

Co-inoculación de hongos micorrícicos arbusculares y hongos solubilizadores de fósforo sobre un andisol cultivado con papa variedad Desirée

Co-inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi and phosphorus solubilizing fungi in Andisol cultivated with potato variety "Desirée"

Claudia Castillo^{1, 2*}, Nelson Hormazábal¹, Jaime Solano¹, Alfredo Morales^{3, 4, 5}

RESUMEN

La papa requiere una elevada fertilización fosfatada, lo que incrementa los costos de producción y afecta negativamente al agroecosistema. La inoculación del suelo con hongos solubilizadores de fósforo (HSP) y hongos micorrícicos arbusculares (HMA) surge como una alternativa para alcanzar sistemas productivos de menor impacto ambiental y que mejoran la nutrición vegetal. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la inoculación de un HMA (*Claroideoglobus claroideum*, Cc) solo o en interacción con dos HSP (*Talaromyces pinophilus*, Tp y/o *Penicillium albidum*, Pa) en la arquitectura radical y nutrición fosfatada de plantas micropropagadas de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Desirée. Las plántulas obtenidas de explantes se aclimataron en cámara de crecimiento y en invernadero. Se usaron cuatro tratamientos inoculados: T1 (Cc), T2 (Cc + Tp), T3 (Cc + Pa), T4 (Cc + Tp + Pa) y un control no inoculado (T0). A los 145 DDE se cosecharon las plantas determinándose parámetros morfoagronómicos y de geometría radical. El tratamiento T2 presentó mayor altura de planta con incrementos de 140% sobre T0 y mayor movilización de P observándose la tendencia T2 > T1 = T3 > T4 > T0, mientras que con T1 se obtuvo la mejor arquitectura radical. Se concluye que la inoculación con Cc mejoró la geometría radical y la co-inoculación con Cc + Tp aumentó la movilización de P hacia las plantas. Como proyección sería interesante ensayar esta co-inoculación HMA-HSP en campo, como propuesta de un posible biofertilizante que mejore la nutrición fosfatada y rendimiento de los cultivos.

Palabras clave: arquitectura radical, *Claroideoglobus claroideum*, *Penicillium albidum*, *Talaromyces pinophilus*.

ABSTRACT

Potatoes require high phosphate fertilization, which increases production costs and negatively affects the agroecosystem. Soil inoculation with phosphorus solubilizing fungi (PSF) and arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) become as an alternative to achieve productive systems with less environmental impact and that improve plant nutrition. The objective of the study was to evaluate the effect of the inoculation of an AMF (*Claroideoglobus claroideum*, Cc) alone or in interaction with two PSFs (*Talaromyces pinophilus*, Tp and / or *Penicillium albidum*, Pa) on the root architecture and phosphate nutrition of micropropagated plants potato (*Solanum tuberosum* L.) variety "Desirée". The seedlings obtained from explants were acclimated in a growth chamber and in greenhouse. Four inoculated treatments are used: T1 (Cc), T2 (Cc + Tp), T3 (Cc + Pa), T4 (Cc + Tp + Pa) and a non-inoculated control (T0). At 145 DAE, the plants was harvested, determining morphoagronomic and root geometry parameters. Treatment T2 presented higher plant height with increases of 140% over T0, greater mobilization of P, observing the trend T2 > T1 = T3 > T4 > T0, while with T1 the best root architecture was obtained. It concluded that the inoculation with Cc improved the root geometry and the co-inoculation with Cc + Tp increased the mobilization of P towards the plants. As a projection, it would be interesting to test this HMA-HSP co-inoculation in the field, as a proposal for a possible biofertilizer that improves phosphate nutrition and crop yield.

Keywords: root architecture, *Claroideoglobus claroideum*, *Penicillium albidum*, *Talaromyces pinophilus*.

¹ Departamento de Ciencias Agropecuarias y Acuícolas, Facultad de Recursos Naturales, Universidad Católica de Temuco (UC Temuco), Temuco, Chile.

² Núcleo de Investigación en Producción Alimentaria, UC Temuco.

³ Departamento Ciencias Químicas y Recursos Naturales, Universidad de La Frontera (UFRO), Temuco, Chile.

⁴ Scientific and Technological Bioresource Nucleus. UFRO Temuco.

⁵ Centro de Investigación en Micorrizas y Sustentabilidad Agroalimentaria. UFRO Temuco.

* Autor por correspondencia: ccastill@uct.cl

Introducción

A nivel mundial el calentamiento global producto del cambio climático perturba la agricultura y producción de cultivos, los que se vuelven cada vez más vulnerables a la competencia por recursos hídricos y aumento de temperatura. En términos de rendimiento y calidad, un cultivo relativamente sensible a estas limitaciones es la papa, por utilizar cantidades elevadas de fertilizantes y agua, lo que la hace particularmente susceptible al estrés por sequía (Wang *et al.*, 2017). Para mantener el rendimiento y calidad de los tubérculos se requiere mayor riego, lo que causa dilemas con medidas de protección ambiental y sustentabilidad agrícola (Porter *et al.*, 1999). A nivel nacional, la papa ocupa el cuarto lugar dentro de los cultivos anuales importantes, y su producción se concentra en la zona comprendida entre las regiones del Biobío y Los Lagos (INE, 2015). En esta zona prevalecen los andisoles, que en su mayoría son suelos ácidos originados de cenizas volcánicas que se caracterizan por poseer alto contenido de materia orgánica, elevadas concentraciones de aluminio (Al) y hierro (Fe) y baja disponibilidad de fósforo (P), con alrededor del 90% del P aplicado en el fertilizante precipitado a formas insolubles, lo cual limita la disponibilidad del nutriente para las plantas (Zhu *et al.*, 2018). Por la alta demanda de P que tiene el cultivo durante todo el periodo vegetativo, junto con los problemas de fijación, en muchas ocasiones los agricultores realizan aplicaciones excesivas de fertilizantes, lo que eleva los costos de producción y por consiguiente, afecta negativamente la calidad y productividad del agroecosistema (Osorno y Osorio, 2017).

En este contexto, estudios sobre el sistema radicular de los cultivos son fundamentales, porque una buena arquitectura radical mejora la capacidad de absorción de agua y nutrientes proporcionando mayor tolerancia a estreses bióticos y abióticos, y aumentando la productividad (Lobet *et al.*, 2015). Las plantas con raíces profundizadoras o con mayor área superficial son más eficientes en la captación de recursos, lo que demuestra la capacidad que tiene el sistema radicular de un determinado genotipo para explorar el suelo y establecer límites más altos de volúmenes de agua potencialmente accesibles (Lobet *et al.*, 2015). Las raíces de los cultivos agrícolas de interés comercial forman asociaciones de tipo mutualista con hongos micorrícicos arbusculares (HMA), los cuales mediante una extensa red de

micelio extrarradical exploran mayor volumen de suelo, captando P desde zonas alejadas de la rizosfera (Castillo *et al.*, 2009). En agricultura sustentable, la inoculación con HMA surge como una alternativa de mejora nutricional que permite lograr procesos agrícolas más productivos y con menor impacto ambiental. Otros microorganismos como hongos solubilizadores de P (HSP) mejoran la nutrición fosfatada ayudando al crecimiento y producción de los cultivos (Morales *et al.*, 2011). Los HSP desempeñan un rol fundamental en el ciclado del P en los suelos aprovechando las reservas del P fijado en formas orgánicas e inorgánicas y aumentando la disponibilidad del nutriente, lo que mejora el rendimiento y reduce la aplicación de fertilizantes fosfatados (Kaul *et al.*, 2019).

El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de la inoculación de un HMA (*Claroideoglossum claroideum*) solo o en interacción con dos HSP (*Talaromyces pinophilus* y/o *Penicillium albidum*) en la arquitectura radical y nutrición fosfatada de plantas micropropagadas de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Desirée.

Materiales y métodos

El estudio se realizó en los laboratorios e invernadero del Departamento de Ciencias Agropecuarias y Acuícolas de la Universidad Católica de Temuco. Como inóculo HMA se usó *Cl. claroideum* (Cc), un morfotipo nativo aislado de suelos agrícolas de la región y con un potencial micorrícico equivalente a 50 esporas mL⁻¹ (Castillo *et al.*, 2009). Los inóculos de HSP seleccionados fueron *T. pinophilus* (Tp) y *P. albidum* (Pa). Ambos hongos también fueron aislados desde andisoles de la región de La Araucanía y se inocularon en concentración de 8 x 10⁷ y 2,7 x 10⁷ UFC maceta⁻¹ para Tp y Pa, respectivamente (Morales *et al.*, 2011). Para la preparación del sustrato se utilizó un andisol serie Temuco (P disponible: 13 mg kg⁻¹; MO (%): 18,7; pH: 5,28) esterilizado y mezclado con arena de río en proporción 7:3.

Las plántulas micropropagadas de papa variedad Desirée se obtuvieron colocando los tubérculos en contacto directo con agua durante 11 días y trasladándolos después a bandejas con turba: perlita (7:3). Luego se llevaron a cámara de crecimiento por 24 días con riego constante y aplicación del fungicida Captan en dosis equivalente a 200 g 100 L⁻¹ agua. Después de 35 días se cortaron los brotes, se desinfectaron sumergiéndolos por 20 min

en una solución de tebuconazol-carbendazima y eliminando el fungicida por lavado de los brotes en etanol al 70%. Para la multiplicación de los brotes se colocaron explantes de papa en el medio Murashige y Skoog (1962) y se mantuvieron por 30 días bajo condiciones controladas (luz: 200 a 300 $\mu\text{E m}^{-2} \text{s}^{-1}$; fotoperiodo: 16 h luz /8 h oscuridad; temperatura: 22 °C). Los brotes aptos para el trasplante y enraizados se pasaron a una etapa de aclimatación colocando las plántulas micropropagadas en bolsas con sustrato y llevándolas a cámara de crecimiento por 30 días, para posteriormente trasladarlas al invernadero por 16 días.

El diseño experimental correspondió a uno completamente al azar con cinco tratamientos: cuatro inoculados T1 (Cc); T2 (Cc + Tp); T3 (Cc + Pa); T4 (Cc + Tp + Pa), más un control no inoculado (T0) con seis repeticiones y un total de 30 unidades experimentales.

El ensayo se estableció en bolsas con el sustrato mezclado con guano rojo-súper fosfato triple (SFT) en proporción 8,5:1,5 y en el equivalente a una dosis de 400 kg $\text{P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$. Sobre el sustrato se colocó una banda de 5 mL de Cc y una plántula aclimatada añadiéndose en ambos costados el HSP (Tp y/o Pa). Cada 15 días, a cada unidad experimental se le añadió solución de KNO_3 0,05 M manteniendo la humedad a capacidad de campo. A los 145 días después del establecimiento (DDE) se cosecharon las plantas midiéndoles la altura desde el cuello hasta el ápice y mediante pesada en balanza analítica (Sartorius) se obtuvo el peso fresco y seco de la planta y de los minitubérculos (mt). En las raíces se determinó la longitud, área superficial, número de bifurcaciones y distribución según diámetro usando el software WinRhizo® (Regent Instrument Inc.). Además, se cuantificó la colonización HMA de acuerdo a modificaciones en la tinción propuestas por Castillo *et al.* (2017) para plantas micropropagadas, mientras que en el sustrato se contabilizó el número de esporas HMA (Sieverding, 1991). Finalmente, en la planta se determinó el P movilizado y en el sustrato el P disponible, según metodología de Sadzawka *et al.* (2006).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos en el estudio para cada variable evaluada se examinaron a través de un análisis de varianza de un factor (ANDEVA) con una significancia de $p \leq 0,05$ seguido por una

prueba de comparación múltiple de medias de Tukey HSD. Para el análisis estadístico se utilizó el programa SPSS (Statistical Product and Services Solutions) para Windows versión 19.

Resultados y discusión

Estos resultados mostraron que al momento de la cosecha la mayor altura de las plantas correspondió a T2, alcanzando 57 cm y presentando diferencias significativas con T0, que sólo obtuvo 24 cm (Tabla 1). La inoculación conjunta en T2 incrementó la respuesta del cultivo en alrededor de 138% sobre T0, un 10% sobre T1, y las plantas resultaron 30% más desarrolladas que en T3. La triple inoculación no presentó diferencias significativas en comparación con T0. La respuesta a la doble inoculación Cc + Tp muestra una compatibilidad entre los microorganismos que aumentó la altura de las plantas de papa.

Los resultados fueron similares a los informados en col china por Chuang *et al.* (2007), quienes demostraron que la inoculación con HSP incrementó el rendimiento de plantas cultivadas en invernadero y campo. Por otra parte, Jiménez-Terry *et al.* (2010) señalaron la importancia del comportamiento de plántulas de teca y papa durante la etapa de propagación *in vitro*, destacando la influencia de la altura y desarrollo con la posterior respuesta en la fase de aclimatación e invernadero. Otros estudios realizados con plántulas micropropagadas de papa inoculadas con bacterias diazotróficas nativas y HMA evidenciaron un aumento en el crecimiento y supervivencia del cultivo (Palacios *et al.*, 2009).

El PS aéreo y el PS de la raíz (Tabla 1) no mostraron diferencias significativas entre los distintos

Tabla 1. Altura (A), peso seco (PS) aéreo (B) y PS raíces de plantas de papa Desirée micropropagadas cultivadas en sustrato estéril inoculado con *Cl. clarioideum* (Cc), *T. pinophilus* (Tp) y/o *P. albidum* (Pa).

Tratamiento	Altura (cm)	PS aéreo (g)	PS raíz (g)
T0	24 b	0,2272 a	0,0095 a
T1	52 ab	0,4523 a	0,011 a
T2	57 a	0,5624 a	0,012 a
T3	44 ab	0,3575 a	0,0054 a
T4	30 ab	0,2552 a	0,0073 a

T0 = control; T1 = Cc; T2 = Cc + Tp; T3 = Cc + Pa, T4 = Cc + Tp + Pa.

Letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

tratamientos de inoculación. Sin embargo, en ambos parámetros se observó la tendencia $T0 < T1 < T2$, incrementando el PS aéreo entre T2 y T0 en 147% y el PS radical en 26%. Probablemente, la doble inoculación de Cc con Tp aumentó la captación de P por extensión del micelio HMA extraradical más allá de la zona rizosférica, adquiriendo el nutriente solubilizado por el HSP desde el pool del P no lábil, que resultó en un mejor crecimiento de la raíz y de las plantas. En plantas de maíz inoculadas con HSP del tipo *Penicillium* sp. se reportaron incrementos en el crecimiento, rendimiento y contenido nutricional (Patil *et al.*, 2012).

Una característica de los mt, que los distingue de los microtubérculos y tubérculos, es la forma como se producen en condiciones de invernadero a partir de papas *in vitro* con un tamaño que fluctúa entre los 5 y 25 mm (Struik, 2007). En los mt no se encontraron diferencias en los parámetros medidos por efecto de la inoculación con HMA y HSP; el PF fluctuó entre 0,2 g en T0 y 0,7 g en T1 y T4. El PS de los mt estuvo en torno a los 20 mg para T0 y 100 mg para T3, contabilizando mayor número de mt T3 y T4 (Tabla 2).

A partir de los primeros estadios de desarrollo y hasta el momento en que comienza la formación de tubérculos en la papa, las raíces de origen adventicio presentan un rápido crecimiento. El sistema radical es fibroso, ramificado y extendido más bien superficialmente, profundizando entre 40 y 50 cm (Bouma *et al.*, 2000). La mayor longitud radical se obtuvo con T1, sin diferencias significativas respecto a T2 y ambos tratamientos con una longitud significativamente mayor que

T0 (Figura 1A). La inoculación solo con HMA (T1) incrementó la longitud radical en un 200% sobre el control no inoculado (T0), mientras que la inoculación conjunta (T2) aumentó en 150% respecto a T0. Un comportamiento similar se observó en el área superficial, donde la mayor superficie de raíces se alcanzó en T1 y T2, presentando diferencias significativas con T0, T3 y T4, y con incrementos de alrededor de 140% sobre T0 (Figura 1B). Se determinó un comportamiento similar en el número de bifurcaciones sin encontrar diferencias significativas entre T1 y T2, pero con aumentos significativos de 247% en relación con la cantidad de bifurcaciones contabilizadas en T0 (Figura 1C). Según Böhm (1979), la determinación de la longitud radical es uno de los principales parámetros para estimar la cantidad de nutrientes y agua extraídos por la planta en un período específico.

En la Figura 1D se observa que la mayor concentración de raíces se presentó en los diámetros finos D1 y D2, sin diferencias significativas entre T1 y T2, pero sí con respecto a T3, T4 y T0, mostrando T1 un incremento de 200% sobre T0. La distribución del diámetro D2 siguió la tendencia observada en D1, mientras que los diámetros gruesos D3 y D4 no presentaron diferencias significativas por efecto de la inoculación con HMA y HSP.

La mayor movilización de P hacia la planta se obtuvo con T2 presentando diferencias significativas respecto a los otros tratamientos (Figura 2A). La inoculación conjunta de Cc + Tp aumentó notoriamente la movilización del nutriente con un incremento de 31% sobre T1, 26% sobre T3 y 250% sobre T0. En general, los tratamientos siguieron la tendencia $T2 > T1 = T3 > T4 > T0$.

Velázquez *et al.* (2017) en un estudio con plantas de lechuga (*Lactuca sativa* L.) informaron que el mayor contenido de P movilizado se observó con la interacción entre un HMA y HSP, resultado similar al obtenido en este trabajo, donde la mayor concentración de P movilizado en la planta se encontró con T2. En plantas de fresas, Fan *et al.* (2008) señalaron que los HSP tuvieron la capacidad de mineralizar P y proporcionar control biológico de enfermedades, mientras que Souchie *et al.* (2006) reportaron mejor crecimiento de plantas con doble inoculación HMA y HSP, en comparación con una inoculación simple de microorganismos.

Tabla 2. Peso fresco (PF) minitubérculos (mt) (A), peso seco (PS) mt (B) y número mt (C) por planta de papas Desirée micropropagadas cultivadas en un sustrato estéril inoculado con *Cl. claroideum* (Cc), *T. pinophilus* (Tp) y/o *P. albidum* (Pa).

Tratamiento	PF mt (g)	PS mt (g)	Nº mt
T0	0,2025 a	0,0265 a	1 a
T1	0,682 a	0,0963 a	1 a
T2	0,5581 a	0,0724 a	1 a
T3	0,616 a	0,1018 a	2 a
T4	0,6995 a	0,0815 a	2 a

T0 = control; T1 = Cc; T2 = Cc + Tp; T3 = Cc + Pa, T4 = Cc + Tp + Pa.

Letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

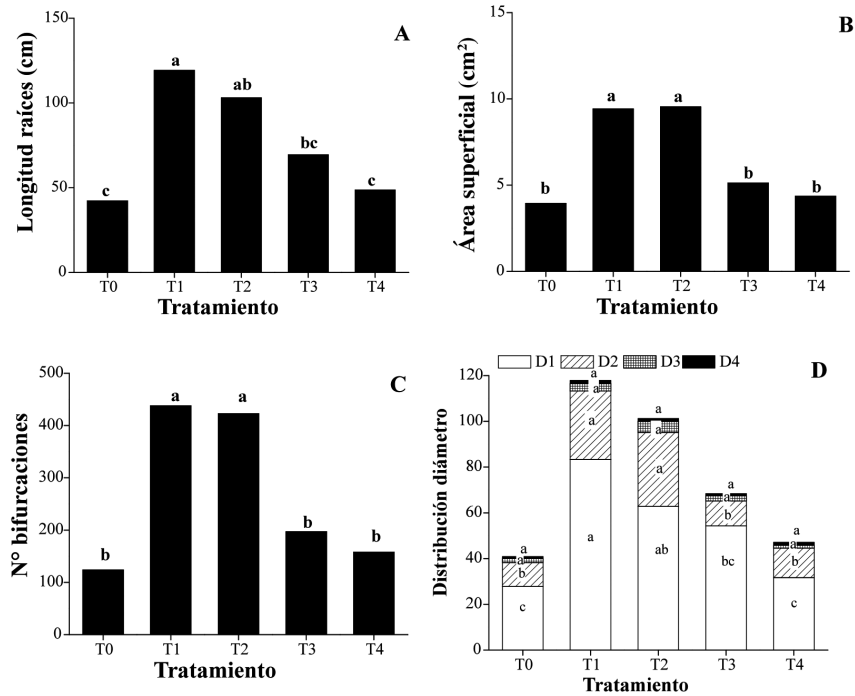


Figura 1. Longitud total (A), área superficial (B), número de bifurcaciones (C) y distribución de las raíces (D) de papa Desirée micropropagadas cultivadas en sustrato estéril inoculado con *Cl. claroideum* (Cc), *T. pinophilus* (Tp) y/o *P. albidum* (Pa). T0 = control; T1 = Cc; T2 = Cc + Tp; T3 = Cc + Pa, T4 = Cc + Tp + Pa. Barras promedio con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

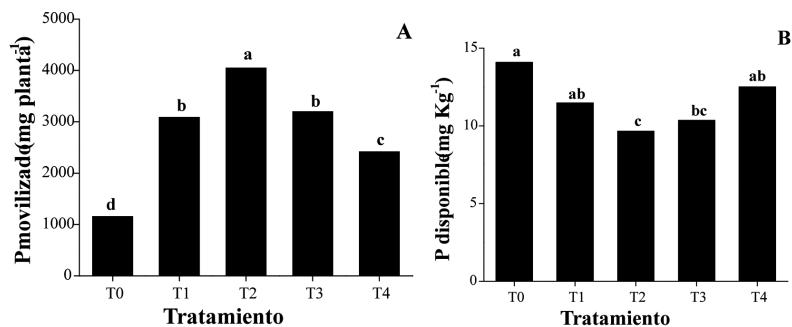


Figura 2. Fósforo movilizado en las plantas (A) y P disponible en el sustrato (B) cultivado con papa Desirée micropropagadas inoculadas con *Cl. claroideum* (Cc), *T. pinophilus* (Tp) y/o *P. albidum* (Pa). T0 = control; T1 = Cc; T2 = Cc + Tp; T3 = Cc + Pa, T4 = Cc + Tp + Pa. Barras promedio con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

En relación con el P disponible, se encontraron diferencias significativas entre T0, que presentó mayor cantidad de P disponible, y T2, que tuvo una notable disminución del nutriente (Figura 2B). Lo anterior confirma la movilización de P por la planta, debido a la inoculación con HMA y

HSP, los cuales actuaron sinérgicamente entre ellos y con las raíces de la planta de papa. La respuesta observada en el control coincide con lo señalado por Wacker-Fester *et al.* (2019), quienes concluyeron que la papa, en comparación con otros cultivos, tiene una baja eficiencia de

P, y por lo tanto, los requisitos de fertilización fosfatada son elevados.

Al cuantificar la colonización HMA en las raíces de la papa se encontró que los cuatro tratamientos inoculados tuvieron una colonización significativamente mayor que T0 (Figura 3A). Respecto al número de esporas HMA que permanecieron en el sustrato, una cantidad significativamente mayor se observó con la triple inoculación *Cl. claroideum*, *T. pinophilus* y *P. albidum* en comparación con el control no inoculado (Figura 3B).

Es conocido que el sistema radical de la papa es ineficiente para la absorción de P, especialmente a bajas concentraciones, y se requieren elevadas dosis de fertilizante para la obtención de rendimientos óptimos, lo que aumenta los costos de producción causando graves daños ambientales (George y Ed, 2011). Desde un enfoque más ecológico y económico, la solución al problema podría ser el uso de microorganismos rizosféricos relacionados con el ciclo del P. Los HMA y HSP del suelo constituyen una riqueza bioquímica que en gran parte aún no ha sido explotada, ya que ellos cumplen un rol importante en los ciclos biogeoquímicos que impactan directa o indirectamente en el estado nutricional del suelo.

Conclusiones

Con la co-inoculación de *Cl. claroideum* y *T. pinophilus* se observó una fuerte asociación hongo-raíz que mejoró la colonización fúngica y movilización de P relacionado con una mayor altura y arquitectura radical de las plantas de papa. La longitud de las raíces, en los tratamientos T1 y T2, se incrementó significativamente en 200% y 150% sobre T0 y con aumentos de la superficie radical que alcanzaron 140% sobre el control.

La inoculación del suelo con este tipo de microorganismos libera P fijado en formas insolubles a disponibles para la planta con un mejor crecimiento y rendimiento del cultivo. Desde un enfoque ecológico, en una agricultura sostenible, los HMA y HSP reducen la aplicación de fertilizantes fosfatados permitiendo satisfacer las demandas de nutrientes de los cultivos y disminuyendo la contaminación ambiental.

Agradecimiento

Los autores expresan su agradecimiento al proyecto interno VIP-UCT 3864-2017 por el financiamiento otorgado para la ejecución del estudio.

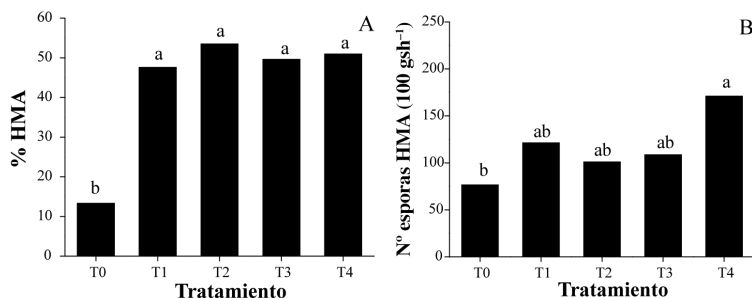


Figura 3. Colonización en raíces (A) y número de esporas HMA (B) en un sustrato estéril cultivado con papa Desirée micropropagadas inoculado con *Cl. claroideum* (Cc), *T. pinophilus* (Tp) y/o *P. albidum* (Pa). T0 = control; T1 = Cc; T2 = Cc + Tp; T3 = Cc + Pa, T4 = Cc + Tp + Pa. Barras promedio con letras iguales no difieren estadísticamente entre sí, según la prueba de Tukey ($P \leq 0,05$).

Literatura citada

- Böhm, W. 1979. Methods of studying root systems. Springer Verlag. New York, U.S. 188 p.
- Bouma, T.J.; Nielsen, K.L.; Koutstaal, B. 2000. Sample preparation and scanning protocol for computerised analysis of root length and diameter. *Plant and Soil*, 218: 185-196.
- Castillo, C.G.; Railaf, M.; Hormazábal, N. 2017. Inoculación con hongos micorrízicos arbusculares en plántulas micropropagadas de papa (*Solanum tuberosum* L.). *INNOVAGRO*, 8: 31-35.
- Castillo, C.G.; Ortiz, C.; Borie, F.; Rubio, R. 2009. Respuesta de ají (*Capsicum annuum* L.) cv. "Cacho de Cabra" a la inoculación con hongos micorrízicos arbusculares. *Información Tecnológica*, 20(4): 3-14.

- Chuang, C.C.; Kuo, Y.L.; Chao, C.C.; Chao, W.L.
2007. Solubilization of inorganic phosphates and plant growth promotion by *Aspergillus niger*. *Biology and Fertility Soils*, 43: 575-584.
- Fan, Y.; Luan, Y.; An, L.; Yu, K.
2008. Arbuscular mycorrhizae formed by *Penicillium pinophilum* improve the growth, nutrient uptake and photosynthesis of strawberry with two inoculum-types. *Biotechnology Letters*, 30(8): 1489-1494.
- George, H.; Ed, H.
2011. *A summary of N, P and K research with tomato in Florida*. University of Florida. Gainesville, FL. 34 p.
- INE.
2015. Estadísticas agrícolas cultivos anuales esenciales temporada año agrícola 2014/2015 Región de La Araucanía. INE. Temuco, Chile.
- Jiménez-Terry, F.; Agramonte, D.; Pérez, M.; León, M.; Rodríguez, M.; de Fera, M.; Alvarado-Capó, Y.
2010. Producción de minitubérculos de papa var. 'Desirée' en casa de cultivo con sustrato zeolita a partir de plantas cultivadas *in vitro*. *Biociencia Vegetal*, 10(4): 219-228.
- Kaul, S.; Sharma, S.; Apra, L.; Dhar, M.K.
2019. Phosphate-solubilising fungi and their potential role in sustainable agriculture. In: Giri, B.; Prasad, R., Wu, R., Varma, A. (eds.). *Biofertilizers for sustainable agriculture and environment*. Soil Biology. pp. 371-393.
- Lobet, G.; Pound, M.P.; Diener, J.; Pradal, C.; Draye, X.; Godin, C.; Javaux, M.; Leitner, D.; Meunier, F.; Nacry, P.; Pridmore, T.P.; Schnepf, A.
2015. Root system markup language: Toward a unified root architecture description language. *Plant Physiology*, 167: 617-627.
- Morales, A.; Alvear, M.; Valenzuela, E.; Castillo, C.G.; Borie, F.
2011. Screening, evaluation and selection of phosphate-solubilising fungi as potential biofertiliser. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 11(4): 89-103.
- Murashige, T.; Skoog, F.
1962. A revised medium for rapid growth and bioassays with tobacco tissue cultures. *Plant Physiology*, 15: 473-497.
- Osorno, L.; Osorio, N.
2017. Evaluación de factores que afectan la bioacidulación de roca fosfórica bajo condiciones *in vitro*. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(1): 53-62.
- Palacios, G.; Abud, M.; Salvador, M.; Adriano, L.; Dendooven, L.; Gutiérrez, F.
2009. Influence of arbuscular mycorrhizal fungi and a native diazotrophic bacteria in survival and tuberization of *ex vitro* potato plants. *Gayana Botanica*, 66(2): 127-133.
- Patil, P.M.; Kuligod, V.B.; Hebsur, N.S.; Patil, C.R.; Kulkarni, G.N.
2012. Effect of phosphate solubilizing fungi and phosphorus levels on growth, yield and nutrient content in maize (*Zea mays*). *Karnataka Journal of Agricultural Science*, 25(1): 58-62.
- Porter, G.A.; Opena, G.B.; Bradbury, W.B.; McBurnie, J.C.; Sisson, J.A.
1999. Soil management and supplemental irrigation effects on potato: I. Soil properties, tuber yield, and quality. *Agronomy Journal*, 91: 416-425.
- Sadzawka, A.; Carrasco, M.; Grez, R.; Mora, M.L.
2006. Métodos de análisis de tejidos vegetales. Comisión de Normalización y Acreditación. Sociedad Chilena de la Ciencia del Suelo. INIA La Platina, Santiago, Chile. 139 p.
- Sieverding, E.
1991. Vesicular arbuscular mycorrhiza management in tropical agrosystems. Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), GmbH, Eschborn, Germany. 371 p.
- Souchie, E.L.; Azcón R.; Barea, J.M.; Saggin-Júnior, O.J.; Ribeiro da Silva, E.M.
2006. Phosphate solubilization and synergism between P-solubilizing and arbuscular mycorrhizal fungi. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 41(9): 1405-1411.
- Struik, P.C.
2007. The canon of potato science: mini-tubers. *Potato Research*, 50: 305-308.
- Velázquez, M.; Cabello, M.; Eládes, L.; Russo, M.; Allegrucci, N.; Schalamuk, S.
2017. 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.). *Revista Argentina de Microbiología*, 49(4): 347-355.
- Wacker-Fester, K.; Uptmoor, R.; Pfahler, V.; Dehmer, K.J.; Bachmann-Pfabe, S.; Kavka, M.
2019. Genotype-specific differences in phosphorus efficiency of potato (*Solanum tuberosum* L.). *Frontiers in Plant Science*, 10: 1029.
- Wang, J.; Hou, L.; Wang, R.; He, M.; Liu, Q.
2017. Genetic diversity and population structure of 288 potato (*Solanum tuberosum* L.) germplasm revealed by SSR and AFLP markers. *Journal of Integrative Agriculture* 16(11): 2434-2443.
- Zhu, J.; Li, M.; Whelan, M.
2018. Phosphorus activators contribute to legacy phosphorus availability in agricultural soils: A review. *Science of the Total Environment*, 612: 522-537.

