

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Alternativas de bio-fertilización sobre indicadores morfológicos y productivos de *Solanum tuberosum* L. en Andisoles del Carchi-Ecuador

Alternatives of bio-fertilization on morphological and productive indicators of *Solanum tuberosum* L. in Andisols, Carchi-Ecuador

Segundo Ramiro Mora Quilismal¹, Edith Aguila Alcantara², Yanetsy Ruiz González², Luis Rodrigo Balarezo Urresta¹, Hernán Rigoberto Benavides Rosales¹

¹Escuela de Desarrollo Integral Agropecuario, Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales. Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC). Calle Antisana y Ave. Universitaria E35, Tulcán, Carchi, Ecuador. Tf. (+593) 06 2 224 079 / 06 2 224 080 / 06 2 224 081

²Departamento de Agronomía, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas (UCLV). Carretera a Camajuani km 5 ½. Santa Clara, Villa Clara, Cuba, CP 54830. Tf. 42281692

E-mail: segundo.mora@upec.edu.ec; luis.balarezo@upec.edu.ec; hernan.benavides@upec.edu.ec, editha@uclv.edu.cu; yanetsyrg@uclv.edu.cu

RESUMEN

El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar alternativas de biofertilización con Fosfotic, Safer-micorrizas y la combinación de estos, en la variedad de papa Superchola y bajo condiciones semicontroladas en el Carchi, Ecuador. El experimento se realizó en un invernadero y el sustrato empleado fue un Andisol típico de la región. Se empleó un Diseño Completamente al Azar con tres réplicas y se evaluaron estas alternativas y sus combinaciones con la dosis de NPK que se emplea en la región y con diferentes reducciones de la misma, conformando un total de 23 tratamientos. Los mejores resultados integrales se obtuvieron con los tratamientos en que se combina la fertilización mineral con alguna de las alternativas de biofertilización (Fosfotic y Safer-micorrizas), con los cuales se sugiere que se continúen estos estudios en condiciones de campo en los Andisoles del Carchi-Ecuador. Se demuestra que tanto las inoculaciones con Fosfotic y Safer-micorrizas, así como su inoculación conjunta pueden constituir alternativas viables en el cultivo de la papa en estos suelos. Sin embargo, la reducción de la fertilización mineral sin combinar con los biofertilizantes estudiados implicó una reducción en la producción por lo que no es recomendable.

Palabras clave: bacterias fosfolubilizadoras, fósforo, papa, Safer-micorriza, zona andina

ABSTRACT

The goal of this research was to assess alternatives of biofertilization with Fosfotic, Safer-mycorrhiza, and their combination in the potato variety Superchola under semi-controlled conditions. The experiment was carried out in a greenhouse and the substrate used was a typical Andisol of the region. A Completely Randomized Design was used with three replications. These alternatives and their combinations with the NPK dose that is used in the region and with different reductions

of it, were evaluated, forming a total of 23 treatments. The best integral results were obtained with the treatments in which mineral fertilization is combined with some of the biofertilization alternatives (Fosfotic and Safer-mycorrhizas), with which it is suggested that these studies be continued under field conditions in the Andisols of Carchi -Ecuador. It is demonstrated that both the inoculations with Fosfotic and Safer-mycorrhizas, as well as their joint inoculation, can constitute viable alternatives in the cultivation of potatoes in these soils. However, the reduction of the mineral fertilizers without combine that with biofertilizers implies a reduction of the production, so it is not recommendable.

Keywords: phosphate solubilizing bacteria, phosphorus, potato, Safer-mycorrhiza, Andean zone

INTRODUCCIÓN

La provincia de Carchi es la segunda productora de papa (*Solanum tuberosum* L.) en Ecuador, con un rendimiento promedio nacional hasta 2015 de 16,13 t ha⁻¹ (Monteros, 2016). Los suelos que predominan en la zona andina son de origen volcánico (Andisoles), con arcillas alófanas e imogilita y complejos aluminio-humus, lo que conlleva a altos contenidos de aluminio activo y un alto poder de fijación de fósforo de hasta el 75% (Asanza y Barahona, 2015). En consecuencia, la alta demanda de fósforo durante todo su ciclo (Mazetti *et al.*, 2015) conlleva al frecuente y alto consumo de fertilizantes químicos para sobreponerse al poder de fijación del P en estos suelos y aportar la cantidad necesaria de este nutrimento al cultivo (Monteros, 2016).

Por estas razones, es necesario evaluar alternativas para el manejo de la fertilidad en el cultivo de la papa en estos suelos. El presente trabajo tuvo como objetivo evaluar alternativas de biofertilización con Fosfotic, Safer-micorrizas y la combinación de estos, en la variedad de papa Superchola y bajo condiciones semicontroladas.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Centro Experimental San Francisco de la UPEC (Cantón Tulcán, Carchi-Ecuador), zona representativa de la producción papera, ubicada a una altura de 2 845 msnm. El experimento se realizó entre el 5 de abril y el 5 de septiembre del 2016, en condiciones semicontroladas, en macetas bajo invernadero. Las macetas tenían un volumen de 0,063m³ que permitía la capacidad de 50 kg de suelo. Se trabajó con 46 kg de suelo por maceta y se sembró una semilla por maceta, utilizando calibre 2 (entre 3 y 5 cm de diámetro y peso entre 60 y 70 gramos). El suelo empleado como sustrato en las macetas se tomó de la zona

de estudio y se clasifica como Andisol (NRCS/ USDA, 2014). Se utilizó material del horizonte A1 de textura franco-arenosa, con un contenido de carbono orgánico de 16% y pH 5,5. Las variables controladas fueron iluminación, riego (se realizó por goteo y la humedad del suelo se mantuvo a 70% CC) y se monitoreó la temperatura ambiente dentro del invernadero. Se empleó un Diseño Completamente al Azar (DCA) con tres réplicas y se evaluaron los biofertilizantes comerciales: Fosfotic (pool de bacterias solubilizadoras de fósforo), Safer-micorrizas y la combinación de estos frente a la dosis de NPK que se emplea en la región (135 kg ha⁻¹ de N, 335 kg ha⁻¹ de P y 225 kg ha⁻¹ de K); para un total de 23 tratamientos (Tabla 1).

La inoculación con ambos productos se realizó siguiendo las instrucciones de uso que proponen sus comercializadores. El Fosfotic se preparó diluyendo 1 litro del producto en 200 litros de agua. El producto se aplicó en tres momentos: siembra, al retape (20 días después de la siembra) y aporque (dos meses después de la siembra). Las micorrizas se aplicaron 100 gramos de granulado al suelo alrededor de la semilla y solo al momento de la siembra. La variedad comercial utilizada fue Superchola.

Las variables evaluadas fueron: número de brotes por planta, altura de la planta (cm), grosor del tallo (cm), número de tubérculos por planta, tamaño promedio de los tubérculos, promedio de tubérculos por calibre según su clasificación de acuerdo al diámetro del tubérculo (Primera: mayor de 10 cm, Segunda: 5-10 cm, Tercera: menor de 5 cm) y peso de los tubérculos por planta. La altura de la planta fue medida con cinta métrica y el grosor del tallo con pie de rey.

Para los procesamientos estadísticos los tratamientos se organizaron en cuatro grupos: Fosfotic, Safer-micorrizas, Fosfotic+-Safer-micorrizas y Fertilización mineral. En todos los

Tabla 1. Tratamientos del experimento

1. 100% NPK (dosis usada en la región)	13. 100% NK + 25 % P
2. 100% NPK (dosis usada en la región) + Fosfotic	14. 100% NK + 25 % P + Fosfotic
3. 100% NPK (dosis usada en la región) + Safer micorrizas	15. 100% NK + 25 % P + Safer micorrizas
4. 100% NPK (dosis usada en la región) + Fosfotic + Safer micorrizas	16. 100% NK + 25 % P + Fosfotic + Safer micorrizas
5. 100% NK + 75 % P	17. 100% NK
6. 100% NK + 75 % P + Fosfotic	18. 100% NK + Fosfotic
7. 100% NK + 75 % P + Safer micorrizas	19. 100% NK + Safer micorrizas
8. 100% NK + 75 % P + Fosfotic + Safer micorrizas	20. 100% NK + Fosfotic + Safer micorrizas
9. 100% NK + 50 % P	21. Fosfotic
10. 100% NK + 50 % P + Fosfotic	22. Safer micorrizas
11. 100% NK + 50 % P + Safer micorrizas	23. Fosfotic + Safer micorrizas
12. 100% NK + 50 % P + Fosfotic + Safer micorrizas	

grupos se mantuvo presente la dosis NPK de la región para comparar con estas alternativas. En los análisis se empleó el paquete estadístico Statgraphics Centurion version XV. II (Statistical Graphic Corp., USA) y para la comparación de las medias se empleó la prueba de Tukey para $P \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados del grupo Fosfotic (Tabla 2) demostraron que la fertilización con este influencia positivamente en la altura de la planta y el peso de los tubérculos por planta, así como en la producción de tubérculos de segunda y tercera calidad. En la producción total de tubérculos, la fertilización química con la dosis recomendada en la región obtuvo los mejores resultados de manera general, aunque sin diferencias estadísticamente significativas con los restantes tratamientos. La calidad de los tubérculos producidos no mostró diferencias significativas entre los tratamientos para los tubérculos de primera categoría. En el caso de la segunda categoría se encontró que los tratamientos donde se combinaron dosis de P por encima del 50% de la dosis empleada en la región no tuvieron diferencias significativas entre sí, aunque nuevamente fue superior en el tratamiento 1.

La deficiencia de P no solamente afecta el crecimiento y desarrollo de la planta, sino también la formación de tubérculos y la acumulación de almidón en estos (Pumisacho

y Sherwood, 2002); pero en las condiciones de los Andisoles, estudios más recientes han demostrado que no siempre un incremento del P disponible es proporcional a la producción de tubérculos, siendo más directo este efecto en suelos con deficiencias del elemento (Mazeti *et al.*, 2015).

La inoculación de micorrizas mostró resultados satisfactorios en cuanto al número de tubérculos por planta para aquellos tratamientos donde se redujo o eliminó la dosis de P en la fertilización mineral (Tabla 3). Sin embargo, no hubo diferencias significativas en las variables morfológicas ni en el peso de los tubérculos por planta. Estos resultados pueden estar causados por la alta dispersión de los datos que influyen negativamente en el error estándar y el coeficiente de variabilidad. Tampoco se presentaron diferencias significativas entre los tratamientos para las categorías primera y tercera, aunque en la segunda sí hubo diferencias significativas con el tratamiento que no tuvo aplicaciones de NPK, lo que sugiere que este resultado no está solamente definido por la fertilización fosfórica. Algunos autores reportan que altos niveles de la fertilización con fósforo o la presencia de altas concentraciones de este nutriente en el suelo bajan o inhiben la eficiencia de la actividad de los hongos micorrízicos en varios cultivos, así como la competencia con hongos micorrízicos nativos (Serna, 2013; Garzón, 2016).

La combinación de Fosfotic y Safer-micorrizas (Tabla 4) mostró que no hubo diferencias

significativas para el número de brotes y la altura de la planta, pero sí en el grosor del tallo. El tratamiento 12 obtuvo los mejores resultados aunque sin diferencias significativas con el tratamiento control. Otros tratamientos también obtuvieron resultados similares sin diferir estadísticamente con estos dos tratamientos mencionados (4, 8 y 23). Los tratamientos 1, 4, 8 y 23 no tuvieron diferencias significativas entre sí en cuanto al número de tubérculos por planta, aunque la fertilización mineral fue superior. En cuanto al peso de los tubérculos por planta también se encontró una respuesta a la inoculación con ambos productos, no existiendo diferencias significativas entre los tratamientos 1, 4, 8, 12, 16 y 23. Los mayores valores se encontraron en los tratamientos 4 y 12 y el menor en el tratamiento 20 donde se aplica fertilización mineral sólo para NK y se combina con los inóculos. En cuanto a la calidad de los tubérculos no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos para todas las categorías.

La concentración de fósforo asimilable en el suelo es muy baja debido a sus reacciones con el calcio, el hierro o el aluminio que provocan su precipitación o fijación. Las raíces de plantas micorrizadas incrementan la toma de fósforo lo que contribuya a elevar las producciones

agrícolas como resultado de un incremento del crecimiento, vigor y protección de la planta (Flores, 2015; Ávila, 2015). Los efectos positivos de la co-inoculación con micorrizas y solubilizadores de fósforo resultan del incremento de la disponibilidad de P en el suelo a través de la desorción de compuestos de P nativos o aplicados y el poder de absorción del nutrimento liberado (Serna, 2013).

Al reducir la fertilización mineral (Tabla 5) no se encontraron diferencias significativas para el número de brotes, la altura de la planta y el grosor del tallo. El número de tubérculos por planta mostró diferencias significativas cuando se reduce la dosis de P mineral pero no hubo diferencias en cuanto al peso de los tubérculos. En cuanto a la calidad de los tubérculos formados no se encontró que estas reducciones en la dosis de P mineral influyeran para los tubérculos de la primera categoría, aunque sí lo hizo para las categorías segunda y tercera, donde se aprecia un descenso cuando se disminuye la dosis de P mineral, aunque sin diferencias significativas. Rozo y Núñez (2011) evaluaron el efecto de diferentes niveles de fósforo sobre el rendimiento del cultivar Criolla Colombia en localidades de Cundinamarca y encontraron respuesta del cultivar a la aplicación de fósforo en las variables:

Tabla 2. Indicadores morfológicos y de producción de tubérculos en el grupo Fosfotico

Tratamientos	No de brotes	Altura de la planta (cm)	Grosor del tallo (cm)	No de tubérculos por planta	Calidad ¹ Primera	Calidad Segunda	Calidad Tercera	Peso fresco de tubérculos(g)
1. 100% NPK	3,33	66,67 ab	0,91	20,67 a	2,67	8,00 a	10,00 a	533,76 ab
2. 100% NPK + Fosfotico	4,33	64,67 ab	0,75	11,33 bc	4,00	5,33 ab	2,00 b	595,32 a
6. 100% NK + 75 % P + Fosfotico	3,33	71,67 ab	0,9	14,00 b	4,00	5,67 ab	4,33 ab	555,48 ab
10. 100% NK + 50 % P + Fosfotico	3,67	81,00 a	1,00	13,67 bc	2,67	5,67 ab	5,33 ab	530,72 ab
14. 100% NK + 25 % P + Fosfotico	2,33	55,00 b	0,88	10,33 bc	3,00	2,33 b	5,00 ab	346,76 ab
18. 100% NK + Fosfotico	3,67	36,67 ab	0,54	12,67 bc	2,00	4,67 ab	6,00 ab	307,82 b
21. Fosfotico	2,33	66,33 ab	0,86	8,00 c	3,00	3,00 b	2,00 b	373,38 ab
E.E. (±)	0,90	10,41	0,14	1,92	0,99	1,51	1,97	87,5612

Letras diferentes en una misma columna significan diferencias significativas entre los tratamientos según Tukey (P≤0,05)

¹Cantidad de tubérculos por planta en cada categoría

Tabla 3. Indicadores morfológicos y de producción de tubérculos en el grupo Safer-micorrizas

Tratamientos	No de brotes	Altura de la planta (cm)	Grosor del tallo (cm)	No de tubérculos	Calidad ¹ Primera	Calidad Segunda	Calidad Tercera	Peso fresco (g)
1. 100% NPK	3,33	66,67	0,91	20,67 a	2,67	8,00 a	10,00	533,76
3. 100% NPK + Safer micorrizas	2,67	58,00	0,80	19,33 ab	3,67	5,00 ab	10,67	567,58
7. 100% NK + 75 % P + Safer micorrizas	3,00	64,67	0,94	14,00 abc	2,00	7,67 a	4,33	510,21
11. 100% NK + 50 % P + Safer micorrizas	2,33	59,67	0,90	10,33 bc	1,33	5,00 ab	4,00	403,37
15. 100% NK + 25 % P + Safer micorrizas	4,67	64,67	0,71	16,33 ab	2,67	9,00 a	5,00	459,38
19. 100% NK + Safer micorrizas	3,00	62,00	0,69	15,67 ab	3,33	5,67 a	6,67	357,17
22. Safer micorrizas	3,00	64,67	0,79	6,00 c	3,33	0,67 b	2,00	354,61
E.E. (±)	1,03	8,57	0,10	3,14	0,90	1,51	3,25	92,5648

Letras diferentes en una misma columna significan diferencias significativas entre los tratamientos según Tukey ($P \leq 0,05$)

¹Cantidad de tubérculos por planta en cada categoría

Tabla 4. Indicadores morfológicos y de producción de tubérculos en el grupo Fosfotic+Safer-micorrizas

Tratamientos	No de brotes	Altura de la planta (cm)	Grosor del tallo (cm)	No de tubérculos	Calidad ¹ Primera	Calidad Segunda	Calidad Tercera	Peso fresco (g)
1. 100% NPK	3,33	66,67	0,91 ab	20,67 a	2,67 b	8,00 a	10,00 a	533,76 ab
4. 100% NPK + Fosfotic + Safer micorrizas	3,67	73,33	0,85 ab	14,00 ab	6,67 a	3,33 bc	4,00 b	636,19 a
8. 100% NK + 75 % P + Fosfotic + Safer micorrizas	2,33	69,33	0,94 ab	14,33 ab	5,33 ab	1,33 c	4,00 b	587,11 ab
12. 100% NK + 50 % P + Fosfotic + Safer micorrizas	2,67	73,67	1,03 a	10,00 b	4,67 ab	2,67 bc	2,67 b	612,51 a
16. 100% NK + 25 % P + Fosfotic + Safer micorrizas	3,00	55,33	0,69 b	12,00 b	3,00 b	5,67 abc	3,33 b	428,73 ab
20. 100% NK + Fosfotic + Safer micorrizas	4,00	64,67	0,71 b	10,00 b	2,67 b	4,33 abc	3,00 b	344,14 b
23. Fosfotic + Safer micorrizas	3,33	64,00	0,74 ab	14,00 ab	2,67 b	6,33 ab	5,00 ab	388,23 ab
E.E. (±)	0,85	8,06	0,09	2,32	1,14	1,51	1,97	87,6569

Letras diferentes en una misma columna significan diferencias significativas entre los tratamientos según Tukey ($P \leq 0,05$)

¹Cantidad de tubérculos por planta en cada categoría

Tabla 5. Indicadores morfológicos y de producción de tubérculos en el grupo con fertilización mineral

Tratamientos	No de brotes	Altura de la planta	Grosor del tallo	No de tubérculos	Calidad Primera	Calidad ¹ Segunda	Calidad Tercera	Peso fresco
1. 100% NPK	3,33	66,67	0,91	20,67 a	2,67	8,00 a	10,00 a	533,76
5. 100% NK + 75 % P	3,33	72,33	0,88	14,33 ab	3,00	5,67 ab	5,67 ab	479,92
9. 100% NK + 50 % P	2,67	71,33	1,09	9,67 b	3,67	3,00 b	3,00 b	557,04
13. 100% NK + 25 % P	3,67	59,67	0,73	12,00 ab	2,00	4,00 ab	6,00 ab	344,25
17. 100% NK	2,67	64,00	0,90	9,67 b	2,67	4,33 ab	2,67 b	339,76
E.E. (±)	1,01	6,26	0,12	3,10	0,93	1,28	2,18	113,242

Letras diferentes en una misma columna significan diferencias significativas entre los tratamientos según Tukey ($P \leq 0,05$)

¹Cantidad de tubérculos por planta en cada categoría

peso de tubérculo de categoría primera, segunda y total; sin embargo, el rendimiento no se incrementó con la aplicación de niveles superiores a 50 kg ha⁻¹ de P₂O₅. No obstante, la reducción de la fertilización mineral sin combinar con las alternativas de biofertilización anteriores implica una reducción en la producción por lo que no es recomendable.

CONCLUSIONES

La reducción de la fertilización mineral sin combinar con las alternativas de biofertilización con Fosfotic y Safer-micorrizas implica una reducción en la producción. Los mejores resultados integrales se obtuvieron con los tratamientos en que se combina la fertilización mineral con alguna de las alternativas de biofertilización, con las cuales se sugiere que se continúen estos estudios en condiciones de campo en los Andisoles del Carchi-Ecuador.

BIBLIOGRAFÍA

ÁVILA, M. P. 2015. Determinación de la coinoculación con hongos micorrízicos y bacterias diazotróficas en maíz bajo invernadero. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniera Agrónomo. Universidad Nacional de Loja, Área Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables, Loja, Ecuador, 101 p.

ASANZA, J. C. y BARAHONA, J. A. 2015. Impacto de la cobertura vegetal y las actividades antrópicas sobre la formación del suelo en una microcuenca de páramo en la cuenca alta del río Yanuncay-Quebrada Cuevas. Tesis previa a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo. Universidad de Cuenca, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Cuenca, Ecuador., 156 p.

FLORES, L. C. 2015. Efecto de la interacción entre microorganismos PGPR con Hongos Formadores de Micorrizas Arbusculares para la promoción de crecimiento vegetal en Aguaymanto (*Physalis peruviana* L.). Tesis para optar el título de: Biólogo. Universidad Nacional Agraria La Molina, Facultad de Ciencias, Lima, Perú, 118 p. <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2788>

GARZÓN, L. P. 2016. Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo en la amazonia colombiana. *Revista Luna Azul*, 42: 217-234.

MAZETTI, A., PERES, R., DE AGUILA, L. and EVANGELISTA, R. M. 2015. Effect of phosphorus nutrition on quality of fresh tuber of potato cultivars. *Bragantia Campinas*, 74(1): 102-109.

MONTEROS, A. 2016. Rendimientos de papa en el Ecuador primer ciclo 2016 (diciembre-junio), 10 p. http://sipa.agricultura.gob.ec/pdf/estudios_agroeconomicos/rendimiento_papa2016.pdf

NRCS/ USDA. 2014. Claves para la Taxonomía de Suelos. Décima segunda Edición, 410 p. <https://www.agroproprod.com/biblioteca/claves-la-taxonomia-los-suelos/>

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

ROZO, Y. C. y ÑÚSTEZ, C. E. 2011. Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el

rendimiento de la variedad Criolla Colombia en el departamento de Cundinamarca. *Agronomía Colombiana*, 29(2), 205-212.

SERNA, S. L. 2013. Efecto de la inoculación conjunta con hongos micorrizales y microorganismos solubilizadores de fósforo en

plantas de aguacate. Trabajo de investigación presentado como requisito parcial para optar al título de Magister en Geomorfología y Suelos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias, Área Curricular de Ciencias Naturales, Medellín, Colombia, 86 p. <http://www.bdigital.unal.edu.co/11829/1/43541087.2014.pdf>

Recibido el 20 de febrero de 2018 y aceptado el 4 de junio de 2018