

Efecto de la micorriza (*Glomus Intraradices*), en el rendimiento de dos variedades de papa (*Solanum Tuberosum L.*) en el Altiplano de Puno - Perú

Effect of mycorrhiza (*glomus intraradices*), on the yield of two potato varieties (*solanum tuberosum l.*) in the highlands of Puno - Peru

Juan Carlos Luna Quecaño^{1*}, Juan Gregorio Zapana Pari¹, Alberto Magno Cutipa Limache² & Nelino Florida Rofner³

¹ Instituto Centro Regional de Estudios de Agricultura Alternativa CREEA -"La chira" de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú

² Facultad de Ciencias Contables y Administrativas de la Universidad Nacional del Altiplano, Puno, Perú

³ Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Aguas. Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María, Perú

*Autor para correspondencia: lunaq_jc@hotmail.com

Juan Carlos Luna Quecaño  <https://orcid.org/0000-0002-4440-9276>

Juan Gregorio Zapana Pari  <https://orcid.org/0000-0002-6460-5397>

Alberto Magno Cutipa Limache  <https://orcid.org/0000-0001-8584-6424>

Nelino Florida Rofner  <https://orcid.org/0000-0002-8751-4367>

ARTÍCULO ORIGINAL

INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Artículo recibido: 15/09/2019
Artículo aceptado: 23/12/2019
En línea: 22/01/2020

PALABRA CLAVES:

Cultivo de papa,
micorrizas,
rendimiento,
imbiosis.

ORIGINAL ARTICLE

ARTICLE INFORMATION

Article received: 15/09/2019
Article accepted: 23/12/2019
On line: 22/01/2020

KEYWORD

Potato cultivation,
mycorrhizae,
yield,
symbiosis.

RESUMEN

El uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas químicos traen consecuencias negativas, nada amigable para el medio ambiente, por otra parte, el uso de abonos orgánicos (hongos micorrizicos) es una alternativa para una agricultura saludable, conservando la biodiversidad, y sobre todo respetando nuestro planeta. La investigación se realizó en Puno 3,820 msnm, con el objetivo de determinar el efecto de la aplicación de hongo micorrizico vesiculo arbuscular, (*Glomus intraradices*) como MicorrizaFer, en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) en dos variedades Imilla negra y Compis, en condiciones de secano durante la campaña agrícola 2015-2016. La metodología de la investigación es experimental, descriptivo y secuencial. Se aplicó cinco dosis: 1,00; 0,75; 0,50; 0,25 y 0,00 g por planta, previa inoculación del hongo micorrizico sobre el tubérculo. Para la distribución de tratamientos se utilizó el diseño de Bloque Completo al Azar (BCA), y los datos se analizaron bajo un arreglo factorial 2 x 5, variedades y dosis, con tres repeticiones; el rendimiento se determinó mediante el método gravimétrico. El resultado indica que el mayor rendimiento se obtuvo con la dosis de 1,00 g de MicorrizaFer por planta, 14,01 t.ha⁻¹ en la variedad Imilla Negra y 13,82 t.ha⁻¹ en la variedad Compis, siendo superior al testigo en 7,02% y 5,97% respectivamente. sin adicionar fertilización química ni control químico de plagas y enfermedades. Factores que pudieron desfavorecer los resultados de la investigación se atribuiría a la altitud en la que se realizó la investigación a 3,820 msnm.

ABSTRACT

Excessive use of chemical fertilizers and pesticides have negative consequences, not friendly to the environment, on the other hand, the use of organic fertilizers (mycorrhizal fungi) is an alternative for healthy agriculture, conserving biodiversity, and above all respecting our planet. The research was carried out in Puno 3,820 meters above sea level, with the aim of determining the effect of the application of mycorrhizal fungus, arbuscular vesicle, (*Glomus intraradices*) such as MicorrizaFer, on the yield of potato cultivation (*Solanum tuberosum L.*) in two black Imilla varieties and Compis, in drying conditions during the 2015-2016 agricultural campaign. The research methodology is experimental, descriptive and sequential. Five doses were applied: 1,00; 0,75; 0,50; 0,25 and 0,00 g per plant, prior inoculation of the mycorrhizal fungus on the tuber. For the distribution of treatments, select the Random Complete Block (BCA) design, and the data will be analyzed under a 2 x 5 factorial arrangement, varieties and doses, with three repetitions; the yield was determined by the gravimetric method. The result indicates that the highest yield is obtained with the dose of 1,00 g of Micorriza for plant, 14,01 t.ha⁻¹ in the Imilla Negra variety and 13,82 t.ha⁻¹ in the Compis variety, being higher than the control in 7,02% and 5,97% respectively. without adding chemical fertilization or chemical control of pests and diseases. Factors that could undermine the results of the investigation would be attributed to the altitude at which the investigation was conducted at 3,820 meters above sea level.

INTRODUCCIÓN

El cultivo de papa en diversas partes del mundo, como en los andes del Perú son tubérculos indispensables e importantes para la alimentación de la humanidad como dieta humana y de la seguridad alimentaria. Por tanto, son cultivos altamente demandados, por los que es necesario su monitoreo permanente de rendimiento para garantizar su calidad antes de la comercialización, procesamiento y otras actividades posteriores a la cosecha, como acciones primordiales que los consumidores y procesadores de alimentos deben tener información oportuna y veraz. (Sanchez, Hashim, Shamsudin, & Mohd Nor, 2020).

Sin embargo, los procesos microbiológicos de cultivo de papas desempeñan un papel preponderante en el desarrollo de la fertilidad del suelo y en la nutrición de las plantas (Marrache, Florida, & Escobar-Mamani, 2019), ellas además, están inmersos dentro de diversos factores externos e internos críticos de procesos biológicos, inducidos por tóxicos que perturban el desarrollo y su rendimiento, incluido la presencia de metales pesados, como el cadmio (Cd) que es un elemento tóxico que puede acumularse en las plantas y representa una amenaza para la salud humana a través de la biomagnificación. Existen diferencias en los niveles de Cd entre los diferentes tejidos vegetales. Por lo tanto, se necesita con urgencia un cultivo óptimo que posea bajos niveles de Cd y otros tóxicos que permita mejorar la producción y la productividad evitando los agentes contaminantes. (Wang et al., 2019; Ye et al., 2019).

Dentro de ese contexto, es necesario explorar el comportamiento de cultivares y las enfermedades de plantas que pudieran ser objeto, entre otros, los hongos micorrízico vesículo arbusculares (HMVA) es una de

ellas, como organismos que viven en el suelo, en relación simbiótica con la mayoría de plantas, a las que aportan nutrientes de baja disponibilidad o de poca movilidad en el suelo, evitando la acción de microorganismos patógenos en las raíces, aumentando por consiguientemente la tolerancia de la planta a condiciones de stress por factores adversos, (Barman, Gohain, Bora & Tamuli, 2018; Coninx, Martinova & Rineau, 2017), por lo que, entre otros beneficios se puede considerar; el establecimiento de la simbiosis entre el hongo y las raíces de las plantas que lleva a una secuencia de etapas de reconocimiento causando cambios morfológicos y fisiológicos en los organismos que interactúan; el uso de HMVA en la agricultura contribuye a mejorar el nivel nutricional de la planta, (FAO, 2019).

Fernandez et al., (2019) hizo el control biológico de las enfermedades fúngicas mediante el uso de plantas genéticamente modificadas (GM) monitoreando líneas de papa con sobreexpresión de genes que codifican péptidos con propiedades antifúngicas sobre sus efectos sobre el hongo patógeno del suelo *Rhizoctonia solani* y hongos AM. Las seis líneas de papa GM (AG-1, AG-3, RC-1, RC-5, AGRC-8 y AGRC-12) evaluadas mostraron una mayor reducción en índices de infección en comparación con plantas no transformadas cuando se desafía con una cepa altamente virulenta de *R. solani*. (Hoysted et al., 2018) El crecimiento de las líneas RC-1, RC-5 y AGRC-12 permaneció casi inalterado por el patógeno; El nivel de colonización de la raíz por el hongo AM *Rizopagus intraradices* (aislado in vitro puro) no difirió significativamente entre las líneas de papa transgénica y salvaje en condiciones in vitro y de microcosmos. Además de los ensayos de *R. intraradices*. Las raíces de la línea AGRC-12 GM mostraron niveles significativamente más altos de micorrización nativa y desarrollo

de arbuscules. En general, las líneas de papa aparentemente fueron menos receptivas al inóculo puro de *R. intraradices* que a las especies AM del inóculo natural. En este trabajo, las líneas de papa GM seleccionadas no tuvieron efectos adversos evidentes en la colonización por hongos AM. (Ryan, et al, 2000).

Bharadwaj, Lundquist & Alström, (2008) de un total de 385 bacterias previamente aisladas de esporas de hongos AM (AMB), se seleccionaron 10 en función de la capacidad de inhibir el crecimiento de patógenos de plantas. La colonización de la raíz por hongos AM de la papa fue 7 veces mayor en presencia del aislado *Pseudomonas FWC70* en un invernadero. Los aislamientos de *Pseudomonas FWC16*, *FWC30* y *FWC70* estimularon varios rasgos de crecimiento de la papa y el aislante de *Stenotrophomonas FWC14*. (Gianinazzi, et al, 2007) Llegamos a la conclusión de que algunos AMB son multifuncionales y que la producción de enzimas extracelulares y compuestos bioactivos son probablemente mecanismos para sus actividades multifuncionales. Nuestros resultados muestran que es probable que algunos AMB contribuyan a la capacidad a menudo descrita de los hongos AM para inhibir patógenos, adquirir nutrientes minerales y modificar el crecimiento de las raíces de las plantas.

Bharadwaj, Lundquist & Alström (2007) evalúan suelos de rizosfera de 12 especies de plantas diferentes cultivadas como monocultivos en el norte de Suecia se usaron como inóculo en la papa para investigar los rasgos micorrízicos. Las raíces de papa mostraron una colonización micorrízica significativamente mayor cuando se inocularon con muestras de suelo de *Festuca ovina* y *Leucanthemum vulgare* en comparación con muestras de suelo de otras plantas.

La identificación morfológica de esporas mostró que se encontraron *glomus mosseae* e *intraradices de Glomus* en suelos de *F. ovina* y *L. vulgare* en el sitio, así como en nuestro experimento de trampa de papa. Además, las esporas de *Glomus geosporum* estuvieron presentes en los suelos de las cuatro plantas en el experimento de la trampa de papa. Se obtuvieron secuencias de ADN_r de LSU a partir de esporas de hongos de AM del sitio de recolección o experimento de trampa de papa y raíces de papa colonizadas inoculadas con suelo de *L. vulgare*. (Uzoh & Babalola, 2018).

Quiñones et al., (2012) Evaluó la respuesta de papaya (*Carica papaya L.*) a la inoculación con la cepa de HMA *Glomus sp. Zac-2* y con fertilización fosfatada. Los resultados obtenidos mostraron diferencias significativas (Tukey, P £ 0,05); las plantas inoculadas mostraron incrementos en crecimiento con respecto a las plantas sin inocular de 486,51% en AP; 594,31% en DT; 1084,61% en AF; 6962,35% en VR; 13591,43% en PSR y 4992.03% en PSF. La respuesta de las plantas a la fertilización fue variable y ésta dependió de la dosis y fuente de P y de la interacción de ambos factores con los HMA. Los resultados mostraron que las plantas de papaya responden positivamente a estos microorganismos, lo que les permite aprovechar mejor el P disponible del suelo y con ello favorecer su adaptación en campo. (Cosme, Fernández, Van der Heijden & Pieterse, 2018) sugieren que los HMA son benéficos, en condiciones de sustrato libre de otros microorganismos, durante la etapa de producción de plántulas de papaya en vivero.

El impacto de los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) sobre el crecimiento y los rasgos fisiológicos de las plantas de fenogreco (*Trigonella foenum-graecum L.*), expuestas a concentraciones variables de sal (NaCl 0 75 y 150 mm) - (Kaushik, et al, 2018). Los

resultados revelan que la mayor concentración de sal causó una disminución en el crecimiento. Sin embargo, la inoculación con HMA mejoró el crecimiento, contenido de prolina, niveles de antioxidante, enzimas y fosfatasa en las plantas de fenogreco, en comparación con el cultivo testigo. Se concluye que las plantas de fenogreco inoculadas con HMA fue efectiva tolerante a la salinidad.

Estudios en campos de arroz, indican que los microorganismos (cianobacterias de arroz) desempeñan un papel importante en la construcción de la fertilidad del suelo. Este estudio indica que las cianobacterias dominantes fijadoras de N₂, *Nostoc linckia filamentosa*, *heterocistosa* y *Aphanothece pallida unicelular*, crecieron hasta 25 días después de la inoculación. En general, se observó que las combinaciones de estos agroquímicos benthiocarb y metacid, causaron toxicidad aditiva a las cianobacterias heterocistas, mientras que estas fueron promotoras a las unicelulares. (Kaushik et al., 2018).

La evaluación potencial promotor del crecimiento vegetal en cuatro variedades de maíz, rábano, pepino, tomate, pimiento y papa, en condiciones de invernadero y campo. Se comparó el efecto de inoculación con *G. diazotrophicus*, su mutante nif y cepas de otros géneros, incluyendo *Pseudomonas*, *Azospirillum*, *Enterobacter*, *Burkholderia* y *Sphingobacterium*; cepas productoras de ácido indólico y fijadora de nitrógeno con capacidad de solubilización de fosfato. (Arora, 2017). Promove el crecimiento de la planta en la mayoría de los casos. Su efecto promotor del crecimiento varió en el medio del cultivo tisular dependiendo de la concentración de sacarosa, ya que está relacionado con la producción de IAA y etileno. Según los datos presentados aquí, los autores recomiendan su uso como biofertilizantes.

existen diversos estudios sobre la disponibilidad de nitrógeno del suelo (N), las plantas forman asociaciones micorrizas, y que absorben los nutrientes, las micorrizas ecto y ericoides influyen en la nutrición N de las plantas, pero los roles de las micorrizas arbusculares en la nutrición N están menos bien establecidos; quizás aún más importante, los modelos conceptuales actuales ignoran las posibles influencias de los hongos micorrízicos arbusculares (MA) en los procesos de ciclado de N. (Veresoglou, Chen, & Rillig, 2012). Revisó la evidencia de la interacción entre la simbiosis de MA con microbios y los procesos implicados en el N-ciclo del suelo. Describimos los mecanismos que potencialmente podrían operar con respecto a MA interacciones entre hongos y N-ciclos.

Por otra parte Cosme, et al, (2018) indican que la interacción simbiótica generalizada entre las plantas y los hongos micorrizales arbusculares (AM) se basa en un diálogo molecular complejo con beneficios recíprocos en términos de nutrición, crecimiento y protección. Las supuestas plantas no hospedadas pueden ser colonizadas por hongos AM y desarrollar fenotipos rudimentarios de AM (RAM). Aquí hacemos un acercamiento a la familia de la mostaza (Brassicaceae), que alberga hospedadores AM, no hospedadores y especies no hospedadas supuestas, tales como *Arabidopsis thaliana*, para la cual se ha descrito colonización RAM condicional. Alertemos que los fenotipos RAM y los elementos genómicos redundantes del A la “caja de herramientas” simbiótica le faltan enlaces que pueden ayudar a desentrañar las limitaciones genéticas que impulsan la evolución de la incompatibilidad simbiótica.

Investigaciones realizadas por (Biofabrica Siglo XXI, 2019) El uso de la asociación de hongos micorrizicos vesiculo arbuscular en

la agricultura reduce costos de producción, se obtienen cultivos sanos y productivos, cosechas tempranas, es totalmente biológico, aumenta los rendimientos de los cultivos hasta en un 30%, reduce costos de producción, incrementa la salud del cultivo y del suelo, reduce el consumo de agua, mejora el aprovechamiento del agua hasta en un 30%, mejora la planta desde la raíz, promueven la absorción del nitrógeno ambiental, ayuda a la solubilización de nutrientes esenciales como el fósforo y el potasio, estimula la formación de hormonas que ayudan a crear un sistema radicular de mayor tamaño (García, et al, 2016), los hongos micorrizicos vesiculo arbusculares se encuentran de manera natural en el suelo (bacterias y hongos), no contaminan al suelo, ni daño al hombre. Estos microorganismos fungen como mejoradores de la calidad del suelo y conservadores del medio ambiente (Gianinazzil, et al, 2007).

El trabajo radica en conocer los efectos de la aplicación del hongo *Glomulus intrarradices*, en el cultivo de papa en ambiente abierto a 3,820 m de altitud. Basándonos en la bibliografía revisada, debería ser un éxito; puesto que, los resultados a nivel de laboratorio e invernaderos, a altitudes menores, fueron potencializados ampliamente (Strullu-Derrien, 2018).

El objetivo fue determinar el efecto de la aplicación de hongo micorrizico vesiculo arbuscular, (*Glomus intrarradices*) como MicorrizaFer, en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum L.*) en dos variedades Imilla negra y Compis.

MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología de la investigación fue experimental, descriptivo y secuencial, se realizó en el centro poblado de Ichu, a orillas

del lago Titicaca, al Sur de la ciudad de Puno, donde la agricultura es de secano, con características de subsistencia, en ambiente de clima templado y frio a 3,820 m de altitud, cuya ubicación geográfica es 0396841 E y 8247102 N.

La aplicación de hongos micorrizicos en forma de MicorrizaFer® al cultivo de papa, se realizó sin adicionar fertilización química ni control químico de plagas y enfermedades. Las labores culturales fueron realizadas manualmente con jornaleros. Las evaluaciones se realizaron de acuerdo a los objetivos, conocer el efecto de la aplicación del HMVA, en el rendimiento del cultivo de papa, Tabla 1.

Tabla 1.

Dosis de hongos micorrizicos micorrizafer aplicado en el cultivo de papa en dos variedades. Puno. 2016.

Nº	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Tratamiento	T ^I	T ^I	T ^{II}	T ^{II}	T ^{III}	T ^{III}	T ^{IV}	T ^{IV}	CT	CT
Dosis	1,0	1,00	0,75	0,75	0,50	0,50	0,25	0,25	00	00
HMVA	0g	g	g	g	g	g	g	g	g	g
Variedad	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b

a = Imilla Negra; b = Compis; T= tratamiento; CT= cultivo testigo.

a) Aplicación de hongos micorrizicos, a inocular el tubérculo de papa con HMVA MicorrizaFer®, el adherente carboximetilcelulosa, se mezcló en 1,5 litros de agua el contenido de un sobre, se agitó vigorosamente, dejando reposar durante 12 horas, luego se recubrió los tubérculos de papa con el adherente líquido según el número de tubérculos por tratamiento y se agregó el contenido del biofertilizante según la cantidad por tratamiento, asimismo, se mezcló hasta que la semilla quedó uniformemente recubierta con el biofertilizante MicorrizaFer®; luego se extendió esta semilla a luz indirecta (sombra) para secar durante dos horas, lo que permitió que el exceso de humedad se evapore y que el biofertilizante no se desprenda (Biofabrica Siglo XXI, 2015).

El HMVA MicorrizaFer® se pesó en el laboratorio de Aguas y Suelos de la Universidad Nacional del Altiplano Puno, según la cantidad a aplicar en los diferentes tratamientos, tabla 1.



Figura 1. Tubérculo inoculado con hongo micorrizico vesiculo arbuscular MicorrizaFer® adherida con carboximetilcelulosa.



Figura 2. Vista en microscopio, hongo micorrizico Glomus intraradices.

DISEÑO EXPERIMENTAL

Se uso el Diseño experimental de Bloque Completos al Azar (BCA), con tres repeticiones y los resultados se analizaron bajo un arreglo

factorial 2 x 5, donde el factor (A) representa las variedades y el factor (B) la dosis. Para el análisis de varianza (ANVA) se utilizó el paquete estadístico SAS-V8; se sometió a la prueba de comparación de promedios de TUKEY ($p < 0,01$). (MCKay & Scharman, 2015) Para realizar el análisis estadístico fue necesario, realizar la transformación de datos obtenidos, según la ecuación $XM = \sqrt{X+1}$ propuesta por Calzada, (1982), donde: XM = dato modificado; X = dato existente, debido a que no serían confiables por su naturaleza.

RESULTADOS

En la tabla 2, se observa que el rendimiento obtenido fue superior en parcelas que recibieron tratamientos con HMVA, en ambas variedades: Imilla Negra y Compis con 7,02% y 5,97% en comparación con el testigo. resulta importante destacar que el rendimiento del cultivo de papa, variedad Imilla Negra fue ligeramente superior a la variedad Compis. El rendimiento obtenido fue 14,01 t.ha⁻¹ en la variedad Imilla Negra y 13,82 t.ha⁻¹ en la variedad Compis, y el testigo dio 13,02 y 12,99 t.ha⁻¹ respectivamente. Al respecto se puede indicar que los factores adversos, principalmente el veranillo registrado en la semana 22 a 23 después de la siembra (SENAMHI 2016) influyeron para que el rendimiento de papa sea bajo, no permitiendo la manifestación fehaciente del efecto de la aplicación de HMVA en el cultivo de papa.

Tabla 2.

Análisis de varianza del efecto del HMVA (MicorrizaFer®) sobre el rendimiento del cultivo de papa variedad Imilla Negra y Compis. Puno. 2016.

Origen de las variaciones	Grados de libertad	Suma de cuadrados	cuadrado medio	F	Probabilidad P>F	Sig.
Repeticiones	2	0,15625	0,078125	2.243	0,134	NS
Factor A	1	1,112793	1,112793	31,9486	0,000	**
Factor B	4	0,833496	0,208374	5,9825	0,003	**
Interacción	4	0,087891	0,021973	0,6308	0,649	NS
Error	18	0,626953	0,034831			
Total	29	2,817383				

Fuente: elaboración Propia 2016.

** = Altamente significativo; NS = No significativo

Según los análisis estadísticos SAS el rendimiento del cultivo de papa inferidos a toneladas por hectárea mostraron resultados significativos, la expectativa esperada fue obtener resultados altamente significativos respecto al cultivo testigo. Asimismo, el rendimiento fue levemente superior en los tratamientos inoculados en relación con el testigo; en promedio general el tratamiento de tubérculos de papa variedad Imilla Negra y Compis con aplicación de HMVA fue de 7,02% y 5,97%, respecto al cultivo testigo. Resulta importante destacar que, si bien los valores alcanzados en el rendimiento del cultivo de papa tratadas con HMVA fueron bajos, la variedad Imilla Negra obtuvo resultados ligeramente superiores a la variedad Compis, comparados con el testigo. Se conoce que la variedad Imilla Negra y Compis tiene un rendimiento promedio máximo de 14,01 y 13,82 t.ha⁻¹ respectivamente, y el cultivo testigo en sus dos variedades Imilla Negra y Compis obtuvo un promedio de 13,02 y 12,99 t.ha⁻¹ respectivamente. Concluimos indicando que, los factores externos (climatológicos) influyeron en el rendimiento del tubérculo de papa. Asimismo, respecto al efecto que tiene los HMVA sobre el cultivo de papa es evidente.

La variedad Compis (tratamiento I), a pesar de que tuvo mayor número de tubérculos por planta (tubérculos menudos), no tuvo igual rendimiento que el cultivo de papa variedad Imilla Negra, se deduce que el número de tubérculos no siempre refleja el rendimiento, por resultar con menor peso promedio por planta.

Tabla 3.

Prueba de significación de Tukey para rendimiento de tubérculo en dos variedades. Puno 2016.

Nº	Variedad	clave	Rango
1	Imilla Negra	(a)	A
2	Compis	(b)	B

a = Imilla Negra; b = Compis

Porotrolado, en la figura 1, según la clasificación de tubérculos realizado por Huanco (2006) en peso de tubérculos por gramo (mayores a 80 g extra; 60 a 80 g Primera; 40 a 60 g Segunda; 20 a 40 g tercera; menores a 20 g Muñi), en la investigación se expresó relacionando en porcentajes /hectáreas y se obtuvo tubérculos mayores a 80 gr extra 0,00 % /ha⁻¹; tubérculos de 60 a 80 gr primera 13,87% /ha⁻¹; tubérculos de 40 a 60 gr segunda 31,71% /ha⁻¹; tubérculos de 20 a 40 gr tercera 48,74% /ha⁻¹; tubérculos menores a 20 gr muñi 5,68% / ha⁻¹.

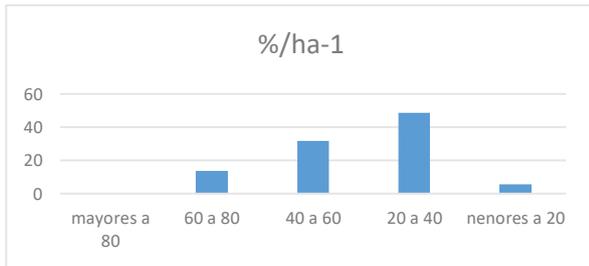


Figura 3. Clasificación de tubérculos por gramos.

DISCUSIÓN

La expectativa esperada fue obtener resultados altamente significativos respecto al cultivo testigo, no siendo este el caso; (Biofabrica Siglo XXI) realizó trabajos similares, a una altitud de 1,500 msnm. Con resultados favorables obteniendo rendimientos hasta en un 30% más respecto al cultivo testigo. Comparando resultados, podemos indicar que diferimos ampliamente respecto a Biofabrica siglo XXI; solo se obtuvo un 7,02% más, en la variedad Imilla Negra y 5,97% más, en la variedad Compis respecto al cultivo testigo. Factores que pudieron desfavorecer los resultados de la investigación se atribuiría a la altitud en la que se realizó la investigación a 3,820 msnm.

Trabajos similares evaluaron la inoculación de hongos micorrizicos vesiculo arbusculares *Glomus sp.* en diferentes cultivos como papa, papaya y fenogreco (Fernández et al., 2019 (Esmeralda et al., 2012) (Kaushik et al., 2018)) tienen resultados favorables, lo que fortalece los trabajos sobre la aplicación del hongo micorrizicos en la agricultura, facilitando la recuperación de suelos degradados, mejorando el suministro de nutrientes como nitrógeno y fósforo a las plantas siendo una alternativa saludable para el medio ambiente (Basu, Rabara, & Negi, 2018; Strullu-Derrien, 2018).

CONCLUSIONES

1. En el altiplano de Puno, la aplicación de hongos micorrizicos vesiculo arbusculares (HMVA) en la agricultura, sirve como alternativa orgánica al uso de fertilizantes y plaguicidas químicos, por mejorar los rendimientos en el cultivo de papa. Con prácticas amigables al medio ambiente
2. La aplicación del hongo micorrizico vesiculo arbuscular a una altitud de 3,820 metros, como producto Micorrizafer, en el cultivo de papa, incrementa el rendimiento en 7,02% en la variedad imilla negra y 5,97% en la variedad Compis respecto al cultivo testigo.
3. El efecto de la aplicación del hongo micorrizico vesiculo arbuscular como producto Micorrizafer, es notorio la inoculación en la variedad Imilla Negra que en la variedad Compis, sin adicionar fertilización química ni control químico de plagas y enfermedades, logrando un rendimiento de 14,01 t.ha⁻¹ en la variedad Imilla Negra y 13,82 t.ha⁻¹ en la variedad Compis, y el cultivo testigo en sus dos variedades Imilla Negra y Compis obtuvo un promedio de 13,02 y 12,99 t.ha⁻¹ respectivamente.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Arora, N. K. (n.d.). *Rhizotrophs: Plant Growth Promotion to Bioremediation*.
- Barman, A., Gohain, D., Bora, U., & Tamuli, R. (2018). Phospholipases play multiple cellular roles including growth, stress tolerance, sexual development, and virulence in fungi. *Microbiological*

- Research, 209(December 2017), 55–69. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2017.12.012>
- Basu, S., Rabara, R. C., & Negi, S. (2018). AMF: The future prospect for sustainable agriculture. *Physiological and Molecular Plant Pathology*, 102, 36–45. <https://doi.org/10.1016/j.pmpp.2017.11.007>
- Bharadwaj, Dharam P., Lundquist, P. O., & Alström, S. (2007). Impact of plant species grown as monocultures on sporulation and root colonization by native arbuscular mycorrhizal fungi in potato. *Applied Soil Ecology*, 35(1), 213–225. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2006.04.003>
- Bharadwaj, Dharam Parkash, Lundquist, P. O., & Alström, S. (2008). Arbuscular mycorrhizal fungal spore-associated bacteria affect mycorrhizal colonization, plant growth and potato pathogens. *Soil Biology and Biochemistry*, 40(10), 2494–2501. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2008.06.012>
- Coninx, L., Martinova, V., & Rineau, F. (2017). Mycorrhiza-Assisted Phytoremediation. *Advances in Botanical Research*, 83, 127–188. <https://doi.org/10.1016/bs.abr.2016.12.005>
- Cosme, M., Fernández, I., Van der Heijden, M. G. A., & Pieterse, C. M. J. (2018). Non-Mycorrhizal Plants: The Exceptions that Prove the Rule. *Trends in Plant Science*, 23(7), 577–587. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2018.04.004>
- Esmeralda, E., Hongos, I. D. E., Arbusculares, M., Fosfatada, Y. F., Quiñones-aguilar, E. E., & Hernández-acosta, E. (2012). Interacción De Hongos Micorrízicos Arbusculares Y Fertilización Fosfatada En Papaya. *Terra Latinoamericana*, 30(2), 165–176.
- Fernandez Bidondo, L., Almasia, N., Bazzini, A., Colombo, R., Hopp, E., Vazquez-Rovere, C., & Godeas, A. (2019). The overexpression of antifungal genes enhances resistance to rhizoctonia solani in transgenic potato plants without affecting arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Crop Protection*, 124(June 2018), 104837. <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2019.05.031>
- Garcia, K., Doidy, J., Zimmermann, S. D., Wipf, D., & Courty, P. E. (2016). Take a Trip Through the Plant and Fungal Transportome of Mycorrhiza. *Trends in Plant Science*, 21(11), 937–950. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2016.07.010>
- Gianinazzi-Pearson, V., Séjalon-Delmas, N., Genre, A., Jeandroz, S., & Bonfante, P. (2007). Plants and Arbuscular Mycorrhizal Fungi: Cues and Communication in the Early Steps of Symbiotic Interactions. *Advances in Botanical Research*, 46(07), 181–219. [https://doi.org/10.1016/S0065-2296\(07\)46005-0](https://doi.org/10.1016/S0065-2296(07)46005-0)
- Hoysted, G. A., Kowal, J., Jacob, A., Rimington, W. R., Duckett, J. G., Pressel, S., ... Bidartondo, M. I. (2018). A mycorrhizal revolution. *Current Opinion in Plant Biology*, 44, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2017.12.004>
- Kaushik, M. S., Dash, N. P., Kumar, A., Abraham, G., & Singh, P. K. (2018). Tolerance of wetland rice field's cyanobacteria to agrochemicals in cultural condition. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 13, 236–243. <https://doi.org/10.1016/j.bcab.2017.12.016>
- Marrache, K., Florida, N., & Escobar-Mamani, F. (2019). Indicadores químicos y microbiológicos del suelo bajo aplicación de microorganismos eficientes en plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 6(2), 21–28. Retrieved from <http://riiarn.agro.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/124/110>

- MCKay, C., & Scharman, E. J. (2015). Intentional and inadvertent chemical contamination of food, water, and medication. *Emergency Medicine Clinics of North America*, 33(1), 153–177. <https://doi.org/10.1016/j.emc.2014.09.011>
- Ryan, N. A., Duffy, E. M., Cassells, A. C., & Jones, P. W. (2000). The effect of mycorrhizal fungi on the hatch of potato cyst nematodes. *Applied Soil Ecology*, 15(2), 233–240. [https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00099-8](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00099-8)
- Sanchez, P. D. C., Hashim, N., Shamsudin, R., & Mohd Nor, M. Z. (2020). Applications of imaging and spectroscopy techniques for non-destructive quality evaluation of potatoes and sweet potatoes: A review. *Trends in Food Science and Technology*, 96(December 2019), 208–221. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.12.027>
- Strullu-Derrien, C. (2018). Fossil filamentous microorganisms associated with plants in early terrestrial environments. *Current Opinion in Plant Biology*, 44, 122–128. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2018.04.001>
- Uzoh, I. M., & Babalola, O. O. (2018). Rhizosphere biodiversity as a premise for application in bio-economy. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 265(May), 524–534. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2018.07.003>
- Veresoglou, S. D., Chen, B., & Rillig, M. C. (2012). Arbuscular mycorrhiza and soil nitrogen cycling. *Soil Biology and Biochemistry*, 46, 53–62. <https://doi.org/10.1016/j.soilbio.2011.11.018>
- Wang, Y., Zhang, N., Li, T., Yang, J., Zhu, X., Fang, C., ... Si, H. (2019). Genome-wide identification and expression analysis of StTCP transcription factors of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Computational Biology and Chemistry*, 78, 53–63. <https://doi.org/10.1016/j.compbiolchem.2018.11.009>
- Xxi, B. S. (n.d.). Biofabrica siglo xxi, (01 55), 1–2.
- Ye, Y., Dong, W., Luo, Y., Fan, T., Xiong, X., Sun, L., & Hu, X. (2019). Cultivar diversity and organ differences of cadmium accumulation in potato (*Solanum tuberosum* L.) allow the potential for Cd-safe staple food production on contaminated soils. *Science of the Total Environment*, 134534. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134534>