



Biofertilización con bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de la papa

Biofertilization with phosphorus solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi in potato culture

^{ID}Segundo Ramiro Mora-Quilismal¹, ^{ID}Emma Teresa Cuaical-Galárraga², ^{ID}Judith García-Bolívar¹,
^{ID}Vinicio Wladimir Revelo-Ruales¹, ^{ID}Luis Miguel Puetate-Mejía¹,
^{ID}Edith Aguila-Alcantara³, ^{ID}Michel Ruiz-Sánchez^{4*}

¹Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales. Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Ecuador.

²Universidad Particular de Loja. Ecuador.

³Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas. Cuba.

⁴Unidad Científico Tecnológica de Base "Los Palacios". Km 1½ carretera La Francia, Los Palacios, Pinar del Río, Cuba. CP 22900.

RESUMEN: La presente investigación evaluó alternativas de biofertilización con el empleo de bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos micorrízicos arbusculares, a través de los productos comerciales Fosfotic® y Safer Micorrizas®, respectivamente, en el cultivo de la papa cv. Superchola, en suelos Andisoles del Carchi, Ecuador. El experimento se realizó en condiciones de producción en un área de 360 m², subdividida en seis parcelas de 60 m² cada una (5 m de ancho x 12 m de largo), donde se ubicaron seis tratamientos correspondientes a un control fertilizado y diferentes dosis de fósforo más la inoculación con Fosfotic® y Safer Micorrizas®. La distancia de plantación fue de 1 m entre surcos y 0,50 m entre plantas. Se evaluaron las variables: longitud de tallo, número de tallos brotados, número total de tubérculos por planta y su clasificación por calibre, así como el rendimiento total y por calibre, además de realizar un análisis económico de los tratamientos estudiados. Los mejores resultados se obtuvieron con el 100 % de la fertilización a base de NK+75 % P+Fosfotic®+Safer Micorrizas® y con 100 % de la fertilización a base de NK+25 % P+Safer Micorrizas®; los cuales también mostraron los mayores beneficios económicos. Estos resultados demuestran la viabilidad del uso de estos biofertilizantes en la región del Carchi, Ecuador.

Palabras clave: biofertilizantes, fertilización, rendimiento, *Solanum tuberosum*.

ABSTRACT: The present investigation evaluated biofertilization alternatives with the use of phosphorus-solubilizing bacteria and arbuscular mycorrhizal fungi, through the commercial products Fosfotic® and Safer Micorrizas®, respectively, in potato crop cv. Superchola, in Andisol soils from Carchi, Ecuador. The experiment was carried out under production conditions in an area of 360 m², subdivided into six plots of 60 m² each (5 m wide x 12 m long), where six treatments corresponding to a fertilized control and different phosphorus doses plus inoculation with Fosfotic® and Safer Micorrizas®. The planting distance was 1 m between rows and 0.50 m between plants. Variables were evaluated: stem length, number of sprouted stems, total number of tubers per plant and their classification by size, as well as the total yield and size, in addition to performing an economic analysis of the treatments studied. The best results were obtained with 100 % of the fertilization based on NK+75 % P+Fosfotic®+Safer Micorrizas® and with 100 % of the fertilization based on NK+25 % P+Safer Micorrizas®; which also showed the highest economic benefits. These results demonstrate the feasibility of using these biofertilizers in the Carchi region, Ecuador.

Key words: biofertilizers, fertilization, *Solanum tuberosum*, yield.

*Autor para la correspondencia: mich762016@gmail.com

Recibido: 05/07/2019

Aceptado: 27/01/2021

Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0).
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



INTRODUCCIÓN

La provincia de Carchi al norte de Ecuador, se ubica en un valle interandino, el cual ha basado su desarrollo social y económico en la explotación de los recursos del suelo, caracterizados tradicionalmente por su alta productividad, debido a su origen volcánico. Sin embargo, la sostenibilidad del desarrollo agrícola en Carchi actualmente está en riesgo, debido a los procesos de degradación de sus suelos y los recursos hídricos. Resulta una necesidad inminente innovar en los sistemas agroproductivos para detener la degradación ambiental y mantener el crecimiento económico y el bienestar social de la región (1).

El cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) generalmente requiere altas cantidades de fertilizante fosfatado para lograr rendimientos económicamente aceptables, particularmente en suelos de cenizas volcánicas. Esto es consecuencia de la baja densidad de las raíces de sus plantas y la baja tasa de difusión del fósforo (P) en estos suelos (2). El rendimiento y la calidad de la producción, son el resultado de la acción e interacción de factores genéticos (variedad o genotipo), el medio ambiente (clima, suelo y biota) y el conocimiento empírico tecnológico aplicado al proceso (3).

En Ecuador la papa ha sido un cultivo de alta prioridad, en el año 2018 se sembraron aproximadamente 66 000 ha de este cultivo. Las condiciones de producción intensiva y en monocultivo han contribuido a enfrentar muchos problemas que ponen en peligro el bienestar económico de los productores y la seguridad alimentaria del país. Este cultivo ocupa el séptimo lugar de producción a nivel nacional y se cultiva en 12 provincias, pero Carchi, Pichincha, Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi, representan el 89 % de la producción nacional, con las mayores productividades: 22,43 t ha⁻¹, 14,72 t ha⁻¹, 14,04 t ha⁻¹ y 13,80 t ha⁻¹, respectivamente (4). La provincia del Carchi, ocupó el primer lugar en producción del tubérculo a nivel nacional en el periodo 2012-2016, con un rendimiento aproximado de 19,7 t ha⁻¹.

Los microorganismos solubilizadores de fósforo convierten los fosfatos insolubles en formas solubles, generalmente a través de procesos de acidificación, quelación y reacciones de intercambio, por lo que su uso como biofertilizantes puede no solo compensar el mayor costo de los fertilizantes, sino también movilizar aquellos agregados al suelo (5). Un biofertilizante es una sustancia que contiene organismos vivos que, aplicados a la semilla, a la planta o al suelo, colonizan la rizosfera o el interior de la planta y promueven el crecimiento a través de un mayor suministro o disponibilidad de nutrientes primarios para la planta huésped (6). Los hongos micorrízicos, por otra parte, mejoran la absorción de fósforo por parte de la planta y la fotosíntesis a través de la simbiosis HMA-raíz, principalmente debido al aumento en el transporte de elementos inorgánicos desde el suelo a las plantas (7,8). Existen evidencias que demuestran que los hongos micorrízicos arbusculares (HMA) pueden transferir también el nitrógeno a su huésped y que la planta huésped con su suministro de carbono estimula este transporte, además de que, la membrana peri-arbuscular del

huésped es capaz de facilitar la captación activa de nitrógeno de la interfaz micorrízica (9). En general, los estudios de inoculación con HMA han demostrado que es factible el incremento de los rendimientos y un mayor tamaño de los tubérculos en comparación con la fertilización química convencional (10). Igualmente, se ha demostrado que la aplicación combinada de biofertilizantes basados en HMA y BSF podría sustituir parcialmente el fertilizante químico en el sistema de cultivo de papa, gracias a la movilización de nutrientes en el suelo, en especial de fósforo, disponible para las plantas (11).

Aunque estas alternativas de fertilización biológica han demostrado su efectividad en diferentes regiones y cultivos; en particular en la papa, en la región andina no se ha logrado que estas prácticas de biofertilización se incorporen a la dinámica productiva como nuevas alternativas amigables con el ambiente, para mejorar el rendimiento y la calidad de la producción, en parte por desconocimiento y también porque no existen bases científico-tecnológicas adecuadas para las condiciones edafoclimáticas de la región que puedan demostrar la efectividad de su empleo a los productores.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, el objetivo de esta investigación fue evaluar alternativas de biofertilización con el empleo de bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos micorrízicos arbusculares, a través de los productos comerciales Fosfotric® y Safer Micorrizas®, respectivamente, en el cultivo de la papa cv. Superchola, en suelos Andisoles del Carchi, Ecuador.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en áreas del Centro Experimental San Francisco, de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, un área con alta producción de papa y que se ubica en la Latitud N: 86°13'10'', Longitud W: 100°68'43.7'', a una altura de 2750 m s.n.m. Los suelos del área de estudio se clasifican como Andisoles (12). El experimento en condiciones de producción se desarrolló desde noviembre del 2017 hasta julio del 2018, con seis tratamientos (Tabla 1). Se utilizó el cultivar de papa Superchola (13).

Se utilizó un área de 360 m² para la investigación, subdividida en seis parcelas de 60 m² cada una (5 m de ancho x 12 m de largo). Cada parcela se subdividió en cuatro partes iguales de 15 m² (5 m de largo x 3 m de ancho), constituyendo cuatro réplicas de cada tratamiento, para un total de 24 parcelas. La distancia de plantación fue de 1 m entre surcos y 0,50 m entre plantas, con un total de seis surcos por parcela. Las labores fitotécnicas se realizaron según el Manual Técnico del cultivo (13). No se realizó ningún riego al cultivo.

La fertilización química se realizó en dos etapas, según el Manual Técnico del cultivo (13). Los portadores empleados fueron Urea (46-0-0), Fosfato diamónico (18-46-0) y Muriato de Potasio (0-0-60). La primera aplicación fue en el retape a los 20 días después de la plantación (ddp), donde se incorporó el 50 % de la fertilización prevista para cada tratamiento y, posteriormente, en el deshierbe y aporque

Tabla 1. Tratamientos utilizados en la biofertilización de la papa sobre un suelo Andisol en la provincia Carchi, Ecuador. Campaña 2017-2018.

Tratamientos		Cantidad de nutriente		
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O
		Kg ha ⁻¹		
T1	100 % NPK (control)	135,00	335,00	225,00
T2	100 % NPK+Fosfotico®	135,00	335,00	225,00
T3	100 % NPK+Safer Micorrizas®	135,00	335,00	225,00
T4	100 % NK+75% P+Fosfotico®+Safer Micorrizas®	135,00	251,25	225,00
T5	100 % NK+50% P+Fosfotico®	135,00	167,50	225,00
T6	100 % NK+25% P+Safer Micorrizas®	135,00	83,75	225,00

Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K)

(60 ddp) se incorporó la cantidad restante, concluyendo con la alzada de suelo hacia las plantas (aporque) y tapado del fertilizante. Todas las labores se realizaron de forma manual y con azadón.

El producto Fosfotico® está compuesto por *Azotobacter vinelandii*, *Bacillus cereus*, *Bacillus licheniformis* y *Pseudomonas fluorescens*. Posee capacidad de solubilizar fósforo retenido en el suelo y convertirlo en fósforo disponible y asimilable para la planta (14).

El producto Safer-Micorrizas® es un biofertilizante a base de hongos micorrízicos arbusculares (HMA), el cual contiene raicillas colonizadas, micelio libre y esporas de HMA (14).

La inoculación con los biofertilizantes se realizó según recomendaciones del fabricante. En el caso del Fosfotico® fue aplicado en tres momentos: en la plantación, a los 20 y a los 90 ddp; en una dosis de 5 mL L⁻¹ de agua (14). Safer-Micorrizas® se aplicó solamente una vez, en la siembra, a una dosis de 10 g por cada tubérculo semilla (15).

Variables evaluadas

A las nueve semanas después de la siembra se seleccionaron 10 plantas y se evaluó la longitud de los tallos, con el uso de una regla milimetrada desde la superficie del suelo hasta la yema apical, proyectada en la dirección del tallo y el número de tallos brotados. En la cosecha (24 semanas posterior a la siembra), se tomaron seis plantas de la zona central de cada parcela y se determinó el número total de tubérculos, separándolos luego según su tamaño para su clasificación por calibre: donde calibre de primera (mayor de 10 cm), calibre de segunda (de 5 a 10 cm) y calibre de tercera (menor de 5 cm). También se determinó la producción total y por calibre de cada parcela (kg). Esto permitió el cálculo del rendimiento total y por calibre siguiendo la fórmula:

$$\begin{aligned}
 \text{Rendimiento (kg m}^{-2}\text{)} &= \text{Producción total} \\
 &(\text{o de cada calibre}) (\text{kg}) / \text{área parcela} \\
 &(15 \text{ m}^2) \text{ Rendimiento (t ha}^{-1}\text{)} \\
 &= \text{Rendimiento kg m}^{-2} \times 10
 \end{aligned}$$

Análisis estadístico

Los datos se procesaron mediante el Análisis de Clasificación Simple y las diferencias entre las medias se compararon por la prueba de LSD. En todos los casos las diferencias significativas fueron establecidas para $p \leq 0,05$. Se utilizó el paquete estadístico STATGRAPHICS PLUS Versión 5.1, en ambiente Windows (Statistical Graphics Corp., 2000).

Análisis Económico

Se realizó un análisis económico a partir de los resultados alcanzados en cada tratamiento después de la cosecha. El precio de venta establecido al momento de la comercialización fue de 400 USD t⁻¹ para el calibre de primera, 200 USD t⁻¹ para el calibre de segunda y 100 USD t⁻¹ para el calibre de tercera. Para el cálculo de las ganancias brutas totales (USD ha⁻¹) de cada tratamiento se realizó primero el cálculo de forma independiente para cada calibre y posteriormente se sumaron. Se calcularon entonces las ganancias netas a partir de la diferencia de las ganancias brutas totales y los costos de producción (USD ha⁻¹), los cuales se determinaron para cada tratamiento, a partir de la sumatoria de los gastos generados por las diferentes labores fitotécnicas realizadas al cultivo. A partir de la división del costo de producción entre la ganancia neta, se obtuvo la relación costo/beneficio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La aplicación de bacterias solubilizadoras (Fosfotico®) y los hongos micorrízicos arbusculares (Safer Micorrizas®), en combinación con diferentes dosis de fertilizante fosfórico en el cultivo de la papa, provocó variaciones en el crecimiento de las plantas. El tratamiento donde se aplicó el 100 % de la fertilización con N y K y el 75 % de fósforo, en combinación con los dos biofertilizantes (T4) mostró los resultados superiores en la longitud del tallo y el número de tallos brotados (Tabla 2) seguido y sin diferencias estadísticas de aquel donde se utilizó 100 % de N y K+25 % P+Safer Micorrizas® (T6), aunque este último no se diferenció del tratamiento control (T1).

Tabla 2. Efecto de los tratamientos en la longitud de los tallos y el número de tallos brotados, en el cultivo de la papa cv 'Superchola' sobre suelo Andisol en la provincia Carchi, Ecuador. Campaña 2017-2018.

Tratamientos		Longitud de los tallos (cm)	No. de tallos brotados
T1	100 % NPK (control)	60,12 b	4,83 bc
T2	100 % NPK+Fosfotico®	59,38 b	4,67 c
T3	100 % NPK+Safer Micorrizas®	63,21 a	4,92 bc
T4	100 % NK+75 % P+Fosfotico®+Safer Micorrizas®	65,17 a	5,50 a
T5	100 % NK+50 % P+Fosfotico®	59,83 b	4,88 bc
T6	100 % NK+25 % P+Safer Micorrizas®	63,12 a	5,21 ab
ESx		1,457	0,226

Medias con letras distintas en una misma columna difieren significativamente según prueba LSD para $p \leq 0,05$, $n=24$

Los resultados positivos obtenidos en estos tratamientos (T4 y T6), pueden atribuirse entonces, al efecto beneficioso de los hongos micorrízicos arbusculares sobre la promoción del crecimiento de las plantas, según ha sido demostrado anteriormente (16). Estos hongos promueven el intercambio de nutrientes, particularmente la absorción de nutrientes de baja movilidad como el fósforo (17), lo cual justifica la sustitución de hasta el 75 % del fertilizante fosfórico en estas condiciones.

El empleo de Fosfotico® (T5) permitió sustituir el 50 % del fósforo, al no mostrar diferencias significativas con el control. Las bacterias solubilizadoras contenidas en el producto, además de poner este nutriente a disposición de las plantas, producen reguladores del crecimiento (auxinas y giberelinas), hormonas que juegan un papel importante en el crecimiento y la germinación de las yemas (18).

Aunque estos efectos beneficiosos han sido reconocidos e identificados, la efectividad de la inoculación con estos microorganismos, de manera individual o combinados, puede verse afectada por diversos factores, tales como el pH del suelo, P disponible, la aplicación de plaguicidas y la fertilización química que se emplea. Los niveles altos de fertilización nitrogenada y fosfórica, así como la residualidad de esta última, inhiben el establecimiento y el desarrollo de los HMA y de las bacterias solubilizadoras de fósforo (19,20).

En el momento de la cosecha, el número de tubérculos por planta (Tabla 3) alcanzó los resultados superiores en el tratamiento control (T1), seguido por el tratamiento donde se redujo el 25 % del P y se aplicaron los dos biofertilizantes (T4), aunque este tratamiento no se diferenció del T3 ni del T6, tratamientos donde aplicaron las micorrizas. Los

menores valores correspondieron al tratamiento donde se fertilizó con el 100 % NPK y se biofertilizó con Fosfotico® (T2).

Sin embargo, al clasificar los tubérculos totales, según el calibre, se observó que los mejores resultados se obtuvieron en los tratamientos donde se redujo el P al 75 % y se inocularon los dos productos (T4), y donde se redujo al 25 % el P, más la micorriza (T6), tratamientos que no se diferenciaron del control fertilizado en la calidad de calibre primera, pero lo superaron en la calidad de segunda.

La producción de tubérculos de calibre de tercera fue superior en el tratamiento control respecto al resto de los tratamientos y menor en el tratamiento donde se aplicó sólo el 25 % del P y la micorriza.

En resumen, la fertilización mineral completa (T1) permitió obtener un mayor número de tubérculos, pero el empleo de ambos biofertilizantes, con dosis de 75 % de P (T4) y del biofertilizante micorrízico con sólo el 25 % de este elemento (T6), permitió alcanzar valores similares de calibres de primera y superiores al control en calibres de segunda. El calibre de los tubérculos es un indicador importante para los productores ecuatorianos, ya que influye en la comercialización de la cosecha, específicamente en los precios de venta.

Se ha informado que el fósforo tiene un marcado efecto en la calidad de los tubérculos (2), debido a su influencia en la división celular y, por ende, en el tamaño de los mismos. En contraste, la aplicación de altas dosis de fertilizante fosfórico puede tener un efecto contrario, produciendo un decrecimiento en el tamaño de los tubérculos. El beneficio de la fertilización fosfórica será mayor en condiciones de baja a media disponibilidad de este elemento en el suelo (21).

Tabla 3. Efecto de la fertilización y el empleo de biofertilizantes en el número de tubérculos y su calidad de acuerdo al calibre, en el cultivo de papa cv 'Superchola' sobre suelo Andisol en la provincia Carchi, Ecuador. Campaña 2017-2018

Tratamientos		No. tubérculos	Calibres		
			Primera	Segunda	Tercera
T1	100 % NPK (control)	20,00 a	6,67 ab	5,75 b	7,58 a
T2	100 % NPK+Fosfotico®	17,58 d	6,25 bc	5,62 b	5,71 cd
T3	100 % NPK+Safer Micorrizas®	18,71 bc	6,25 bc	6,42 a	6,04 bc
T4	100 % NK+75 % P®+Fosfotico+Safer Micorrizas®	19,08 b	6,88 a	6,58 a	5,62 cd
T5	100 % NK+50 % P+Fosfotico®	17,92 cd	5,71 c	5,67 b	6,54 b
T6	100 % NK+25 % P+Safer Micorrizas®	18,42 bcd	6,88 a	6,42 a	5,12 d
ESx		0,441	0,287	0,291	0,312

Medias con letras distintas en una misma columna difieren significativamente según prueba LSD para $p \leq 0,05$, $n=24$

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que, la mayor demanda de fósforo en la papa ocurre al inicio de la tuberización del cultivo. En este momento, el fósforo aplicado en las primeras semanas ha perdido entre el 30 y el 60 % de su asimilabilidad, dependiendo de la fuente usada y de los fenómenos de fijación del elemento (22). Por ello, el empleo de hongos micorrízicos, en combinación con niveles reducidos de aplicación del fósforo, puede ser una alternativa viable que permita disminuir las dosis del fertilizante químico, a la vez que mantienen la disponibilidad del elemento en el suelo, para el momento de mayor demanda por el cultivo (7,8,10,23) y, por consiguiente, pueden contribuir positivamente en el rendimiento agrícola.

En relación con el rendimiento agrícola obtenido, se pudo apreciar que los mejores resultados se encontraron en los tratamientos donde se incluyó el biofertilizante a base de micorrizas (T3, T4 y T6), los que igualaron o superaron al control (T1) en el rendimiento total y de calibres de primera y segunda (Tabla 4).

Los resultados de la investigación demuestran que es posible disminuir la fertilización fosfórica del cultivo hasta un 25 % de la dosis total a aplicar con el empleo del biofertilizante Safer Micorrizas®, lo que evidencia un mejor funcionamiento micorrízico cuando los contenidos de fósforo aplicados son bajos (19,23).

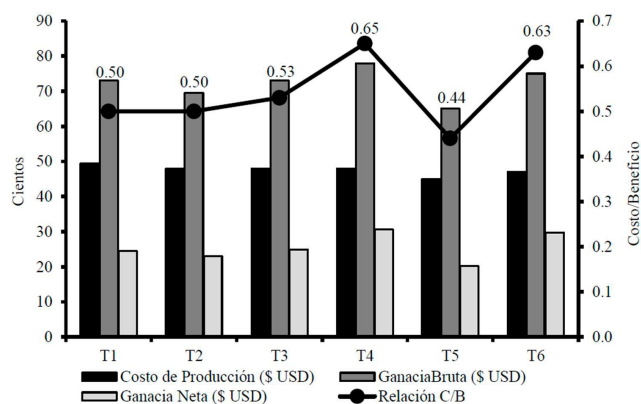
Debe destacarse que todos los tratamientos del estudio lograron rendimientos superiores a las 22,52 t ha⁻¹ informadas para el cultivo de la papa en Ecuador (24) y que los tratamientos 4 y 6, tuvieron resultados satisfactorios en las condiciones de la región del Carchi, donde los rendimientos para este cultivar oscilan entre las 21,0 y 25,0 t ha⁻¹, con un promedio de 23 t ha⁻¹ (8,25).

En general, los mayores rendimientos agrícolas por calibre se alcanzaron para la categoría de primera, donde vuelven a sobresalir los tratamientos T4 y T6.

Para el cultivo de la papa otras investigaciones han informado que la fertilización biológica influyó también en los rendimientos del cultivo, incrementando la disponibilidad de los fosfatos para las plantas y favoreciendo el desarrollo de estas, no solo con el incremento del número de tubérculos por planta, sino con la obtención de tubérculos con mayor calidad (calibres de primera y segunda) (16,26,27).

Análisis económico

En todos los tratamientos impuestos en el experimento, se obtuvo beneficios económicos (Figura 1).



T1 (100% NPK), T2 (100 % NPK+Fosfotico®), T3 (100% NPK+Safer Micorrizas®), T4 (100 % NK+75 % P+Fosfotico®+Safer Micorrizas®), T5 (100% NK+50 % P+Fosfotico®) y T6 (100% NK+25 % P+Safer Micorrizas®)

Figura 1. Análisis económico por hectárea de cada tratamiento utilizado en la investigación en el cultivo de la papa cv 'Superchola' sobre suelo Andisol en la provincia Carchi, Ecuador. Campaña 2017-2018.

El análisis costo beneficio de la producción demuestra que todos los tratamientos generaron ingresos, destacándose los tratamientos T4 (100 % NK+75 % P+Fosfotico®+Safer Micorrizas®) y T6 (100 % NK+25 % P+Safer Micorrizas®) con el mayor beneficio económico, superando al tratamiento control (T1), que se identifica con la fertilización química que actualmente se aplica en la región Carchi. El incremento de estos tratamientos en la relación C/B fue de un 30 % y un 26 %, respectivamente, respecto al tratamiento control. Con beneficios tan similares, es recomendable emplear entonces sólo el biofertilizante micorrízico, que logra sustituir hasta el 75 % de la fertilización fosfórica.

Tabla 4. Efecto de los tratamientos en el rendimiento agrícola total y por calibre en la papa cv 'Superchola' sobre suelo Andisol en la provincia Carchi, Ecuador. Campaña 2017-2018.

Tratamientos		Rendimiento Agrícola (t ha ⁻¹)			
		Calibre			
		Total	Primera	Segunda	Tercera
T1	100 % NPK (control)	25,28 a	13,98 a	6,41 bc	4,9 a
T2	100 % NPK+Fosfotico®	23,51 b	13,25 ab	6,38 bc	3,88 c
T3	100 % NPK+Safer Micorrizas®	24,91 a	13,44 ab	7,37 a	4,1 bc
T4	100 % NK+75 % P+Fosfotico®+Safer Micorrizas®	26,04 a	14,64 a	7,65 a	3,75 c
T5	100 % NK+50 % P+Fosfotico®	22,88 b	12,09 b	6,26 c	4,52 ab
T6	100 % NK+25 % P+Safer Micorrizas®	25,32 a	14,49 a	7,12 ab	3,7 c
ESx		0,613	0,668	0,354	0,249

Medias con letras distintas en una misma columna difieren significativamente según prueba LSD para $p \leq 0,05$, $n=36$

CONCLUSIONES

El empleo del producto Safer Micorrizas® constituye una alternativa promisorio para la biofertilización de la papa en suelos Andisoles del Carchi, Ecuador. Su aplicación permite reducir el uso de fertilizante fosfórico hasta en un 75 %, sin afectar los rendimientos, contribuyendo así a una agricultura sostenible, a la vez que se logra mayor rentabilidad en la producción del cultivo de papa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Franco W. Propuestas para la innovación en los sistemas agroproductivos y el desarrollo sostenible del Valle Interandino en Carchi, Ecuador. *Tierra Infinita*. 2016;2(1):59-91.
2. Alvarez-Sánchez E, Etchevers JD, Ortiz J, Núñez R, Volke V, Tijerina L, et al. Biomass production and phosphorus accumulation of potato as affected by phosphorus nutrition. *Journal of plant nutrition*. 1999;22(1):205-17.
3. Zuñiga SJC, Morales CE, Estrada MEM. Cultivo de la papa y sus condiciones climáticas. *Gestión Ingenio y Sociedad*. 2017;2(2):140-52.
4. ESPAC 2017. Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua ESPAC 'Internet'. 2017. Available from: http://www.ecuadoren-cifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Presentacion_Principales_Resultados_ESPAC_2017.pdf
5. Mamani E, Morales V, Ortuño N. Aplicación de biofertilizantes foliares en el cultivar Huaycha *Solanum tuberosum* subsp. andigena en los valles interandinos de Bolivia. *Revista Latinoamericana de la Papa*. 2016;20(2):14-25.
6. Pradhan N, Sukla LB. Solubilization of inorganic phosphates by fungi isolated from agriculture soil. *African Journal of Biotechnology*. 2006;5(10):14-25.
7. Adavi Z, Tadayoun MR. Effect of mycorrhiza application on plant growth and yield in potato production under field condition. *Iranian Journal of Plant Physiology*. 2014;4(3):1087-93.
8. Garzón LP. Importancia de las Micorrizas Arbusculares (Ma) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Luna azul*. 2016;(42):217-34.
9. Bücking H, Kafle A. Role of arbuscular mycorrhizal fungi in the nitrogen uptake of plants: current knowledge and research gaps. *Agronomy*. 2015;5(4):587-612.
10. Hijri M. Analysis of a large dataset of mycorrhiza inoculation field trials on potato shows highly significant increases in yield. *Mycorrhiza*. 2016;26(3):209-14.
11. Nurbaity A, Sofyan ET, Hamdani JS. Responses of Potato *Solanum tuberosum* to Glomus sp. Combined with Pseudomonas diminuta at Different Rates of NPK Fertilizers. *KnE Life Sciences*. 2017;2(6):102-9.
12. de Recursos Naturales S de C. Claves para la Taxonomía de Suelos. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos. Décima. 2014;400.
13. Pumisacho M, Velasquez J. Manual del cultivo de papa para pequeños productores. Quito. INIAP, COSUDE. 2009;
14. AGRODIAGNOSTIC. Soluciones Biológicas Agro-Ambientales, Ficha técnica: FOSFOTIC (5 x 1012 UFC de *Azotobacter vinelandii*, *Bacillus cereus*, *Bacillus*. 2016.
15. AGROBIOLÓGICOS. S. Safer micorrizas- Micorrizas Arbusculares 'Internet'. 2017 'cited 06/04/2021'. Available from: <https://safer.com.co/productos-2/>
16. Mora Quilismal SR, Águila Alcantara E, Revelo Ruales V, Benavides Rosales H, Balarezo Urresta L, Mora Quilismal SR, et al. Combinación de dos biofertilizantes y fertilización química en la producción de *Solanum tuberosum* cv. Superchola en Andisoles ecuatorianos. *Centro Agrícola*. 2019;46(4):44-52.
17. Krishnamoorthy R, Manoharan MJ, Ki-Yoon K, SeonMi L, Charlotte, Rangasamy A, et al. Synergistic Effects of Arbuscular Mycorrhizal Fungi and Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Sustainable Agricultural Production. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer*. 2011;44(4):637-49. <https://doi.org/10.7745/KJSSF.2011.44.4.637>
18. Camarena-Gutiérrez G. Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo serie ciencias forestales y del ambiente*. 2012;18(3):409-21. <https://doi.org/10.5154/r.rchscfa.2011.11.093>
19. Billah M, Khan M, Bano A, Hassan TU, Munir A, Gurmani AR. Phosphorus and phosphate solubilizing bacteria: Keys for sustainable agriculture. *Geomicrobiology Journal*. 2019;36(10):904-16.
20. Pérez A, Rojas J, Montes D. Hongos formadores de micorrizas arbusculares: una alternativa biológica para la sostenibilidad de los agroecosistemas de praderas en el caribe colombiano. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*. 2011;3(2):366- 85.
21. Serna Gómez SL. Efecto de la inoculación conjunta con hongos micorrízicos y microorganismos solubilizadores de fósforo en plantas de aguacate. *Facultad de Ciencias*. 2013;80.
22. Fernandes AM, Soratto RP, Moreno L de A, Evangelista RM. Effect of phosphorus nutrition on quality of fresh tuber of potato cultivars. *Bragantia*. 2015;74(1):102-9.
23. Demortier M, Loján P, Velivelli SL, Pfeiffer S, Suárez JP, de Vos P, et al. Impact of plant growth-promoting rhizobacteria on root colonization potential and life cycle of *Rhizophagus irregularis* following co-entrapment in alginate beads. *Journal of Applied Microbiology*. 2016;122(2):429-40.
24. Zhang L, Xu M, Liu Y, Zhang F, Hodge A, Feng G. Carbon and phosphorus exchange may enable cooperation between an arbuscular mycorrhizal fungus and a phosphate-solubilizing bacterium. *New Phytologist*. 2016;210(3):1022-32.
25. MAGAP. SINAGAP. Precio de los productos agrícolas. Ecuador, Quito; 2018.
26. MAGP. Informe de rendimientos de papa en el ecuador 2017 'Internet'. Ecuador, Quito; 2018. Available from: http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento_papa_2017.pdf
27. Restrepo-Correa SP, Pineda-Meneses EC, Ríos-Orsorio LA. Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas: una revisión sistemática. *Ciencia y Tecnología Agropecuaria*. 2017;18(2):335-51.