus* con *Brachiaria decumbens*^{31,32}. En com-

postaje, en condiciones de campo se obtiene un promedio de 250 esporas/100 g de suelo³³. En producción de EcoMic el inóculo agrícola oscila entre 20 a 30 esporas/g de sustrato³⁴. En muestras de suelo de cultivos de café oscila entre 75 a 1028 esporas/10 g de suelo, dichas esporas son aplicadas en el experimento en cultivos de café y al evaluar oscila entre 182 a 1860 esporas/10 g de suelo³⁵, el número de esporas de suelo de campo de siete localidades es bajo, mientras en suelo donde crecen en PH varía entre 80-1175 esporas/100 g³⁶.

En figura 5 se expresó que la media mayor de colonización con Zm23, 91.7% con significancia estadística, seguido de Zm19 45% y Zm22, 36.7%, con diferencias estadística.

El 50% de colonización arbuscular con la cepa *G. fasciculatum* y 6% con *G. geosporum*, en *L. multiflorum*²⁰. Sin embargo, en *P. sativum* obtienen 36% con *G. geosporum* y 27% de colonización con *G. fasciculatum*. Mientras, en el hospedero maíz entre 40 a 30% de colonización, en *L. multiflorum* 32.5 a 25.83% y en *Allium cepa* 30 a 15% de colonización¹⁹. El porcentaje de colonización de 12 inóculos de HMA en las plantas clonales de café fueron bajos, los consorcios presentaron mayores valores 36.94%, 23.33, 19.72 y 20.0% en frecuencia micorrízica³⁵.

En figura 6, la media mayor del porcentaje de colonización vesicular fue, el tratamiento ZmM tiene 60.0% con significancia, seguido de Zm20 30% y Zm21 30.0%, con diferencia estadística.

En la figura 7, la media mayor del porcentaje de colonización corresponde al tratamiento ZmM, con 41.7% de micelio, seguido de Zm22 35% y VAP1 33.3%. Los resultados son similares, en el que obtienen 77% de colonización de HMA nativos y concluyen que la técnica empleada proporciona un inóculo efectivo para su utilización³⁷. Asimismo, 25% de colonización cuando inocularon con suelo y raíces, 75% cuando inocularon con esporas de

HMA^{19,38}. El % de colonización total o la capacidad micotrófica en maíz oscila entre 8.2 a 16.4% y en tomate entre 3.4-10.5% de colonización micotrófica³⁶. Composta de Champiñón y micorriza originó

mayor porcentaje de colonización, 71.46-72.2%, gallinaza y *G. fasciculatum* 62.4 a 73.3% y 84.4% de hifas³⁹.

Tabla 3 Resumen de la propagación de hongos micorrizógenos arbusculares en *P. sativum* + *L. multiflorum*

Tratamientos	N° Esporas	% Colonización			Peso seco follaje g	Longitud follaje (cm)	
		Arbuscular	Vesicular	Micelio		<i>P. sativum</i>	<i>L. multiflorum</i>
VAP1 Consorcio HMA Agrobiología-UNSCH	43A	28.3 B	1.7 B	33.3 AB	15.51	59.2 B	21.8
Zm19 Consorcio HMA Agroecosistema-Paquecc	33 AB	45 AB	1.7 B	5.0 C	15.63	62.2 B	22.8
Zm23 Consorcio HMA - Agroecosistema-Macachacra	32 AB	91.7 A	6.7 B	13.3 BC	16.01	70.4 AB	24.4
Zm21 Consorcio HMA Agroecosistema-Huamanguilla	16 B	30.0 B	30.0 AB	3.3 C	14.23	71.6 AB	30.8
Zm22 Consorcio HMA Agroecosistema-Socos	19 AB	36.7 AB	3.3 B	35.0 AB	13.24	68.8 AB	26.4
Zm20 Consorcio HMA Agroecosistema-Villa Florida Iguain	30 AB	30.0 B	30.0 AB	3.3 C	15.37	66.6 AB	26.6
ZmM Consorcio HMA Agroecosistema-Mezcla	33 AB	31.7 B	60.0 A	41.7 A	13	82.6 A	28.6
Zm (testigo = sin inocular)	14 B	0,0 B	0,0 B	0,0 C	12.95	59,0 B	22,8

Medias con letra común no son significativamente diferentes (P>0.05)

Los consorcios de HMA de los agroecosistemas de Zm23, VAP1, Zm19, y mezcla ZmM, se propagan en los cultivos asociados de *P. sativum* + *L. multiflorum*, produciendo entre 32 a 43 esporas/g de suelo y 15 a 35% de colonización.

Sobre el peso seco de Follaje de *P. sativum* + *L. multiflorum*, en condiciones de invernadero. En la tabla 3, se observa que no existe diferencia estadística entre los tratamientos, sin embargo numéricamente todos los inoculados con consorcios de HMA, son superiores al testigo. Se destacan, Zm23, Zm19, VAP1 y Zm20, los cuales tienen 16.01, 15.63, 15.51 y 15.37 g de peso seco por UE, respectivamente, y superiores en comparación del testigo sin inocular, que alcanza sólo 12.95 g por UE, es decir, inferior a todos. Estos resultados son ligeramente superiores a los reportados por algunos autores, con pesos menores a los resultados en el presente trabajo de investigación. Se debe destacar que los tratamientos que presentan mayor peso seco del follaje, también tienen mayor número de esporas por gramo de suelo^{19,20}. Concluyendo, todos los inoculados con HMA superan en peso seco de follaje a Zm. Cuando se emplea como PH, maíz y toma-

te, a pesar que se registra incremento de materia seca pero no son significativos a Zm³⁶.

En figura 8, las medias de la longitud de la parte aérea de *P. sativum*. Se obtuvo 82.6 cm de longitud con el tratamiento ZmM, considerándose de mayor longitud frente a los demás. También Zm21, Zm23, Zm22 y Zm20, superan con significancia a Zm19, VAP1 y Zm.

En la tabla 3 la media de la longitud del follaje de *L. multiflorum*, se observa que no existe diferencia estadística significativa entre los tratamientos, sin embargo, todos los que fueron inoculados con los consorcios de HMA son superiores numéricamente frente al testigo que alcanza sólo 22.80 cm a excepción de VAP1 que tuvo 21.80. Estos resultados son similares y hasta superiores a los resultados obtenidos en *L. multiflorum* máximo un promedio de 6 cm de longitud del follaje^{20,40}.

Se determinó que los consorcios de HMA de los diferentes agroecosistemas que se emplearon corresponden a las especies de: *Claroideoglossum luteum*, *Funneliformis geosporum*, *Gigaspora* sp., *C. etunicatum*, *Sclerocystis* sp., *Entrophospora infrequens*, *Claroideoglossum* sp., y *Glomus microaggre-*

gatum. Se observó con mayor frecuencia especies de los géneros: *Funneliformis*, *Glomus*, *Claroideoglomus* y *Sclerocystis*.

Como aporte del presente trabajo, se pueden propagar estos consorcios de HMA en cultivos asociados de *L. multiflorum* y *P. sativum* y se aplicarán en cultivos de maíz en condiciones de campo con los consorcios de HMA Zm23, VAP1, Zm19 y ZmM en la segunda parte de esta investigación con fines de reducir el uso de fertilizantes químicos.

Conflictos de intereses

La investigación corresponde a una tesis doctoral de la primera etapa, se realizó en el laboratorio de Agrobiología Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga, con autofinanciamiento y no genera conflicto de interés.

Agradecimientos

La autora agradece a la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Huancavelica; por el apoyo científico, técnico y logístico.

Al Dr. Gregorio J. Arone Gaspar (asesor) y a la Dra. Laura Hernández Cuevas del Laboratorio de Micorrizas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala-México, por sus aportes y contribución durante la ejecución del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga, a través del Proyecto de investigación FO-CAM de: Recuperación, conservación y aplicación de hongos micorrízicos y entomopatogenos nativos en Vinchos y Chiara Ayacucho FOCAM, me facilitaron los equipos y ambientes.

Aspectos Éticos

La investigación es original de tesis doctoral y fueron aprobados en sus diferentes aspectos y procedimientos experimentales por los Jurados Evaluadores de la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Huancavelica.

Literatura Citada

1. Fernandez K, Fernández F, Rivera R, Olalde V. Micorrización in vitro e in vivo de plántulas de papa (*Solanum tuberosum* var. Alfa). *Cultrop* 2010;31(2):21-31.
2. Perez A, Rojas Sierra J, Donicer Monts V. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas 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>
3. Martínez J, Hernández L, Martínez S, Guerra V, Padilla LF. Manual para la propagación y micorrización de plantas arbustivas silvestres para la restauración de suelos degradados. Universidad Autónoma de Tlaxcala. México; 2009. 23p.
4. Peñaloza R, Sánchez C. Efecto de la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de *Lycopersicon esculentum* F. En: VII Simposio Nacional y IV Reunión Iberoamericana de la Simbiosis Micorrízica: 27 al 30 de Mayo de 2012, Xalapa, Veracruz. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2012. p. 21.
5. Guadarrama P, Camargo SL, Hernández L, Castillo S. Los hongos micorrizógenos arbusculares de la región de Nizanda, Oaxaca, México. *Bol Soc Bot Méx* 2007;(81):131-7. DOI: <http://doi.org/10.17129/botsci.1770>
6. Camargo SL, Montaña NM, De la Rosa CJ, Montaña A. Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Rev Digit Univ [Internet]*. 2012 [citado 5 de octubre de 2019];13(7):3-19. Recuperado a

- partir de: <http://www.revista.unam.mx/vol.13/num7/art72/#a>
7. Harris C, Esqueda M, Valenzuela EM, Castellanos A. Tolerancia al estrés hídrico en la interacción planta-hongo micorrízico arbuscular: metabolismo energético y fisiología. *Rev Fitotec Mex* 2009;32(4):265-71.
 8. Schlemper T, Stürmer SL. On farm production of arbuscular mycorrhizal fungi inoculum using lignocellulosic agrowastes. *Mycorrhiza* 2014;24(8): 571-80. DOI: <http://doi.org/10.1007/s00572-014-0576-5>
 9. Hernández L, Castillo S, Guadarrama P, Martínez Y, Romero MA, Sánchez I. Hongos micorrizógenos arbusculares del Pedregal de San Ángel [Internet]. México: Universidad Autónoma de Tlaxcala; 2003 [citado 22-de octubre de 2019]. 82 p. Recuperado a partir de: <http://repositorio.fcencias.unam.mx:8080/xmlui/handle/11154/3982>
 10. Bárcenas A, Varela L, Stürmer SL, Chávez AT, editores. Catálogo de hongos micorrizógenos arbusculares de huertos de aguacate de Michoacán, México. *Actas VII Congreso Mundial del Aguacate*; 2011 September 5-9; Cairns, Australia. Universidad Regional de Blumenau, Rua Richard Franz; 2011.
 11. Carreón Y, Treviño E, Beltrán MA, Martínez M, Trejo D, Gavito ME. Aislamiento y propagación de cultivos puros de hongos micorrízicos arbusculares provenientes de huertas de aguacate con diferente manejo agrícola por la técnica de minirizotrófon. *Rev Mex Mic* 2013;37:29-39.
 12. Shuab R, Lone R, Naidu J, Sharma V, Imtiyaz S, Koul K. Benefits of inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and development of Onion (*Allium cepa*) plant. *Am Eurasian J Agric Environ Sci* 2014;14(6):527-35. DOI: <http://doi.org/10.5829/idosi.aejaes.2014.14.06.12347>
 13. Davila L, Ramos J, Rosales C. Multiplicación de hongos micorrízicos arbusculares nativos de cultivo de cacao (*Theobroma cacao*) en maíz (*Zea mays*) bajo distintos tratamientos agronómico [tesis licenciatura]. Valledupar: Universidad Popular del Cesar; 2009.
 14. Bolaños VD. Efecto de la inoculación de tres dosis de micorrizas en el rendimiento de dos variedades de papa (*Solanum tuberosum*) en la zona de Mira, provincia del Carchi [tesis licenciatura]. El Angel-Ecuador: Universidad Técnica de Babahoyo; 2013. 56 p.
 15. Ferrera R, Gonzales MCA, Rodríguez MN. Manual de Agromicrobiología. 1ra Ed. México: Editorial Trillas; 2003.
 16. García O. Valoración de la combinación sustrato hospedero en la propagación de dos especies de hongos micorrizógenos arbusculares [tesis licenciatura]. Tlaxcala: México; Universidad Autónoma de Tlaxcala; 2000.
 17. Hernández L, García R. Propagación por esporas: El caso de las micorrizas arbusculares. En: Álvarez Sánchez FJ, Monroy Ata A, editores. Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2008. 29-42 p.
 18. Velázquez S, Cabello M. Occurrence and diversity of arbuscular mycorrhizal fungi in trap cultures from El Palmar National Park soils. *Eur J Soil Biol* 2011;47(4):230-5. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejsobi.2011.05.002>
 19. Gutiérrez J, Esquivel R, editores. Influencia de tipo de sustrato y planta hospedera en la colonización de *Glomus* sp. Ayacucho 2013. VIII Simposio Nacional y V Reunión Iberoamericana de la Simbiosis Micorrízica; 2016. México: Sociedad Mexicana de la Simbiosis Micorrízica.

- Universidad Autónoma Metropolitana Oaxtepec; 2016.
20. Esquivel R, Gonzáles W. Propagación y efectividad de dos especies de hongos beneficios en dos hospederos en condiciones de laboratorio. En: Resúmenes del XVI Congreso Nacional de Botánica: 2018, Ayacucho, Perú. Universidad Nacional San Cristóbal de Huamanga; 2018.
21. Esquivel R. Influencia de *Glomus* en formación de micorrizas y crecimiento de papa (*Solanum chaucha*) Ayacucho. En: VIII Simposio Nacional y V Reunión Iberoamericana de la Simbiosis Micorrízica. Mexico: Oaxtepec. Mexico, Ed. Única. Sociedad Mexicana de la Simbiosis Micorrízica (SOMESIMI), Universidad Autónoma Metropolitana Oaxtepec México. Universidad Autónoma Metropolitana Oaxtepec; 2016. 125 p.
22. Phillips JM, Hayman DS. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment to infection. *Trans Br Mycol Soc* 1970;55(1):158-61. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(70\)80110-3](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(70)80110-3)
23. Hernández L, Guadarrama I, Ramos J. Micorriza Arbuscular: Colonización intraradical y extracción de esporas de suelo. En: Álvarez Sánchez J, Monroy A, editores. Técnicas de estudio de las asociaciones micorrízicas y sus implicaciones en la restauración. México: Universidad Nacional Autónoma de México; 2008. p. 1-14.
24. 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 octubre de 2019]. 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>
25. Gerdemann JW, Nicolson TH. Spores of mycorrhizal Endogone species extracted from soil by wet sieving and decanting. *Trans Br Mycol Soc* 1963;46(2):235-44. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0007-1536\(63\)80079-0](https://doi.org/10.1016/S0007-1536(63)80079-0)
26. Daniels BA, Skipper HD. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil. In: Schenck NC, editors. *Methods and principles of mycorrhizal research*. USA: American Phytopathological Society; 1982. p. 29-35.
27. 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>
28. Martín GM, Arias L, Rivera R. Selección de las cepas de hongos micorrízicos arbusculares (HMA) más efectivas para la *Canavalia ensiformis* cultivada en suelo Ferralítico Rojo. *Cultrop* 2010;31(1):27-31.
29. Esquivel R, editor. Informe técnico de la estancia en laboratorio de Micorrizas del Centro de Investigación de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Tlaxcala. Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica. Fondo Nacional de desarrollo Científico, Tecnológico y de Innovación Tecnológica; 2015.
30. Calzada Benza J. *Métodos Estadísticos para la investigación*. 5ta Ed. Lima: 1982.
31. Jiménez Martínez A, González Chávez MCA, Gutiérrez Castorena C, Lara Hernández ME, García Cue JL. Producción de inóculo micorrízico de *Gigaspora gigantea* en mezclas de sustratos con diferente tamaño de partícula. *Agrocien* 2014;48(3):239-54.
32. Santos Anselmo L, De Souza FA, Berbara Ricardo LL, Guerra JGM. Establecimiento e capacidad infectiva de *Gigaspora margarita* e *Glomus*

- clarum* em solo sob erosão. Acta Bot Bras 2000;14(2):127-39. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0102-33062000000200001>
33. Luna Zendejas HS. Densidad poblacional de los hongos micorrícicos arbusculares en suelos agrícolas aplicados con composta [tesis doctoral]. México: Instituto Politécnico Nacional; 2012 [citado 26 de octubre de 2019]. Recuperado a partir de: <http://tesis.ipn.mx/handle/123456789/18416>
34. 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>
35. Sanchez Santillan T. Efecto de inóculos de hongos micorrízicos arbusculares en plantas clonales de café (*Coffea arabica* L.) variedad caturra en condiciones de invernadero, Rodríguez de Mendoza, Región Amazonas. [tesis licenciatura]. [Chachapoyas]: Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; 2017 [citado 26 de octubre de 2019]. Recuperado a partir de: <http://repositorio.unrtm.edu.pe/handle/UNTRM/1300>
36. Thougnon Islas AJ, Eyherabide M, Echeverría HE, Sainz Rozas HR, Covacevich F. Mycotrophic capacity and efficiency of microbial consortia of arbuscular mycorrhizal fungi native of soils from Buenos Aires province under contrasting management. Rev Argent Microbiol 2014;46(2):133-43. DOI: [http://doi.org/10.1016/S0325-7541\(14\)70062-8](http://doi.org/10.1016/S0325-7541(14)70062-8)
37. Tufiño Coloma AC. Efecto de la interacción de hongos micorrícicos arbúsculares (HMA) y la fertilización, sobre el crecimiento y desarrollo de plantas micropropagadas de banano (*Musa paradisiaca*) durante la fase de aclimatación [tesis licenciatura]. [Sangolquí]: Escuela Politécnica del Ejército; 2011 [citado 20 de octubre de 2019]. Recuperado a partir de: <https://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/3710>
38. Aguilar Ulloa W, Arce Acuña P, Galiano Murillo F, Torres Cruz TJ. Aislamiento de esporas y evaluación de métodos de inoculación en la producción de micorrizas en cultivos trampa. Tecnología en Marcha 2016; 29(Suppl 3):5-14. DOI: <http://doi.org/10.18845/tm.v29i7.2700>
39. Orozco Hernández LA, Pérez López DJ, González Huerta A, Franco Mora O, Rubí Arriaga M, Aguilera Gómez LI. Efecto de *Glomus fasciculatum* y su relación con tres abonos orgánicos en dos cultivares de haba. Rev Mex Cienc Agríc 2016;7(6):1423-37.
40. Vosátka M, Albrechtová J. Benefits of arbuscular mycorrhizal fungi to sustainable crop production. In: Khan M, Zaidi A, Musarrat J, editors. Microbial strategies for crop improvement. Berlin: Springer, Heidelberg; 2009. DOI: https://doi.org/10.1007/978-3-642-01979-1_10
41. Morton JB, Redecker D. Two new families of Glomales, Archaeosporaceae and Paraglomaceae, with two genera *Archaeospora* and *Paraglomus*, based on concordant molecular and morphological characters. Mycologia 2000;93(1):181-95. DOI: <http://doi.org/10.1080/00275514.2001.12063147>

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.