



La micorriza arbuscular (*Glomus fasciculatum*) en la absorción simbiótica de fósforo con variedades de papa nativa

Deyby Felipez¹ y Noel Ortuño²

Resumen

Con el objetivo de determinar el efecto de la micorriza arbuscular (MA) y niveles de fósforo *Glomus fasciculatum* en el desarrollo y productividad de cinco variedades nativas de papa. El diseño experimental que se utilizó fue el de Bloques Completos al Azar (BCA), con tratamientos estructurados de 6x2x3 con 3 repeticiones. Las variedades de papa nativa tuvieron diferentes respuestas tanto a la inoculación con *G. fasciculatum*, y a fósforo. La longitud de raíz incrementó linealmente en las variedades Malkacho 1 (63.7 cm), Polonia (51.75 cm), Waych'a (50.25 cm) y Yuraj Imilla (52.8 cm). El rendimiento fue mayor con la inoculación de 100 kg/h de micorriza *G. fasciculatum* (5.41 tn/h), siendo las variedades con mayor rendimiento las variedades Malkacho 1 (7.02 tn/h) y Malkacho 2 (7.14 tn/h). Las variables frecuencia de colonización (%), número de esporas, peso fresco de follaje fue mayor con la aplicación de 100 kg/h de la micorriza *G. fasciculatum*, en las variedades Malkacho 1 (29.35%), Malkacho 2 (31.62 %), Yuraj imilla (29.16%) y Yana Runa (28.70%). El fósforo afectó la frecuencia de colonización (%) y número de esporas disminuyéndolas con dosis superiores a 60 kg/h y 65 kg/h, respectivamente.

Palabras claves adicionales: Inoculación, esporas, dosis, productividad, rendimiento.

*Autor de contacto. Correo E: n.ortuno@umss.edu.bo

¹ Deybi Felipez.  Consultor independiente. Cochabamba, Bolivia.

² Noel Ortuño.  Docente e investigador de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias.



Arbuscular mycorrhiza (*Glomus fasciculatum*) in symbiotic phosphorus uptake with native potato varieties

Summary

With the objective of determining the effect of arbuscular mycorrhiza (MA) and *Glomus fasciculatum* phosphorus levels in the development and productivity of five native potato varieties. The experimental design used was that of Complete Random Blocks (BCA), with structured treatments of 6x2x3 with 3 repetitions. The native potato varieties had different responses both to inoculation with *G. fasciculatum*, and to phosphorus. Root length increased linearly in Malkacho 1 (63.7 cm), Polonia (51.75 cm), Waych'a (50.25 cm) and Yuraj Imilla (52.8 cm) varieties. The yield was higher with the inoculation of 100 kg/h of *G. fasciculatum* mycorrhiza (5.41 tn/h), the varieties with the highest yield being the varieties Malkacho 1 (7.02 tn/h) and Malkacho 2 (7.14 tn/h). The variables frequency of colonization (%), number of spores, fresh weight of foliage was higher with the application of 100 kg/h of the mycorrhiza *G. fasciculatum*, in the varieties Malkacho 1 (29.35%), Malkacho 2 (31.62%), Yuraj imilla (29.16%) and Yana Runa (28.70%). Phosphorus affected the colonization frequency (%) and number of spores, decreasing them with doses higher than 60 kg/h and 65 kg/h, respectively.

Additional Keywords: Inoculation, spores, dose, productivity, yield.

Introducción

La papa es el de mayor importancia para la agricultura y consumo en Bolivia, ya que involucra a más de 200.000 familias que la cultivan, alcanzando a producciones mayores a las 650.000 ton/año. Además de los productores están los rescatistas, acopiadores, comercializadores e industrias transformadoras de la papa, que abastecen de papa y sus derivados a la población consumidora. De esta manera los efectos multiplicadores del cultivo de papa en la economía nacional son significativos ya que están relacionados principalmente con los sectores de la población de más bajos ingresos (Guido *et al.*, 2001).

En la región andina se caracteriza por una gran diversidad de ecosistemas con diferentes condiciones climáticas y geomorfológicas que han generado una

gran diversidad genética. Estos ecosistemas se están degradando por el uso excesivo de agroquímicos (Guido *et al.*, 2001).

Por otro lado Dodd (1999) y Sylvia (1999), afirman que, la aplicación de elementos biológicos que actúan de forma coordinada en la interface suelo-raíz, tienen el conocido efecto positivo sobre los cultivos: incrementando la biomasa y producción de la planta, como ejemplo se encuentran los hongos formadores de micorrizas-arbusculares. Coyne (2000), también añade más beneficios de las micorrizas los cuales son: 1) Facilitar la absorción de fósforo y zinc. 2) Facilita un mejor aprovechamiento del fósforo y zinc de los fertilizantes y del suelo. 3) Estimula la fijación de nitrógeno en las plantas noduladas, aumentando el flujo del fósforo a través de las raíces.

4) Aumenta la tolerancia a enfermedades en las plantas, mejorando su nutrición y compitiendo con microorganismos patógenos por el espacio de las raíces en las plantas. 5) Inmoviliza algunos metales pesados como el cadmio y el manganeso. 6) Mejora la absorción de agua y la tolerancia a sequedad. 7) Mejora la estructura del suelo ayudando en la cohesión de los agregados del suelo.

Este trabajo fue realizado con el fin de verificar si las micorrizas pueden mejorar la absorción de P y los rendimientos en diferentes variedades de papa.

Materiales y métodos

El trabajo se realizó en la zona de El Paso, avenida el Elias Meneces Km4,5, Cochabamba-Bolivia. Geográficamente ubicada en las coordenadas 17° 21'01.91" de Latitud Sud y 66° 15'44.34" de Longitud Oeste, con una altitud promedio de 2613 m.s.n.m., con un clima semiárido con precipitaciones media anual de 512 mm; temperatura media anual de 17.4 °C, La humedad relativa es de 53%. Los vientos predominantes se mueven en dirección sur este y sur oeste.

El material vegetal fue proporcionado por la Fundación PROINPA, las variedades nativas de papa utilizadas son de la especie *Solanum tuberosum* ssp. andigena y fueron: Polonia, Malkacho, Yana Imilla, Yuraj imilla y Waych'a.

Se utilizó la Micorriza (HMA) *Glomus fasciculatum*, el cual contó con 15 esporas por gramo siendo este aplicado al momento de la siembra en niveles de 0 kg/ha y 100 kg/ha. Superfosfato triple 0-46-0 (46% de P₂O₅). El mismo que fue aplicado en la siembra con niveles de 0 kg/ha, 60 kg/ha y 120 kg/ha.

Las características químicas del Suelo Experimental fueron: pH=8,3; C.E.=1,032

(milimhos/cm); K= 0,78; MO=3,1; Nt=0,17; P disponible (ppm)= 103,6. El análisis fue realizado por el Laboratorio de Suelos y Aguas de la Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias de la Universidad Mayor de San Simón.

Tratamientos

El diseño experimental que se utilizó fue el de Bloques Completos al Azar (BCA), con tratamientos estructurados de 6x2x3 con 3 repeticiones.

Las variables de respuesta fueron: Número tallos por planta, Peso seco foliar, Longitud de raíz, Peso seco de raíz, Número de tubérculos por planta, Rendimiento.

Para la observación de micorrizas *Glomus fasciculatum* se tomaron muestras de raíces de papa, estas fueron lavadas, cortadas y colocadas a tubos de ensayo, a los que se añadió una solución de KOH al 10% (100 g KOH por 1000 ml agua), luego estos fueron calentados en estufa a 90°C durante 10 minutos y posteriormente se lavaron con bastante agua, a continuación fueron introducidos en tubos de ensayo, en donde se cubrieron las raíces con la solución de tinta al 5% en vinagre, estos tubos se depositaron en el baño María calibrado previamente a 90°C por espacio de 15 minutos. A continuación se dejaron reposar por un lapso de 20 minutos y luego las raíces fueron lavadas nuevamente.

Para realizar las observaciones se cortaron las raíces más finas en segmentos de un centímetro de longitud aproximadamente y se colocaron 20 segmentos sobre un portaobjeto con una gota de agua y se cubrió con otra placa de vidrio, para después observar al estereoscopio con ayuda del objetivo 40X, las lecturas fueron hechas dividiendo los segmentos de un cm en tres y en sentido horizontal (Sánchez *et al* 2009).

La determinación de la frecuencia de colonización de HMA se realizó con la siguiente fórmula:

$$\%F = \frac{\text{Numero de segmentos colonizados}}{\text{Numero de segmentos totales}} \times 100$$

Para la extracción de esporas del suelo, se realizaron los siguientes pasos: primeramente se tomaron muestras de 20 g de suelo proveniente de cada maceta, el cual se tamizó con tamiz de 2mm (Tamiz No. 10). Se tomó al mismo tiempo una muestra similar con el fin de estimar la humedad del suelo. Se pasó la muestra por tamices superpuestos, de tamaños de poro 450 μm , 120 μm y 40 μm . Con abundante agua se eliminaron impurezas y partículas de tamaños inferiores. El material que quedó sobre los tamices intermedios (120 μm y 40 μm), fue recogido, cuidadosamente con una espátula de punta fina y pasó a tubos para centrifuga de 50 ml (previamente marcados) en forma individual.

El material restante se pasó con ayuda de un frasco pizeta y agua. El volumen del tubo con muestra y agua no debe sobrepasar los 30 ml. La sacarosa fue añadida a los tubos con los 30 ml de la muestra, hasta completar 45 ml. Se agitó el fondo de cada tubo con ayuda de una espátula de punta fina.

Posteriormente, se llevaron los tubos a una centrifuga con ángulo libre y se centrifugaron a 3200 rpm 6 minutos. Esto para la separación clara en tres fases: agua – sacarosa – suelo (Sánchez *et al.*, 2009). Posteriormente se tamizó el líquido con ayuda de un papel filtro, el cual se colocó en una caja petri cudriculada para finalmente se realizó el conteo de esporas. Finalmente se observó las esporas de HMA en el estereoscopio. Normalmente el conteo se expresa en número de esporas de HMA/100 g de suelo seco. (Sieverding, 1984).

Resultados y discusión

Número de tallos por planta

Para la variable número de tallos por planta donde se observa diferencias significativas para el factor variedad (Pr=0.0001). No se pudo demostrar que los factores fósforo y micorriza tengan efecto en el número de tallos por planta y tampoco que exista interacción para esta variable entre los factores estudiados.

La figura 1 muestra diferencias estadísticas en el número de tallos entre las variedades estudiadas, destacando Yana Runa, seguida de Yuraj Imilla y Malkacho1 que duplican en tallos a Polonia que es la que presenta el más bajo número de tallos. Esta tendencia no está correlacionada con el rendimiento del cultivo ($r = 0.41$). Al respecto, Pumisacho y Sherwood (2002), mencionan que la cantidad de tallos de papa es un carácter varietal.

Por otro lado, Carrillo *et al.* (2003), afirma que a mayor número tallos aumenta el rendimiento hasta cierto nivel, de igual forma se reduce el número de tubérculos grandes.

Peso seco foliar

En la variable peso seco foliar donde se observa diferencias significativas para el factor variedad (Pr=0.0001) y para el factor fósforo (Pr=0.0386). No se pudo demostrar que el factor micorriza tengan efecto en el peso seco foliar y tampoco que exista interacción para esta variable entre los factores estudiados. **La figura 2** muestra diferencias estadísticas en el peso seco foliar entre las variedades estudiadas, destacando Polonia (15.71 g), seguida de Yuraj Imilla (14.08 g), los cuales obtuvieron el peso de 15.71 g y 14.08 g. Esta tendencia muestra una correlación negativa con el rendimiento del cultivo ($r = -0.69$).

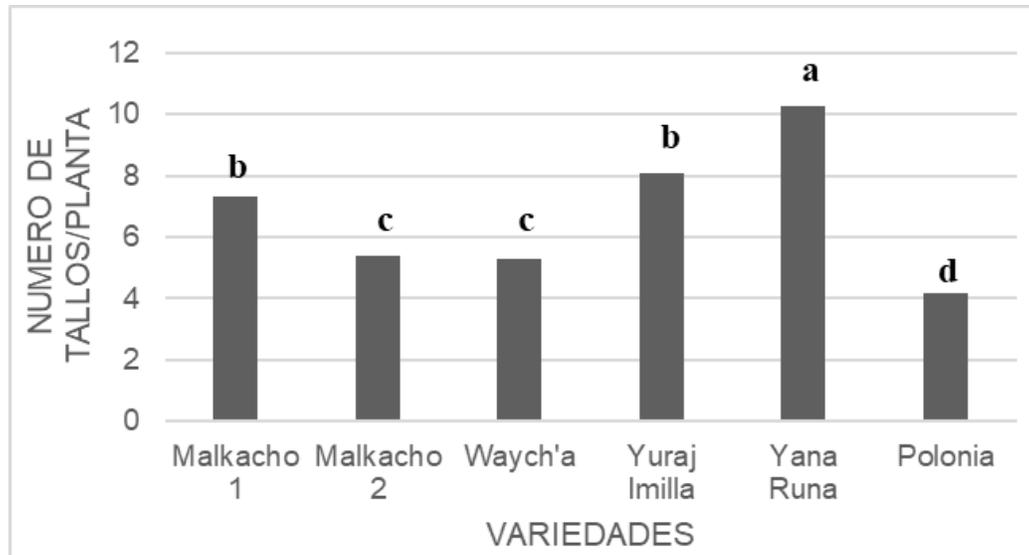


Figura 1. Número de tallos por planta en variedades de papa nativa.

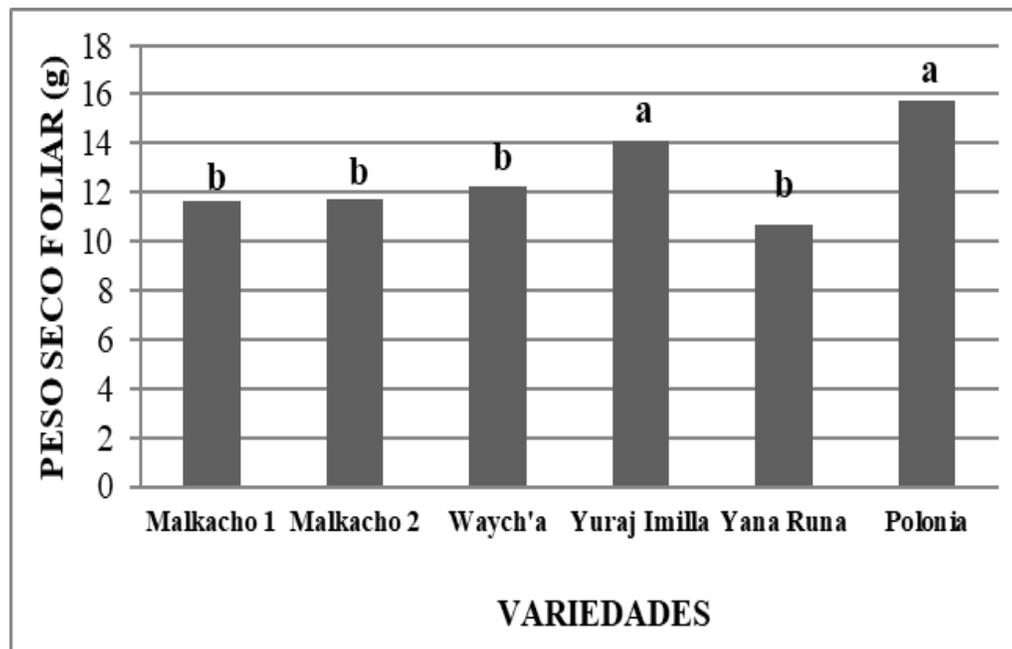


Figura 2. Peso seco foliar en variedades de papa nativa.

Cuando se hizo el análisis de tendencia, el peso seco foliar incrementó linealmente a medida que aumentó el nivel de fósforo (**Figura 3**). Balemi (2009), menciona que el bajo suministro de fósforo en papa, reduce el peso seco de la planta, es decir que con el incremento de fósforo el peso seco foliar igualmente incrementa.

Mejia (2007), menciona que se obtuvieron respuestas significativas en la acumulación de materia seca en el cultivo de tomate a concentraciones mayores de fósforo.

Longitud de raíz

Para la variable longitud de raíz donde se observa diferencias significativas para los factores variedad, micorriza, y fósforo ($Pr > 0.05$), además de la interacción variedad por micorriza ($Pr = 0.0423$) y variedad por fósforo ($Pr = 0.0088$).

En la interacción variedad por micorriza la longitud de raíz en la variedad Malkacho 1 fue mayor ($Pr > 0.001$) tanto con la inoculación de micorriza (100 kg/ha), como cuando no se inoculó (0 kg/ha), esto respecto al resto de los tratamientos, siendo que esta última fue 59.5 cm. También se observó que la aplicación de micorriza incrementó la longitud de raíz en las variedades en general con relación al testigo (**Figura 4**).

Hernández (2001), menciona que la micorrización al igual que la fertilización con fósforo al suelo, produce un aumento del crecimiento de raíz.

De igual forma Pulido *et al.* (2003), afirma que, en estudios realizados con cebolla y tomate, se observaron que las variables altura y la longitud radical de las plantas inoculadas con hongos micorrícicos entre ellos *Glomus fasciculatum* fueron

superiores a los valores correspondientes al testigo absoluto.

La longitud de raíz incrementó linealmente en las variedades Malkacho 1 ($Pr < 0.0141$), Polonia ($Pr < 0.012$), Waych'a ($Pr < 0.0026$) y la variedad Yuraj Imilla ($Pr < 0.0019$) a medida que aumenta el nivel de fósforo (**Figura 5**).

Este incremento en la longitud de raíz se debe a que el fósforo promueve la rápida formación de tubérculos y crecimiento de las raíces (Oyarzún *et al.*, 2002). Giaconi y Escaff (1993), mencionan al respecto que la presencia de fósforo es indispensable, en el caso de las raíces, ya que este estimula el desarrollo radicular.

Peso seco de raíz

En la variable peso seco de raíz donde se observa diferencias significativas para el factor variedad ($Pr = 0.0001$). No se pudo demostrar que los factores fósforo y micorriza tengan efecto en el número de tallos por planta y tampoco que exista interacción para esta variable entre los factores estudiados.

Las variedades Waych'a (5.15 g), Yuraj imilla (4.21 g), Malkacho 1 (4.06 g) y Polonia (3.91 g), fueron las de mayor peso seco de raíz tal como lo muestra **la figura 6**. Esta tendencia mostro una correlación negativa con el rendimiento del cultivo ($r = -0.57$).

En la variable peso seco de raíz no se hallaron diferencias estadísticas para micorriza y fósforo, resultado que coincidió con los obtenidos por Main (2009), la cual citó a Moreno (1988) y Coyne (2000), mencionando que dicho resultado probablemente se deba al pH del suelo o condiciones climáticas.

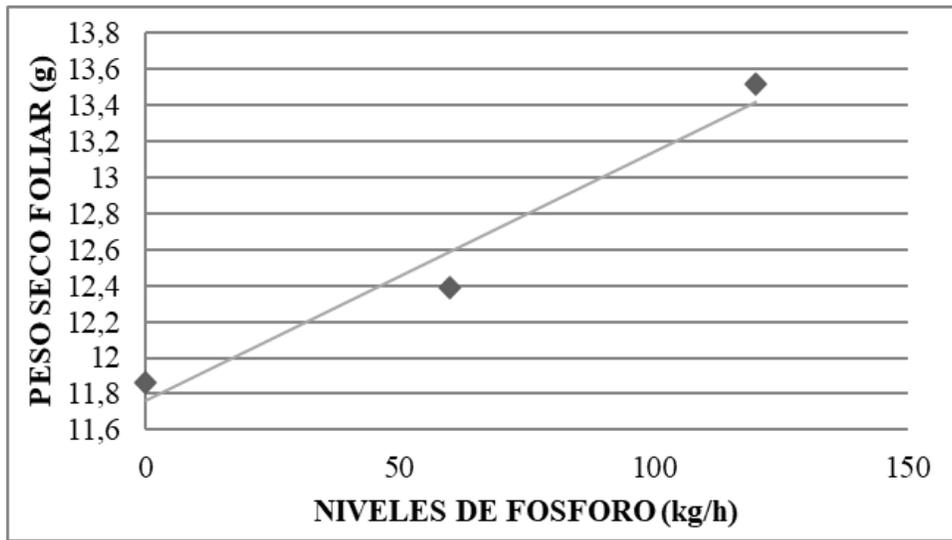


Figura 3. Efecto de los niveles de fósforo sobre el peso seco foliar de papa nativa.

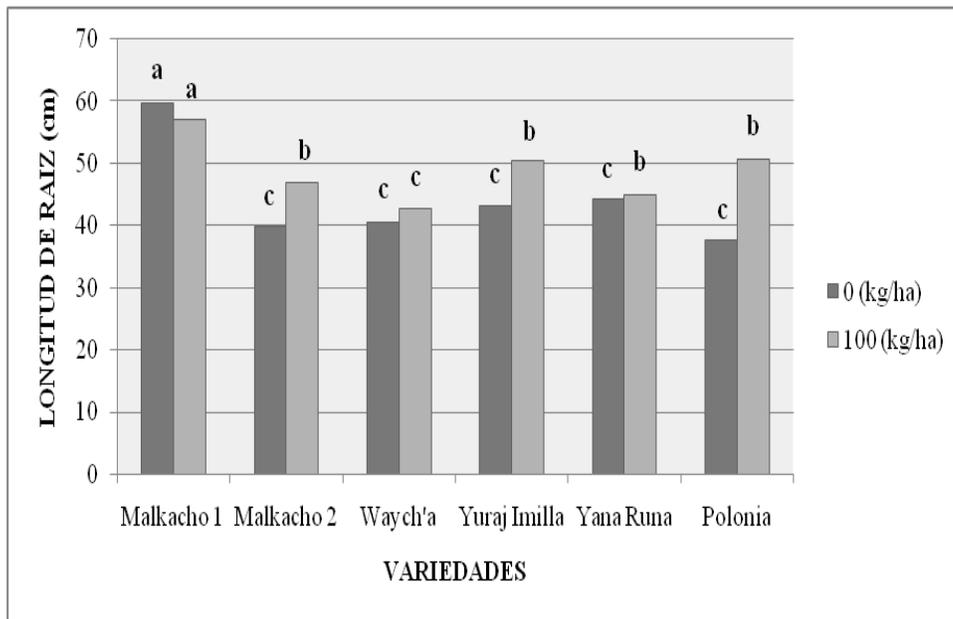


Figura 4. Efecto de la micorriza sobre la longitud de raíz en variedades de papa nativa.

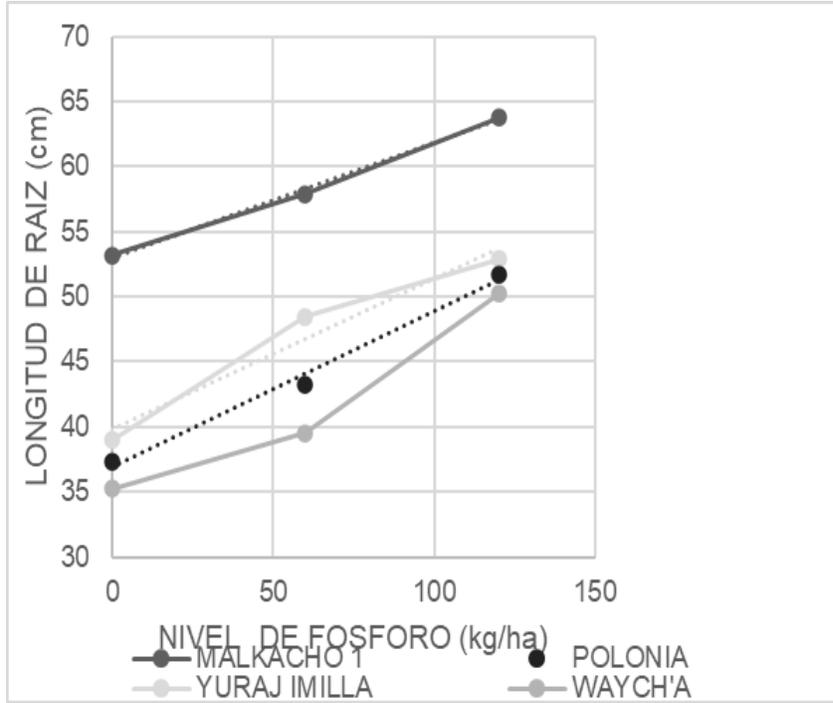


Figura 5. Efecto entre niveles de fósforo y variedades de papa nativa.

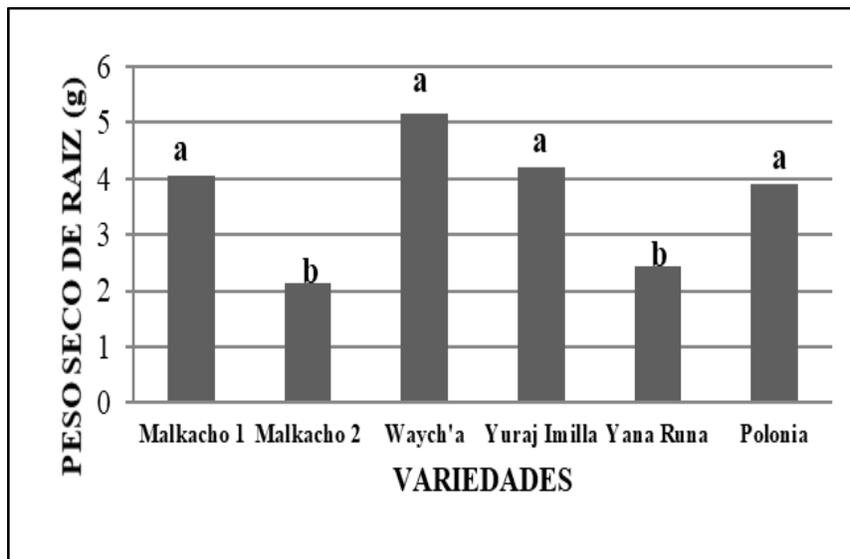


Figura 6. Peso seco de raíz (g) en variedades de papa nativa.

Número de tubérculos por planta

La variable número de tubérculos por planta mostro diferencias significativas para los factores variedad ($Pr=0.0001$), micorriza ($Pr=0.0059$) y fósforo ($Pr=0.0002$). **La figura 7** muestra que las variedades que tuvieron mayor número de tubérculos por planta fueron Yuraj Imilla (14.56) y Yana Runa (12.5) en relación a las demás.

Esta tendencia no está correlacionada con el rendimiento del cultivo ($r = 0.35$). Al respecto Pumisacho y Sherwood (2002), mencionan que una densidad de tallos alta, conduce a un incremento en el rendimiento por área hasta cierto punto. Esto se refleja en una mayor proporción de tubérculos pequeños lo cual se observó con las variedades Yuraj Imilla y Yana Runa que fueron los que desarrollaron mayor número de tallos por planta.

En la **figura 8**, se observa que existió diferencia ($Pr=0.0001$) entre la aplicación de la micorriza MA *Glomus fasciculatum* (100 kg/ha) y el testigo (0 kg/ha) para el número de tubérculos por planta, lo cual coincide Graham et al. (1976), quién menciona que las micorrizas incrementan la tuberización en las especies solanáceas. Esto se logró utilizando inóculo de 15 esporas/g, si la concentración de esporas por gramos del inóculo aumentara, la dosis por ha podría disminuir de forma importante.

Por otra parte, **la figura 9** muestra que el número de tubérculos incrementó a medida que aumentaban los niveles de fósforo ($Pr<0.0002$), resultado que coincide con Palmieri (1988), y Bolaños (2001), que afirman que el fósforo tiende a aumentar el número de tubérculos por planta en el cultivo de papa. Viani et al, (2009) y Carrillo et al. (2003), afirman de igual manera, que la aplicación de fósforo ayudo a incrementar el número de tubérculos en el cultivo de papa.

Rendimiento (t/ha)

La variable número de tallos por planta mostro diferencias significativas para diferencias entre las Variedades ($Pr=0.0001$), Micorriza ($Pr=0.0338$) y Fósforo ($Pr=0.0051$). **La figura 10** muestra que las variedades con mayor rendimiento (t/ha) fueron Malkacho 1 (7.02 t/ha) y Malkacho 2 (7.14 t/ha), y fueron superiores significativamente al resto ($Pr = 0.0001$).

Con la aplicación de micorrizas con el nivel de 100 kg/ha el rendimiento de papa fue superior, con el cual se obtuvo 5.41 t/ha, al respecto Monteiro y Susana (1983) afirman que ensayos hechos en laboratorio, invernadero y campo incrementaron el rendimiento y contenido de nutrientes de las plantas micorrizadas (**Figura 11**). Por otra parte, Zeballos (2006), indica que los rendimientos de papa con la aplicación de microorganismos son mayores.

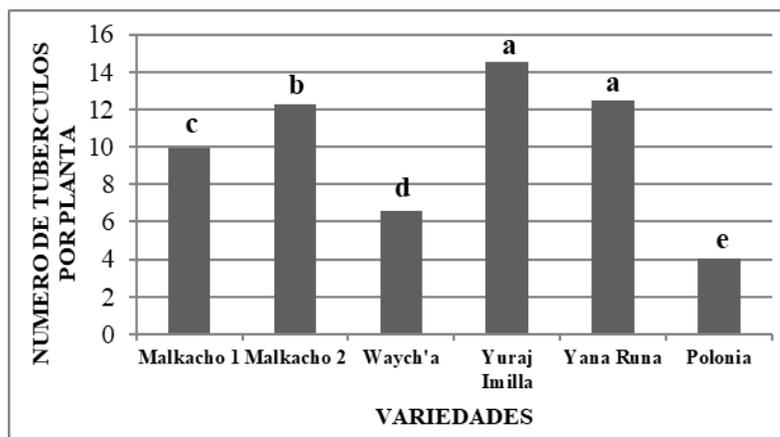


Figura 7. Número de tubérculos por planta en variedades de papa nativa.

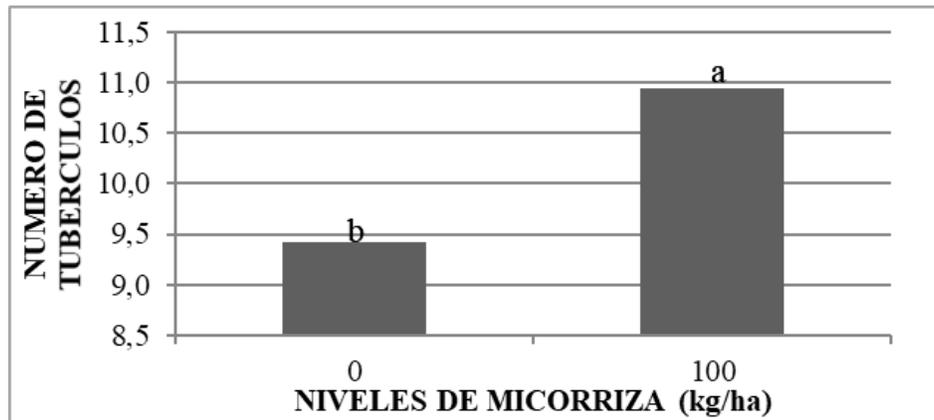


Figura 8. Efecto de los niveles de las micorrizas en el número de tubérculos.

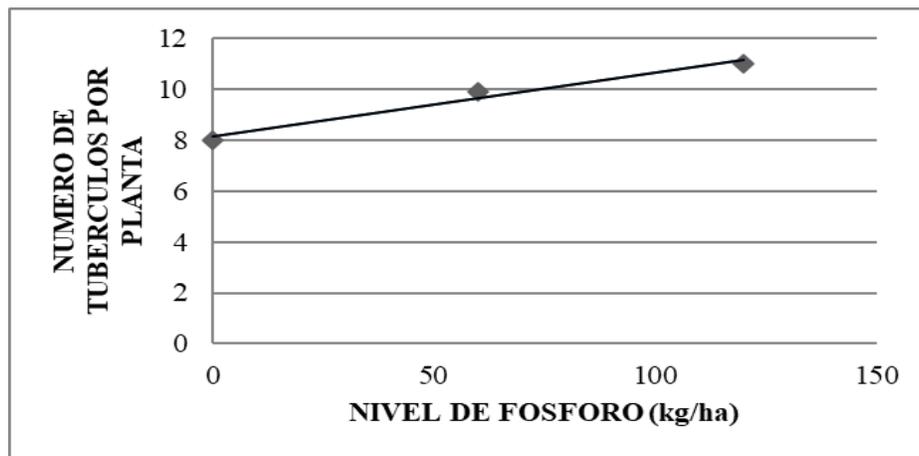


Figura 9. Efecto de los niveles de fósforo en el número de tubérculos.

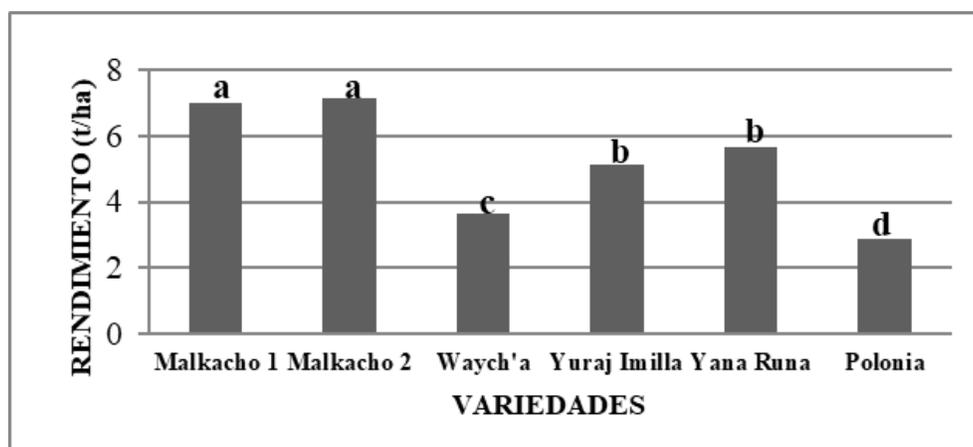


Figura 10. Rendimiento (t/ha) en variedades de papa nativa.

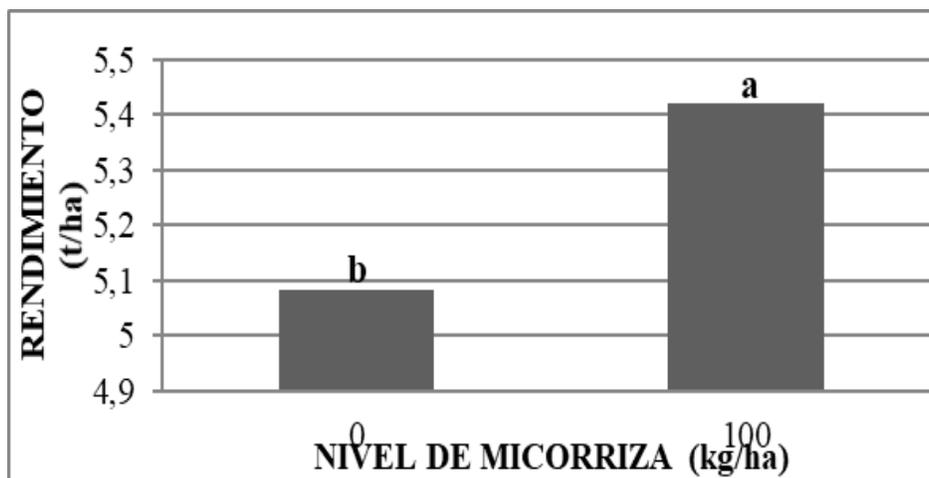


Figura 11. Rendimiento de la papa nativa (t/ha) por efecto de la micorriza.

De igual forma Agüero et al. (2006), logró demostrar que las plantas micorrizadas incrementan su rendimiento, ya que sus hifas al desarrollarse aumentan el volumen de suelo total a explorar y permiten la absorción de nutrientes fuera de la zona de agotamiento producida por las raíces. Llonin et al. (1998), por su parte indican que los beneficios de la fertilización mineral sobre el rendimiento del cultivo de tomate se potenciaron con la inoculación de la especie *Glomus fasciculatum*, encontrando incrementos en el rendimiento de hasta 25 %.

Se estimó que existe un efecto en el rendimiento de papa (t/ha) con la aplicación de fósforo, aumentándolo a medida que incrementan los niveles de fósforo ($Pr=0.0012$) (**Figura 12**). Esto

coincide con lo mencionado por Palmieri (1988) y Bolaños (2001), quienes afirman que el fósforo tiende a aumentar el rendimiento total. Por su parte, Franco *et al.* (1993), afirma que la biomasa (follaje, tubérculo y raíz) se incrementa proporcionalmente a la fertilización realizada a la planta. De igual forma Llonin *et al.* (1998), indica que la aplicación de las distintas dosis de fertilizantes, aumenta la respuesta de la producción a medida que esta incrementan. Por su parte Pumisacho y Sherwood (2002), afirma que el fósforo es esencial para la calidad y rendimiento de los cultivos, de igual manera mencionan que la máxima eficiencia del cultivo de papa en el uso de fósforo fue 100 kg/ha, con una producción de 126 kg de papa por cada kg de fósforo aplicado en campo.

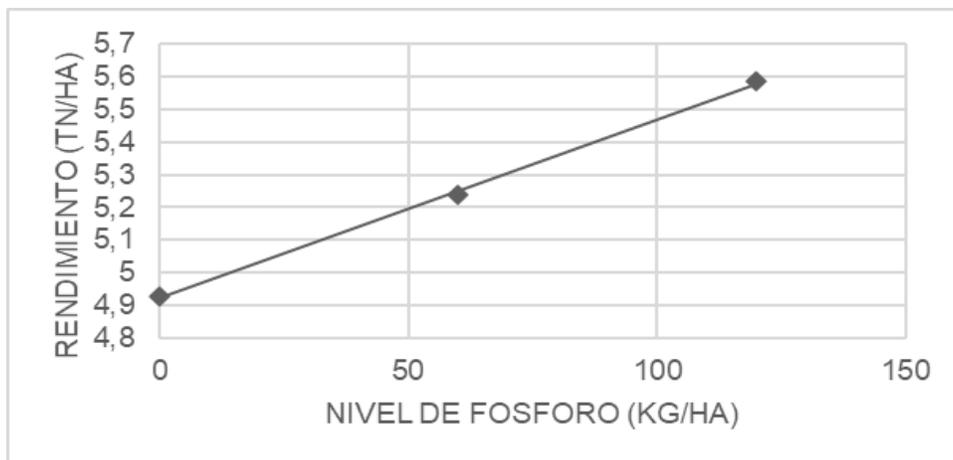


Figura 12. Efecto del nivel de fósforo en el rendimiento del cultivo de papa nativa.

Frecuencia de Colonización de micorriza (%) en raíces de papa nativa.

En la variable frecuencia de Colonización de micorriza MA *Glomus fasciculatum* en las raíces de papa donde se observa diferencias significativas para los factores variedad ($Pr=0.0037$), niveles de micorriza ($Pr=0.0001$) y niveles de fósforo ($Pr=0.0042$). La frecuencia de colonización (%) de la micorriza MA *Glomus fasciculatum* fue superior ($Pr=0.0019$) en las variedades Malkacho 2, (31.62 %), Malkacho 1 (29.35 %), Yuraj imilla (29.16 %) y Yana Runa (28.70 %) siendo Waych'a la de más baja porcentaje de colonización (**Figura 13**).

Estos valores fueron aproximados a los informados por Terry (2001), quien encontró un 39 % de colonización en

plantas de tomate inoculadas con *G. fasciculatum*. Esta tendencia está correlacionada con el rendimiento del cultivo ($r = 0.76$). El INCA (1998), afirma que los HMA incrementan los rendimientos agrícolas. La frecuencia de colonización tuvo un valor elevado cuando se inoculó con 100 kg/ha siendo este de 32.19 %, sin embargo, se observó colonización en plantas sin tratar, esto se puede deber a un efecto de manejo durante el ciclo del cultivo (**Figura 14**), Ruíz *et al.* (1997) y Terry *et al.* (1998), indican como positivos valores entre 30-40 % para las plantas de tomate inoculadas con HMA.

La variable frecuencia de colonización de micorriza incrementa cuadráticamente ($Pr=0.0012$) a medida que aumenta los niveles de fósforo siendo el nivel óptimo 60 kg/ha (**Figura 15**).

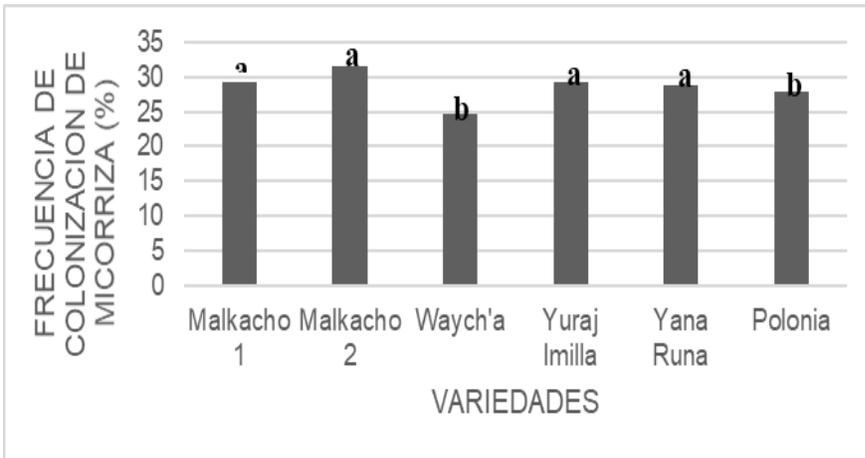


Figura 13. Frecuencia de colonización de micorriza en variedades de papa nativa.

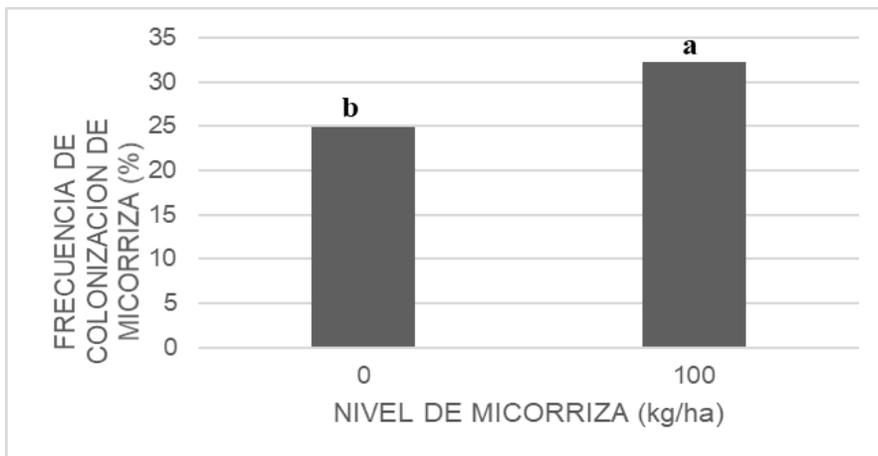


Figura 14. Frecuencia de Colonización de micorriza en el cultivo de papa nativa.

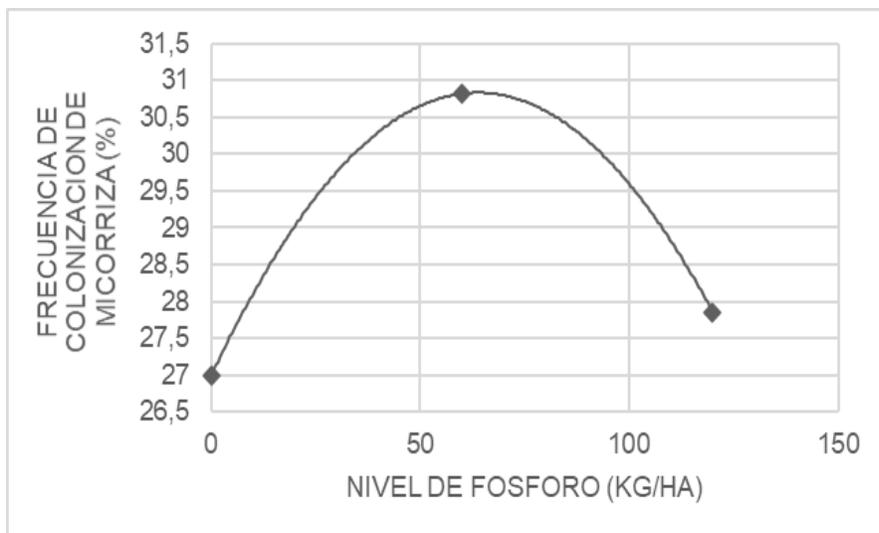


Figura 15. Regresión cuadrática para la variable Frecuencia de Colonización de micorriza en raíces de papa nativa.

Con respecto a los niveles de fósforo Guzman (1991), menciona que estos tendrían un efecto sobre la colonización micorrizica, relacionado a la especie y variedad del hospedero. Hirata *et al.* (1998), indica que puede haber un nivel óptimo de fósforo para estimular fuertemente la colonización para cada especie de planta. Con respecto a estos resultados, Diederichs y Moawad (1993), mencionan que la aplicación excesiva de fertilizantes químicos afecta el proceso de formación y desarrollo de la simbiosis micorrizica. De igual forma estudios desarrollados por Buwalda *et al.* (1982), demostraron que la colonización micorrizica disminuye cuando los niveles de fósforo incrementan, además existen evidencias que señalan que cuando el fósforo del suelo es bajo, la aplicación de dosis moderada de fertilizantes puede mejorar la acción de las micorrizas (Bolan, 1991; Bolan *et al.*, 1994; Cuenca *et al.*, 1998).

Número de Esporas

En la variable Número de esporas de *Glomus fasciculatum*, mostró diferencias significativas para los factores variedad ($Pr=0.0094$), micorriza ($Pr=0.0001$) y fósforo ($Pr=0.022$). La variedad Malkacho 1 es igual a Malkacho 2 ($Pr<0.3861$), Yuraj imilla ($Pr<0.1499$) y Yana runa ($Pr<0.199$) pero es diferente a Polonia ($Pr<0.012$) (**Figura 16**), por lo tanto las variedades Malkacho 1, Malkacho 2, Yuraj imilla y Yana runa fueron las que tuvieron mayor número de esporas. La figura 31

muestra que el número de esporas encontradas en 100 g de suelo fue diferente entre las variedades, esta tendencia está correlacionada con el rendimiento del cultivo ($r = 0.96$). Azcon y Barea (1980), mencionan que también el tipo de hospedero influye sobre la colonización y producción de esporas, siendo generalmente las plantas con elevada demanda de fósforo como las leguminosas o con pobre sistema radicular (papa, cebolla), las que responde mejor a la micorrización. Khanam (2006), menciona que el pH, la humedad del suelo y la disponibilidad de nutrientes están influyendo tanto en la colonización micorrizica como en el número de esporas. Menge *et al.* (1978), por su parte afirman que existen evidencias de que la concentración de P es un factor que determina el comportamiento de la colonización y producción de esporas de hongos HMA. Graham *et al.* (1996), de igual manera coinciden afirmando que existen numerosas evidencias que demuestran que los altos niveles de P disminuyen la colonización.

En la **figura 17** se observa que existe mayor número de esporas en el tratamiento con inóculo 100 kg/ha, en comparación con el testigo (0 kg/ha). La variable Número de esporas incrementa linealmente y disminuye cuadráticamente ($Pr<0.0081$) a medida que aumenta los niveles de fósforo siendo el nivel óptimo 65 kg /ha (**Figura 18**).

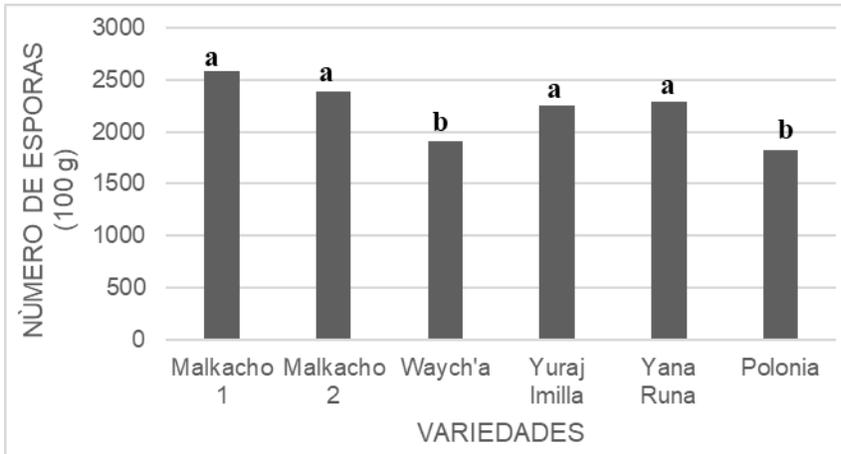


Figura 16. Número de esporas de micorriza/100 g de suelo en cultivo de papa nativa.

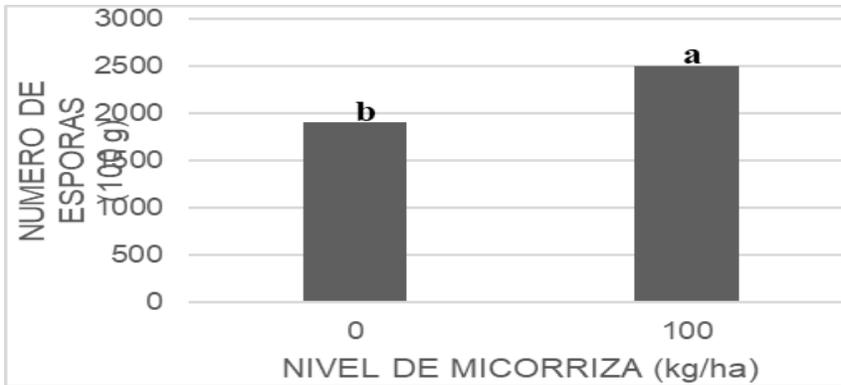


Figura 17. Número de Esporas/100 g de suelo.

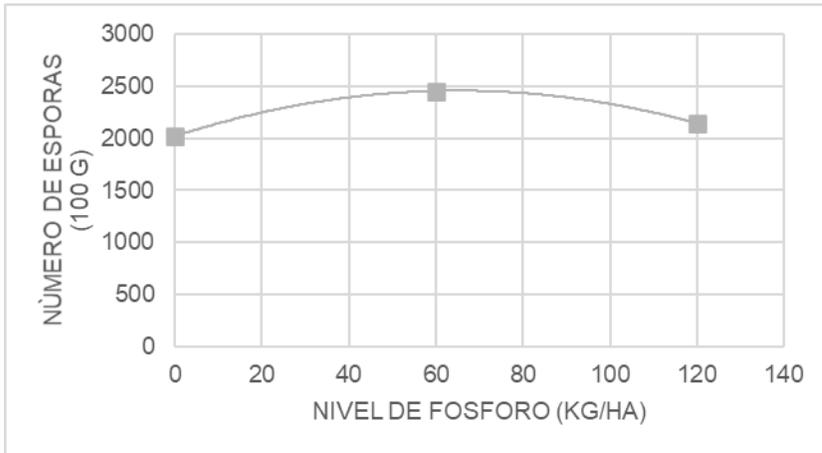


Figura 18. Regresión cuadrática para la variable Número de Esporas.

Conclusiones

De acuerdo con los objetivos planteados y los resultados obtenidos se llegaron a las siguientes conclusiones:

- a) La frecuencia de colonización y número de esporas de la micorriza *Glomus fasciculatum* está ligado a las variedades de papa nativa, siendo diferente para cada variedad, donde las variedades Malkacho 1 y Malkacho 2 sobresalieron en estas variables.
- b) La micorriza *Glomus fasciculatum* contribuye a incrementar el rendimiento de papa nativa, siendo las variedades con mayor rendimiento las variedades Malkacho 1 y Malkacho 2, la aplicación de micorriza también aumento el número de tubérculos.
- c) El rendimiento de papa nativa fue mayor en las mismas variedades Malkacho 1 y Malkacho 2, en las cuales la frecuencia de colonización y número de esporas fueron mayores.
- d) El fósforo contribuyo en mayor longitud de raíz, número de tubérculos y rendimiento. La longitud de raíz incrementó linealmente en las variedades Malkacho 1, Polonia, Waych'a y Yuraj Imilla, el número de tubérculos y rendimiento fue mayor con el nivel de 120 kg/ha de fósforo.
- e) El fósforo afectó la frecuencia de colonización y número de esporas disminuyéndolas con dosis superiores a 60 kg/ha y 65 kg/ha respectivamente.

Agradecimientos

Los autores agradecen a la Fundación Proinpa y al programa FONTAGRO-BID por las facilidades y al financiamiento,

respectivamente. También a la Facultad de Agronomía de la Universidad Mayor de San Simón, por la confianza y oportunidad brindada.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún tipo de conflicto de intereses y manifiestas su total disposición para la publicación de este trabajo.

Referencias citadas

- Agüero, M. Y., E.Tamayo, R. Novella, M. A. Machado, D. Batista, Y. Álvarez y M. C. Ojeda. (2006). Respuesta del cultivo del tomate a la aplicación de fertilizante mineral y micorrizas arbusculares en condiciones de la provincia de Granma. Prog. y Res. In: XV Seminario Científico INCA., La Habana. Cuba.
- Azcon, A. C. y J. M. Barea. (1980). "Micorrizas". Investigación y ciencia. 15 (47): 8-16.
- Balemi, T. (2009). Effect of phosphorus nutrition on growth of potatoes genotypes with contrasting phosphorus efficiency. African crop science journal 17(4): 199-212.
- Bolan, N. S. (1991). A critical review on the role of mycorrhizal fungi in the uptake of phosphorus by plants. Journal Plant and soil. New Zealand 134: 189 – 207.
- Bolan N. S., A. D. Robson y N. J. Barrow. (1994). Increasing Phosphorus supply can increase the infection of plant roots by vesicular-arbuscular micorrhizal fungi. Soli Biol. Biochem. 16: 419-420

Bolaños, H. A. (2001). Introducción a la olericultura. EUNED. Costa Rica. San José 380 p.

Buwalda, J. G., G. J. S. Ross, D. B. Strible, y P. B. Tinker. (1982). The development of endomycorrhizal roots system: IV the mathematical analysis of effects of phosphorus on spread of vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in roots systems. *New Phytologist*. 92: 391-399.

Carrillo, C. P.; D. J. Moreno, B. Franco, y H. L. Fierro. (2003). Manual de papa para productores. CORPOICA. Manual Técnico. Ministerio de agricultura y desarrollo rural republica de Colombia. 100 p.

Coyne M. (2000). Microbiología del suelo: un enfoque exploratorio. España. Ed. ITP Paraninfo 415 p.

Cuenca, G. De Andrade y G. Escalante. (1998). Arbuscular mycorrhizae in the rehabilitation of fragile degraded tropical lands. *Biol fertil Soils* 26: 107-111

Diederichs, C. y A.M. Moawad. (1993). The potential of VA mycorrhizae for plant nutrition in the tropics. *Angew. Bot.* 67: p. 91-96

Dodd, J. C. (1999). Recent advances in understanding the role of arbuscular mycorrhizas in plant production. In: Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationships.

Guidi, A. F., P. Mamani. (2001). Características de la Cadena Agroalimentaria de la Papa y su Industrialización en Bolivia Fundación PROINPA – Proyecto Papa Andina Cochabamba – Bolivia. 93 p.

Giaconi, M. V. y M. Escaff. (1993). Cultivo de hortalizas. Santiago de Chile: editorial Universitaria, 328 p.

Graham, J. H., D. L. Drouillard, y N. C. Hodge. (1996). Carbon economy of sour orange in response to different *Glomus* spp. *Tree Physiology* 16: 1023-1029.

Graham, S. O., N. E. Green, y J. W. Hendrix. (1976). The Influence of Vesicular-Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth and Tubercization of Potatoes *Mycologia* 68(4): 925-929.

<http://www.jstor.org/discover/10.2307/3758809?uid=2134&uid=2&uid=70&uid=4&sid=21101183333721>.

Guzman, G. S. (1991). Influencia del fósforo sobre la colonización y producción de esporas de hongos micorrizicos vesiculo-arbusculares en tre hospederos a diferentes tiempos de desarrollo. Universidad de Colima. Facultad de ciencias biológicas y agropecuarias. Tesis de Maestría en Biología de la Producción especialidad en Microbiología. Tecoma, Colima. Mexico. Pag 43.

Hernandez, M. A. (2001). Dinámica de inducción de cinco sistemas enzimáticos, relaciones con los mecanismos de defensa en la planta, en la simbiosis tomate-hongos formadores de micorriza arbusculares. Tesis de grado. Facultad de Biología, Universidad de la Habana. INCA.

Hirata, H., T. Masunaga y H. Koiwa. (1998). Response of chickpea grown under soil to vesicular-arbuscular mycorrhizal infection in relation to the level of phosphorus application. *Soli Sci. Plant Nutrition* 34 (3): 441-449

INCA (Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas). (1998). Dossier del producto EcoMic®. Resultados de las campañas de validación.-- La Habana:INCA, 45 p.

Khanam, D. (2006). Effect of edaphic factor on root colonization and spore population of arbuscular mycorrhizal fungi. *Bulletin institute tropical agriculture* 29: 97-104.

Llonin, D., R. Novella, B. de la Noval K. Fernandez y I. De la provincia. (1998). Efecto de la aplicación de fuentes y dosis de fertilización fosforica en presencia o no de micorrizas arbusculares sobre el desarrollo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en

epoca no optima. En: XI Seminario Científico Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. Programa y Resúmenes. La Habana, p 190.

Main V. G. (2009). Efecto de la bacteria *Bacillus subtilis* y el hongo micorrizico arbuscular *Glomus fasciculatum* en los niveles de fósforo en el cultivar de papa waych'a (*Solanum tuberosum ssp andigena*). Tesis de Posgrado para obtener el título de Maestría en "Protección Vegetal y Medio Ambiente" Universidad Mayor de San Simón. Facultad de ciencias agrícolas pecuarias y forestales "Dr. Martín Cárdenas" 105 p.

Mejía M. Sara, E. I. Estrada, M. M. Franco. (2007). "Respuesta del Tomate Chonto Cultivar Unapal Maravilla, a Diferentes Concentraciones de Nutrientes". Acta Agronómica 56(2). 53-59. http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/acta_agronomica/article/view/642/1155-30k.

Menge, J. A., R. M. Davis, E.L.V. Johnson y G. A. Zenimyer. (1978). Micorrhizal fungi increase growth and reduce transplant injury in avocado. California Agriculture 32 (4): 6-7.

Monteiro, C. G. y B. Susana. (1983). Response of diverse groups of thirty-five cultivars to an isothermic environment of the Philippines. CIP- Region VII, Working paper N° 83-11

Oyarzún, P., F. Chamorro, J. Córdova, F. Merino, F. Valverde y J. Velázquez. (2002). Manejo agronómico en: El cultivo de la papa en Ecuador. Quito-Ecuador. INIAP-CIP. 51 - 82.

Palmieri, V. (1988). Respuesta de papa (*Solanum tuberosum L*) a la fertilización con nitrógeno y fósforo en la zona de fraijanes, alajuela. Tesis Ing. Agr. Facultad de

Terry, E., A. M. Pino y N. Medina. (1998). Efectividad agronómica de Azofert y Ecomic en el cultivo del tomate (*Lycopersicon*

Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José.

Pumisacho, M. y S. Sherwood. (2002). El cultivo de la papa en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) –Centro Internacional de la Papa (CIP). Quito, 231 p.

Pulido, L. E., N. Medina, A. Cabrera. (2003). La biofertilización con rizobacterias y hongos micorrizicos arbusculares en la producción de posturas de tomate (*Lycopersicon esculentum*) y cebolla (*Allium cepa*). I. Crecimiento vegetativo. Cultivos Tropicales 24(1): 15-24 Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas La Habana, Cuba. <http://redalyc.uaemex.mx/redalyc/pdf/1932/193218221003.pdf>. Visitado el 8 agosto del 2012

Ruíz, J., R. Gómez, D. Lara y B. Noval. (1997). Estudios de dosis de ECOMIC en el recubrimiento de semillas de tomate, maíz y soya. Cultivos Tropicales 18(1):13-15.

Sánchez de Prager M., R. P. Almanza, P. D. Velásquez y C. M. Narváez. (2009). Metodologías básicas para el trabajo con Micorriza Arbuscular y Hongos formadores de Micorriza Arbuscular. PROINPA FIDAR NUFFIC MDF. Cochabamba, Bolivia. 142 p.

Sylvia, D. (1999). Fundamentals and applications of arbuscular mycorrhizae: a biofertilizer perspective. In: Soil fertility, soil biology and plant nutrition interrelationships. Siqueira, J.;

Terry, E. (2001). Efectividad agronómica de biofertilizantes en el cultivo del tomate. Tesis presentada en opción al título académico de Maestro en Ciencias Agrícolas. ISCAH.

*esculentum*l). Cultivos Tropicales 19(3):33-37.

Viani, P. G., C. M. Giletto, E. C. Zamuner, H. E. Echeverría. (2009). Incidencia de Nitrógeno, fósforo y azufre sobre parámetros de calidad en papa para industria. pp 383-386

Zeballos, H. (2006). Agricultura y desarrollo sostenible SIRENARE, COSUDE y PLURAL editores 285 p.