

**EFICIENCIA DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR (*Glomus sp.*) CON
FERTILIZANTES FOSFÓRICOS EN PAPA CRIOLLA (*Solanum tuberosum* L. grupo
Phureja) EN NARIÑO.**

CÉLICA ALEJANDRA POTOSÍ CALVACHE

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO**

2022

**EFICIENCIA DE LA MICORRIZA ARBUSCULAR (*Glomus sp.*) CON
FERTILIZANTES FOSFÓRICOS EN PAPA CRIOLLA (*Solanum tuberosum* L. grupo
Phureja) EN NARIÑO.**

CÉLICA ALEJANDRA POTOSÍ CALVACHE

Director

Ph.D. JAIRO HERNÀN MOSQUERA GUERRERO

Trabajo de grado presentado como requisito para optar a título profesional como

INGENIERA AGRÓNOMA

**UNIVERSIDAD DE NARIÑO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRÍCOLAS
PROGRAMA INGENIERÍA AGRONÓMICA
SAN JUAN DE PASTO**

2022

NOTA DE RESPONSABILIDAD

Las ideas y conclusiones aportadas en el siguiente trabajo son responsabilidad exclusiva del autor.

Artículo 1ro del Acuerdo No. 324 de octubre 11 de 1966 emanado del Honorable Consejo Directivo de la Universidad de Nariño.

Nota de aceptación

Jairo Hernán Mosquera Guerrero
Firma del Presidente del trabajo de grado

German Arteaga Meneses
Firma del Jurado de trabajo de grado

Carlos Andrés Benavides Cardona
Firma del Jurado de trabajo de grado

Eficiencia de la micorriza arbuscular (*Glomus sp.*) con fertilizantes fosfóricos en papa criolla (*Solanum tuberosum* L. grupo Phureja) en Nariño.

Efficiency of the arbuscular mycorrhiza (*Glomus sp.*) with phosphoric fertilizers in Creole potato (*Solanum tuberosum* L. grupo Phureja) in Nariño.

Célica Potosí C.,¹ Jairo Mosquera G.,² German Arteaga M.,³ Carlos Benavides C.⁴

*Artículo de trabajo de grado para optar por el título de Ingeniera Agrónoma en la facultad de Ciencias Agrícolas de la Universidad de Nariño.

¹ Estudiante de Ingeniería agronómica, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. alepotosi@gmail.com

²I. A. M.Sc. PhD. Docente Investigador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. jahemos45@yahoo.com

³I. A. M.Sc. Docente Investigador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. gespino@udenar.edu.co

⁴I. A. M.Sc. PhD. Docente Investigador, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia. carlosabenavidesc@gmail.com

RESUMEN

La papa criolla tiene una gran aceptación dentro de la población colombiana, así como en el mercado internacional, debido a sus cualidades organolépticas y mayor calidad nutricional. Este tubérculo constituye un eje fundamental de la economía, pero, existen limitantes en la nutrición del cultivo causados por factores bióticos y abióticos, tal es el caso de la retención del fósforo en el suelo. Por ello la utilización de microorganismos ha sido una alternativa de solución, debido a que logra mayor disponibilidad del nutriente, generando un efecto positivo en la absorción, lo cual se ve reflejado en una mejor producción. De este modo el presente trabajo tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de la micorriza arbuscular (*Glomus sp.*) con fertilizantes fosfóricos en papa criolla (*Solanum tuberosum* L. grupo Phureja) variedad Dorada en el departamento de Nariño, se estableció un diseño de bloques completos al azar (BCA) con arreglo en parcelas divididas con tres repeticiones, la parcela grande correspondió a las fuentes de fósforo y la sub-parcela a las dosis

de micorrizas. Se evaluaron las variables altura de planta, índice de área foliar, colonización de raíces, absorción de fósforo, número de tubérculos y rendimiento, los resultados indicaron que las mejores dosis de micorriza fueron 4 y 6 Lt. ha⁻¹ generaron mayor índice de área foliar, absorción de fósforo, colonización de raíces y rendimiento. Por otro lado, el efecto de las micorrizas sobre las diferentes fuentes de fósforo no generó diferencias significativas en las diferentes variables evaluadas. Concluyendo así que al incorporar microorganismos benéficos como es el caso de los hongos micorrizo-arbusculares (HMA) generaron mayor respuesta fisiológica y productiva en el cultivo evaluado.

Palabras clave: Microorganismos, simbiosis, comportamiento agronómico, nutrición.

ABSTRACT

The Creole potato has a great acceptance within the Colombian population, as well as in the international market, due to its organoleptic qualities and higher nutritional quality. This tuber constitutes a fundamental axis of the economy, but there are limitations in the nutrition of the crop caused by biotic and abiotic factors, such as the case of phosphorus retention in the soil. Therefore, the use of microorganisms has been an alternative solution, because it achieves greater availability of the nutrient, generating a positive effect on absorption, which is reflected in better production. In this way, the present work aimed to evaluate the efficiency of the arbuscular mycorrhiza (*Glomus* sp) with phosphoric fertilizers in Creole potato (*Solanum tuberosum* L. Phureja group) variety Dorada in the department of Nariño, a complete block design was established at randomized (BCA) in divided plots with three replications, the large plot corresponded to the sources of phosphorus and the sub-plot to the doses of mycorrhizae. The variables plant height, leaf area index, root colonization, phosphorus absorption, number of tubers and yield were evaluated, the results indicated that the best doses of mycorrhizae were 4 and 6 Lt. ha⁻¹ generated higher area index foliar, phosphorus uptake, root colonization and yield. On the other hand, the effect of mycorrhizae on the different sources of phosphorus does not exclude significant differences in the different variables evaluated. Thus concluding that incorporating beneficial microorganisms such as mycorrhizal-arbuscular fungi (AMF) generated a greater physiological and productive response in the evaluated crop.

Keywords: Microorganisms, symbiosis, agronomic behavior, nutrition.

TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	6
INTRODUCCIÓN	7
OBJETIVO GENERAL	8
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	8
MATERIALES Y MÉTODOS	8
Localización.....	8
Suelos.....	8
Material vegetal.....	10
Manejo agronómico.....	10
Área y Diseño experimental.....	11
Variables de respuesta.....	12
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	13
Altura de planta.....	14
Índice de área foliar.....	16
Colonización de raíces.....	17
Absorción de fósforo.....	19
Número de tubérculos.....	20
Rendimiento.....	22
CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES EVALUADAS	23
CONCLUSIONES.....	24
RECOMENDACIONES	25
BIBLIOGRAFÍA.....	25

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Resultado análisis de suelos.....	9
Tabla 2. Descripción de tratamientos.....	12
Tabla 3. Analisis combinado de varianza para las variables de desarrollo, crecimiento y produccion de papa criolla variedad Dorada.	14
Tabla 4. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo y micorriza (Solanum Phureja)	15
Tabla 5. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo (Solanum Phureja)	16
Tabla 6. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo (Solanum Phureja)	18
Tabla 7. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo (Solanum Phureja)	19
Tabla 8. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo (Solanum Phureja)	21
Tabla 9. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo (Solanum Phureja)	22

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Correlación de Pearson de las variables evaluadas	24
--	----

GLOSARIO

ANOVA:	Analisis de varianza
BCA:	Bloques completos al azar
cm:	Centimetros
CV:	Coeficiente de variacion
DAP:	Fosfato diamònico
Gl:	Grados de libertad
HMA:	Hongos micorrizo arbusculares
IAF:	Indice de area foliar
KCL:	Cloruro de potasio
m:	Metros
MAP:	Fosfato monoamònico
N:	Norte
O:	Oeste
P:	Fosforo

INTRODUCCIÓN

En el mundo, una de las principales fuentes energéticas con mayor relevancia es la papa (*Solanum tuberosum* L.) la cual se considera como uno de los productos agrícolas más importantes, ocupando el tercer lugar como producto alimenticio después del arroz y el trigo (SIOC, 2020). Apreciada por sus cualidades nutritivas, la papa es un alimento fuente de carbohidratos (20.13gr), que comparada con otros tubérculos y raíces es la que más aporta proteínas (1.87gr). (FEDEPAPA, 2020)

En Colombia se sembraron 128.622 hectáreas en 2019, la producción fue de 2.765.373 toneladas, y un rendimiento de 21,50 t. ha⁻¹ (FEDEPAPA, 2020), esta producción se concentra en 4 departamentos: Cundinamarca (37%), Boyacá (27%), Nariño (20%) y Antioquia (6%), aportando el 3,3% al PIB Agropecuario (SIOC, 2020). Nacionalmente tiene ventajas competitivas con respecto a los demás países por ser centro de diversidad, destacándose como uno de los mayores productores, consumidores y exportadores de papas diploides (Parra *et al.*, 2014). El departamento de Nariño tiene una de las regiones alto-andinas de Colombia que más produce papa criolla posicionándose en el tercer lugar de producción a nivel nacional, con un área cosechada (1.314 ha), después de Cundinamarca (3.081 ha) y Boyacá (2.507 ha). El departamento produjo 16.494 t, tuvo un rendimiento promedio de 12,55 t. ha⁻¹ y una participación en la producción nacional del 12,78%, distribuido principalmente en los municipios Córdoba, Cuaspud, Guachucal, Iles, Ipiales, Potosí, Puerres, Pupiales y Tuquerres los cuales concentran cerca del 90% del área del cultivo de papa criolla del departamento (MADR, 2020; Yepes *et al.*, 2020).

Por lo anterior, Nariño es reconocido en la producción del grupo Phureja donde se cultivan y mercadean múltiples variedades de estas papas diploides (Ñustez C. y Rodríguez L., 2020); es así, como este sistema productivo se ha ido incrementando, de modo que, ha proporcionado mayor importancia a la economía y a la seguridad alimentaria del país (Soto *et al.*, 2018). Por este motivo es necesario ampliar las técnicas productivas, mejorando el rendimiento y la calidad, haciendo uso eficiente del manejo adecuado de nutrientes en este cultivo (Villa y Barrientos, 2012).

La importancia de los elementos en la nutrición depende de la cantidad requerida o extraída por el cultivo. Entre los nutrientes más primordiales se encuentra el fósforo, el cual hace parte de los

procesos metabólicos en respiración, fotosíntesis y división celular, aportando al desarrollo de raíces y la rápida formación de tubérculos, siendo un elemento crítico en el período inicial del desarrollo y tuberización (Becerra *et al.*, 2007; Alvarado y Jacome, 2015).

La dificultad de la planta con dicho nutriente, es por causa a la deficiente absorción debido a la baja movilidad de P en el suelo, por esto es necesario hacer uso de alternativas que mejoran la disponibilidad del elemento, una de estas soluciones son las biológicas haciendo uso de microorganismos efectores que ayudan a la absorción y translocación de nutrientes en especial de fósforo en sus formas como ion ortofosfato: HPO_4^{2-} o H_2PO_4^- .

Entre los microorganismos beneficiosos, se encuentran los hongos micorrizo-arbusculares (HMA), del orden Glomeromycota, que desarrollan una amplia red de hifas externas alrededor del sistema de raíces de la planta hospedera (Bañuelos *et al.*, 2017), capaces de formar asociaciones simbióticas mutualistas, que a su vez influyen en la asimilación del fósforo y micronutrientes por la planta, generando mejores resultados en el uso de fertilizantes convencionales. La papa, es una de las muchas especies que forman una asociación con HMA para la nutrición de ambos socios (Hopkins *et al.*, 2014). Autores como Viera *et al.*, (2017); Felipez y Ortuño, (2020); Rosales *et al.*, (2020); Lemus *et al.*, (2021), han estudiado el efecto de los microorganismos frente al desarrollo y crecimiento de distintos cultivos como tomate, papa, cítricos y aguacate en países como Ecuador, Perú, Nicaragua y México respectivamente, obteniendo un incremento en el rendimiento, longitud de la raíz, porcentaje de colonización en raíces, contenido de fosforo en la planta y aumento en el número de tubérculos, mejorando así, el comportamiento agronómico en estos sistemas productivos.

OBJETIVO GENERAL

Evaluar la eficiencia de la micorriza arbuscular (*Glomus* sp) con fertilizantes fosfóricos en papa criolla (*Solanum tuberosum* L. grupo Phureja) un suelo andisol en departamento de Nariño.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Evaluar el efecto de diferentes niveles de micorrizas arbusculares (*Glomus* sp) aplicados al suelo sobre variables de crecimiento y desarrollo de papa criolla.
- Evaluar la eficiencia de la micorriza con diferentes grados de fertilizantes fosfóricos y su interacción, en la colonización de raíces y variables de rendimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Localización. El trabajo de investigación se realizó durante el segundo semestre del año 2020 en la vereda La Alianza, corregimiento de Buesaquillo, municipio de Pasto (Nariño), con coordenadas geográficas latitud 1°13'08"N y longitud 77°13'55"O, a una altura de 2.797 msnm, y según el POT, 2015 en la zona se registra una temperatura promedio anual de 12°C y una precipitación de 967 mm.

Suelos. En el área experimental predominan los suelos clasificados taxonómicamente como Typic Haplustults, familia franca fina, haloisítica, isomésica (perfil SN54). Se localiza en la ladera de las lomas de clima frío seco, con pendientes que varían entre 3-7%, 7-12% y 12-25%, que se forman a partir de depósitos de ceniza volcánica y se caracterizan por ser suelos jóvenes, con un grado de evolución de bajo a moderado. Estos suelos desarrollados a partir de arcillas son moderadamente profundos, moderadamente bien drenados, con nivel freático fluctuante y texturas moderadamente finas. La fertilidad natural de los suelos es media. En los horizontes superficiales hay acumulación arcillosa (IGAC, 2013)

Se realizó un análisis de suelos para determinar las características químicas y físicas que presentaba el suelo para posteriormente realizar un plan adecuado de fertilización. Los resultados del análisis de suelo se presentan en la tabla 1.

Tabla 1. Resultado análisis de suelos

Parámetro/Especie Química	Unidad de Medida	Resultado	Diagnostico	
Ph	Unidades de pH	6,3	Ligeramente ácido	
CIC cmol+/Kg	cmol+/Kg	8,97	Bajo	
Densidad Aparente	g/cc	0,89	--	
Textura	13% Arena; 60% Limos; 27% Arcilla		FrArL	
Fosforo disponible/ PO_4	mg/Kg	20,4	Medio	
Bases de Cambio	Calcio/ Ca^{+2}	mg/Kg	619	Medio
	Magnesio/ Mg^{+2}	mg/Kg	545	Alto
	Potasio/ K^+	mg/Kg	114	Alto
	Cloruro/ Cl^-	mg/Kg	20	Bajo
Elementos Menores	Hierro/ Fe^{+3}	mg/Kg	6,6	Medio
	Cobre/ Cu^{+2}	mg/Kg	0,35	Bajo
	Disponibles	Zinc/ Zn^{+2}	mg/Kg	1,3
	Manganeso/ Mn^{+2}	mg/Kg	5,5	Medio
Azufre Disponible/ SO_4^{-2}	mg/Kg	3,3	Bajo	
Boro Disponible/ H_3BO_3	mg/Kg	1,09	Medio	
Nitrógeno Amoniacal/ NH_4^+	mg/Kg	9,8	Bajo	
Nitrógeno Nítrico/ NO_3^-	mg/Kg	0,01	Bajo	
Humus/ cualitativo	cualitativo	1	Bajo	
Materia Orgánica	%	12	Alto	
Carbono Orgánico/C	%	0,8	NA	
Nitrógeno Total/N	%	0,1	Bajo	

Fuente: Laboratorio de suelos Servi-Agronómica

Material vegetal. Para llevar a cabo el trabajo de investigación se utilizó semilla certificada de papa, variedad Criolla Dorada (*Solanum tuberosum* L. grupo Phureja) perteneciente al grupo de investigación en papa de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia.

Los tubérculos utilizados fueron de tamaño uniforme y mediano, de un diámetro 30 a 39 mm como lo establece la resolución número 003168 del 2015 del Instituto Colombiano Agropecuario (ICA, 2015).

Manejo agronómico. Las labores culturales se realizaron bajo el sistema tradicional, realizando los siguientes procesos:

- **Selección y distribución del lote.** Se seleccionó el lote teniendo en cuenta las condiciones de la investigación, tales como número de tratamientos y suelos aptos para la producción de papa. El área correspondió a 34 m de largo x 17,5 m de ancho con un total de 595 m², donde se adecuó para el establecimiento del cultivo con el uso de guadaña y un pase de arado con motocultor. Posteriormente, el lote fue dividido con ayuda de una cinta métrica y con estacas con el fin de separar y distribuir los tratamientos.
- **Siembra.** Después de la preparación del terreno se procedió a la siembra de los tubérculos y se realizó aspersion de desinfectantes tanto en la semilla como en el suelo con los productos a base de Lambdacialotrina (Insecticida), Kasugamicina (Bactericida), Thifluzamide (Fungicida), fertilizante 12-30-10 (Hidroinicio) y un coadyudante. Los tubérculos semilla fueron sembrados cuando presentaron una brotación uniforme con un tamaño de brote aproximado de 1 cm; se sembraron a una profundidad de 10 cm, la distancia de siembra utilizada fue de 0.30 m entre plantas y 1 m entre surco.
- **Distribución de la fertilización.** La fertilización se llevó a cabo teniendo en cuenta el análisis de suelo. Se realizaron dos aplicaciones con una dosis de 60, 70 y 80 gr/planta de los fertilizantes Fosfato monoamónico (MAP) (10-50-0), Fosfato diamónico (DAP) (18-46-0) y MicroEssentials SZ (12-40-0-10 (S)) respectivamente, alrededor de la planta, posteriormente se aplicó en forma de drench una dosis de 2, 4 y 6 litros por hectárea de micorriza (Biofert-mex[®]). La primera fertilización, se llevó a cabo a los 30 días después de

la siembra (momento del retape) y la segunda a los 65 días después de la siembra (deshierba). Adicionalmente en la segunda fertilización se mezcló los fertilizantes fosfóricos con Cloruro de potasio (KCL) para engrose y llenado del tubérculo.

- **Control de enfermedades.** En el transcurso del ciclo del cultivo se presentó la enfermedad gota o tizón tardío (*Phytophthora infestans*), para la prevención y control se aplicaron fungicidas con los siguientes ingredientes activos Propineb + Fluopicolide, Dithiocarbamate + Benzamida, y Dimetomorfo en dosis comerciales recomendadas (DEAQ, 2020).
- **Control de plagas.** A lo largo del ciclo del cultivo también se presentaron diferentes daños producidos por insectos, para el manejo de Gusano Blanco (*Premnotrypes vorax*) se aplicaron Thiametoxan+ Lambdacihalotrina y para babosa un metaldehído, en las dosis comerciales recomendadas.

Área y Diseño experimental. Las parcelas experimentales se distribuyeron bajo un diseño de bloques completos al azar (BCA) con arreglo en parcelas divididas. El área se distribuyó en tres bloques (repeticiones), cada uno con un área de 21 metros ancho por siete metros largo (7 m) y un metro de separación entre cada bloque.

Cada parcela estuvo conformada por 4 sub-parcelas, la unidad experimental correspondió a tres plantas seleccionadas al azar de la mitad del surco para evaluar las variables altura de planta, índice de área foliar, absorción de fósforo y colonización de raíces. Al final del ciclo del cultivo para evaluar número de tubérculos y rendimiento se tuvo en cuenta el surco completo eliminando las plantas laterales.

El diseño propuesto considero dos factores A y B, la parcela grande (Factor A) correspondió a las diferentes fuentes de fósforo de los fertilizante Fosfato monoamonico (MAP), Fosfato diamónico (DAP) y MicroEssentials® y las sub-parcelas (Factor B) a las dosis de Micorrizas (Biofert-mex®). Cada parcela estuvo constituida como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Descripción de tratamientos

Parcela	Tratamientos
Grande	Fosforo 0: No se aplicó ninguna cantidad de fertilizante Fosfato monoamónico: (P205) 50% Fosfato diamónico: (P205) 46% MicroEssentials: (P205) 40%
Sub-parcela	Micorriza 0: No se aplicó ninguna cantidad del producto comercial Micorriza 1: 2 Lt/ha Micorriza 2: 4 Lt/ha Micorriza 3: 6 Lt/ha

Factor A: Cuatro fuentes de fósforo

Factor B: Cuatro niveles de producto comercial Biofert-mex[®]. (Micelio externo de MVA (*Glomus sp*) 3.300 metros/Lt.)

Variables de respuesta. En tres plantas seleccionadas al azar de cada tratamiento, se determinó:

Altura de planta. Se midió con una cinta métrica desde la base hasta el ápice del tallo principal de la planta. Las mediciones fueron realizadas cuando el cultivo alcanzó el 50 % de floración.

Número de tubérculos. En el momento de la cosecha se realizó el conteo de tubérculos por planta.

Índice de Área Foliar (IAF). Se determinó el área foliar con la aplicación Easy Leaf Área Free a partir de fotos digitales de material fresco, posteriormente se calculó el índice foliar utilizando la siguiente fórmula:

$$IAF = \frac{AF}{AS}$$

Dónde: AF: Área foliar total, AS: Área del suelo (Watson, 1947)

Absorción de fósforo. Para la evaluación de esta variable se tomaron hojas de la parte media de la planta y posteriormente se colocaron en una bolsa de papel. Esta evaluación fue realizada por el laboratorio AGRILAB siguiendo sus protocolos y con la siguiente metodología:

Para la extracción la metodología empleada fue mineralización vía húmeda (digestión abierta) usando ácido nítrico y ácido perclórico, la medición se realizó a través del desarrollo de espectrofotometría Uv-Vis según lo establecido en la NTC 234: Método de ensayo para la determinación cuantitativa del fósforo. (Método Vanadomolibdofósforico), por interpolación en una curva de calibración de 5 niveles.

Porcentaje de colonización en las raíces: Para evaluar esta variable se tomó 1g de raíces y se procedió a determinar el porcentaje de colonización por HMA mediante la metodología descrita por Phillips y Hayman (1970) y utilizando la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de infección (\%)} = \frac{\text{Número de campos infectados}}{\text{Número de campos totales observados}} \times 100$$

Rendimiento. Se pesó el total de la producción del surco en kilogramos para posteriormente expresarlos en toneladas por hectárea.

Análisis estadístico. Las variables fueron sometidas a un análisis de varianza, con el fin de determinar el efecto del grado de fósforo, la dosis aplicada de micorrizas y de la interacción de los dos factores. De acuerdo con el modelo para el diseño propuesto los efectos simples se evaluaron con el error a y la interacción de los factores con el error b.

Se realizó el análisis de comparación de medias utilizando la prueba de Tukey al 0,05 % de probabilidad estadística, adicionalmente se hizo una correlación de Pearson.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El ANOVA realizado presento diferencias estadísticas significativas para el factor micorriza en todas las variables evaluadas a excepción de altura de planta, esto indica que genero un aumento en el desarrollo y crecimiento de estos caracteres. Por el contrario para la interacción de los factores micorriza y fósforo no se presento diferencias significativas para las mismas variables. (Tabla 3.)

Tabla 3. Analisis combinado de varianza para las variables de desarrollo, crecimiento y produccion de papa criolla variedad Dorada.

Fuentes de variación	gl	Altura de planta	Índice de área foliar	Colonización de raíces	Absorción de P	Numero de tubérculos	Rendimiento
Modelo	21	6,65	0,05	609,39	0,01	21,59	98,92
Bloq/Bloq*Fosf	3	0,40	0,0041	154,85	0,01	28,54	121,1
Fosf/Bloq*Fosf	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Error a	6	8,83	0,02	33,11	0,0012	10,5	3,88
MIC	3	15,8ns	0,27**	3978,62**	0,03**	85,77**	519,25**
Fosf*MIC	9	4,22ns	0,01ns	22,01ns	0,00043ns	5,29ns	14,77ns
Error b	26	5,3	0,01	16,69	0,0011	3,23	10,27
Total	47						
CV (%)		7,57	12,24	11,16	9,64	5,42	12,19
R ²		0,7	0,73	0,97	0,81	0,84	0,89

*, **= Niveles de significancia al 0,05 y 0,01 respectivamente. ns= No significativo

CV= Coeficiente de variación.

MIC= Micorriza

Altura de planta. En el análisis de varianza, la interacción de los factores micorrizas y fósforo no presentaron diferencias estadísticas con un $Pr > F$ igual a 0.62, lo que indica que las diferentes fuentes de fósforo y dosis de micorriza no generaron efecto en la altura. De igual manera para el factor micorriza no se obtuvo diferencias de resultados en este tratamiento, presentando un $Pr > F$ igual a 0,05 (Tabla 3).

De acuerdo con Silva (2005) afirma que la altura de las plantas es un carácter ligado a una expresión de poligenes y estos a su vez se ven influenciados por el ambiente, el cual provoca modificaciones en la expresión del genotipo.

Debido a esto, en esta investigación se señalan dos factores de carácter biótico y abiótico, la inoculación de HMA y la fertilización con fósforo respectivamente, los cuales alteran el ambiente en los diferentes tratamientos, y dan respuesta a resultados que comparados estadísticamente no generan una diferencia significativa para este carácter.

Aunque los resultados estadísticamente fueron iguales, en la tabla 4 se puede resaltar que el tratamiento sin fuente de fósforo + 4 Lt.ha⁻¹ de micorriza (32,35 cm), presento uno de los promedios más altos con respecto a los demás tratamientos. Al respecto, Cui *et al.* (2003) y Carrillo-

Sosa *et al.* (2020) por su parte indican que para el elongamiento de tallos se requiere de fotoasimilados obtenidos en las hojas que se mueven a través del floema hacia los sitios de consumo. Además, Villegas *et al.* (2016), afirman, que la altura está relacionada con la tasa de alargamiento de los brotes, que es producto del número de brotes por rama, es decir una adaptación de la tasa de crecimiento.

Tabla 4. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo y micorriza (*Solanum Phureja*)

Tratamiento		Altura (Cm)
Fuentes de fosforo	Dosis de micorriza <i>Glomus sp.</i> (Lt.ha ⁻¹)	Medias
Sin fosforo	4	32,35 a
Sin fosforo	6	31,80 a
Fosfato monoamónico	2	31,61 a
Fosfato monoamónico	4	31,56 a
Fosfato diamónico	6	31,52 a
Microessentials	6	31,15 a
Fosfato diamónico	4	30,82 a
Microessentials	2	30,70 a
Microessentials	0	30,58 a
Fosfato monoamónico	6	30,28 a
Microessentials	4	30,18 a
Fosfato diamónico	2	29,62 a
Sin fosforo	2	29,59 a
Fosfato diamónico	0	29,21 a
Fosfato monoamónico	0	28,07 a
Sin fosforo	0	27,24 a

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Índice de área foliar. De acuerdo al análisis de varianza (Tabla 3) se presentaron diferencias significativas para el factor micorriza, con un valor $Pr > F$ igual a $<0,0001$.

En la tabla 5 se observa la prueba de comparación de medias donde hubo un agrupamiento de los diferentes tratamientos indicando que la micorriza aportó mayor índice de área foliar, donde la aplicación de 6 Lt.ha^{-1} , 4 Lt.ha^{-1} y 2 Lt.ha^{-1} de HMA generaron condiciones sobresalientes con respecto a esta variable, el mayor promedio se obtuvo donde se aplicó MicroEssentials® + 6 Lt.ha^{-1} y Fosfato diamónico + 6 Lt.ha^{-1} de micorriza presentando cada uno un índice de área foliar de 1,15. Al respecto Groza *et al.* (2005) y Jerez *et al.* (2017) mencionan que el área foliar es un índice que, en caso de ser elevado, genera un buen desarrollo vegetativo para producir fotoasimilados. Es decir, la tasa de fotosíntesis está relacionada con la productividad de la planta (Galmés *et al.*, 2007, Medrano *et al.*, 2009; García J., 2018).

En comparación a los anteriores tratamientos, los resultados con menor respuesta fueron donde no se aplicó micorriza, posiblemente la no presencia de micorriza influyó en la dinámica del fósforo aplicado, resaltando así el tratamiento Fosfato diamónico + 0 Lt. ha^{-1} de micorrizas, con un área de índice foliar de 0,74.

Tabla 5. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo (*Solanum Phureja*)

Tratamiento		Índice de área foliar
Fuentes de fosforo	Dosis de micorriza <i>Glomus sp.</i> (Lt.ha^{-1})	Medias
Microessentials	6	1,15 a
Fosfato diamónico	6	1,15 a
Sin fosforo	6	1,13 ab
Fosfato monoamónico	6	1,12 ab
Sin fosforo	4	1,11 ab
Microessentials	4	1,07 abc
Fosfato diamónico	4	1,02 abc
Fosfato monoamónico	4	1,01 abc
Fosfato monoamónico	2	0,94 abc

Fosfato diamónico	2	0,93 abc
Sin fosforo	2	0,93 abc
Fosfato monoamónico	0	0,86 abc
Microessentials	2	0,85 abc
Sin fosforo	0	0,82 abc
Microessentials	0	0,78 bc
Fosfato diamónico	0	0,74 c

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Con respecto a los resultados anteriores de esta investigación se puede afirmar que los HMA contribuyen a la productividad ya que contribuyen en su habilidad para la toma de nutrientes (Aggarwal, A. *et al.*, 2012; Rabie, G. H. y Almadini, A.M., 2005; Medina, 2016).

Colonización de raíces. Para la interacción de los factores en el análisis de varianza, se obtuvo un valor de $Pr > F$ igual a 0,275 indicando que los resultados fueron iguales entre las fuentes de fósforo y las dosis de micorriza, sin embargo, los resultados evaluados para el factor micorriza generaron diferencia entre las dosis aplicadas obteniendo un $Pr > F$ igual a $<0,0001$ (Tabla 3).

En la prueba de medias los tratamientos sobresalientes fueron las sub-parcelas con la aplicación de 6 Lt.ha⁻¹ de micorriza. (Tabla 6). De acuerdo con las dosis aplicadas y la concentración del producto Biofert-mex[®], se puede afirmar que entre menor aplicación de fósforo se genera una mayor colonización de las micorrizas, mejorando una mayor periodicidad en la rizosfera del cultivo, debido a esto, se coincide con las ideas propuestas por Elías y Safir (1987); Saparrat y Ruscitti (2020), donde indican que la estimulación de los exudados sobre la elongación hifal es mayor en plantas deficientes en fósforo, así lo demuestran en las investigaciones realizadas en donde presentaron grandes diferencias al medir el crecimiento hifal en plantas con fósforo y con ausencia de este elemento.

También cabe resaltar que la acción estimulante sobre el crecimiento hifal se debe a la calidad de los exudados de las plantas más que a la cantidad liberada. Ósea que la colonización de micorrizas depende de las condiciones y disposición de las plantas mediante la estimulación de señales tigmotróficas (Requena *et al.*, 2007; Ramírez y Rodríguez, 2010) y la interacción planta-micorrizas.

Tabla 6. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo (Solanum Phureja)

Tratamiento		Colonización (%)
Fuentes de fosforo	Dosis de micorriza <i>Glomus sp.</i> (Lt.ha ⁻¹)	Medias
Sin fosforo	6	63,72 a
Fosfato monoamónico	6	60,49 ab
Fosfato diamónico	6	57,00 ab
Microessentials	6	52,37 abc
Fosfato monoamónico	4	48,55 bcd
Fosfato diamónico	4	41,83 cde
Sin fosforo	4	41,45 cde
Microessentials	4	36,38 def
Fosfato monoamónico	2	35,35 ef
Fosfato diamónico	2	31,84 ef
Sin fosforo	2	27,96 fg
Microessentials	2	27,77 fg
Sin fosforo	0	18,39 gh
Fosfato monoamónico	0	18,09 gh
Fosfato diamónico	0	12,70 h
Microessentials	0	11,85 h

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Según Ojeda *et al.* (2014) destacan, que el nivel de fertilidad del suelo en fósforo y nitrógeno, la temperatura, la humedad, la MO, la acidez y la época del año, también, la alta fertilización química influye en la permanencia y colonización de HMA (Guerra, 2008; Gómez *et al.*, 2019). Investigaciones anteriores mencionan que se debe tener en cuenta la aplicación de altos niveles de fertilización nitrogenada y fosfórica, así como la residualidad de esta última ya que inhiben el establecimiento y el desarrollo de los HMA y de otros microorganismos benéficos (Pérez *et al.*, 2011; Mora *et al.*, 2021).

Se ha comprobado que el género *Glomus sp.* es una de las micorrizas más competitivas y efectivas para el crecimiento de las plantas, incrementan la absorción de P, proliferación de raíces, con alto

porcentaje de colonización, su mayor efectividad se presenta en pH de 5 a 6 (Sieverding, 1991; García, 2019).

Absorción de fósforo. En el análisis de varianza realizado no se observó resultados significativos para la interacción entre los factores ($Pr > F = 0,92$). En caso contrario, solo para el factor micorriza se presentaron diferencias altamente significativas con un $Pr > F$ de 0,0001 (Tabla 3).

La tabla 7. muestra que la aplicación de la micorriza genero efecto en la absorción de fósforo entre los tratamientos frente al testigo, donde los tratamientos con resultados destacados fueron para las dosis 2 Lt.ha⁻¹, 4 Lt.ha⁻¹ y 6 Lt.ha⁻¹ de micorriza independientemente de la fuente de fósforo utilizadas, pues la absorción de fósforo en estos varía entre 0,32% y 0,40% mientras que en comparación al testigo el valor de absorción varía de 0,25% al 0,28%. Lo anterior coincide con lo mencionado por Valdés *et al.* (2019) quienes afirman que estos HMA ayudan a la absorción de P debido a que realizan una simbiosis mutualista con las plantas, desarrollando diferentes estructuras como hifas y arbusculos que crecen tanto inter como intracelularmente en la raíz, es decir, por vía apoplástica y simplástica. Estos hongos se benefician con los hidratos de carbono sintetizados por la planta y a su vez, éstos toman y transfieren nutrientes del suelo a la raíz (principalmente fósforo y nitrógeno) y le proveen protección contra patógenos y condiciones hídricas desfavorables (Smith y Read, 2008; Saparrat y Ruscitti, 2020)

Según Yong-Guan *et al.* (2003) exponen, que uno de los nutrimentos que más se ha estudiado en relación con su absorción mediada por micorrizas arbusculares, es el fósforo, debido a que las plantas lo requieren en grandes cantidades, relativamente, pero que también se encuentra en concentraciones muy bajas en la solución del suelo. (Aguilera *et al.*, 2007)

Tabla 7. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo (*Solanum Phureja*)

Tratamiento		Absorción de fosforo
Fuentes de fosforo	Dosis de micorriza <i>Glomus sp.</i> (Lt.ha ⁻¹)	Medias
Fosfato diamónico	6	0,40 a
Fosfato diamónico.	4	0,39 a
Microessentials	6	0,39 a

Microessentials	4	0,39 a
Fosfato monoamónico	6	0,38 a
Fosfato monoamónico	2	0,37 ab
Microessentials	2	0,37 ab
Fosfato monoamónico	4	0,36 abc
Fosfato diamónico	2	0,36 abc
Sin fosforo	6	0,33 abcd
Sin fosforo	4	0,32 abcd
Sin fosforo	2	0,32 abcd
Microessentials	0	0,28 bcd
Fosfato diamónico.	0	0,27 bcd
Fosfato monoamónico	0	0,26 cd
Sin fosforo	0	0,25 d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Los HMA ayudan a traslocar el fósforo a la planta (Jakobsen y Hammer, 2015); ya que este elemento antes de ser absorbido por las raíces, una cantidad del elemento aplicado se transforma rápidamente en formas menos disponibles, por lo cual para satisfacer los requerimientos se acude a la fertilización química (Khan *et al.*, 2010; Cisneros *et al.*, 2017) más aplicación de HM.

Número de tubérculos. La variable número de tubérculos por planta mostró datos altamente significativos para el factor micorriza con un $Pr > F$ igual a < 0.0001 (Tabla 3).

La tabla 8 evidencia el agrupamiento de los tratamientos similares estadísticamente, donde se aprecia que el mayor promedio en número de tubérculos por planta fueron los tratamientos con la aplicación MicroEssentials[®] + 6 Lt.ha⁻¹ y MicroEssentials[®] + 4 Lt.ha⁻¹ con un promedio de 38 y 37 tubérculos respectivamente, y el tratamiento con menor promedio en número de tubérculos por planta se presentó cuando se aplicó MAP + 0 Lt.ha⁻¹ con 29 tubérculos, lo que indica que hubo efecto en la aplicación de las micorrizas al crecimiento de la tuberización. Estos resultados encontrados en la investigación coinciden con Palmieri (1988), y Bolaños (2001), quienes 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), mencionan de igual manera, que la aplicación de fósforo ayudó a incrementar el número de tubérculos en el cultivo de papa, pero esta a su vez se ve beneficiada debido a la capacidad que tienen las micorrizas al disponer el fósforo presente en el suelo hacia la planta. (Ortuño y Felipez, 2021).

De igual manera las investigaciones realizadas por Moreno *et al.* (2000), hacen énfasis en que el fósforo (P) es esencial para el crecimiento de la papa y no puede ser sustituido por ningún otro nutriente ya que este fisiológicamente promueve la rápida formación, crecimiento de las raíces e incidencia en la síntesis de almidón, los cuales intervienen directamente en el número y tamaño de los tubérculos. (Chung *et al.*, 2014; Leonel *et al.*, 2016; Gómez, 2018)

Tabla 8. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo (*Solanum Phureja*)

Tratamiento		Número de tubérculos
Fuentes de fosforo	Dosis de micorriza <i>Glomus sp.</i> (Lt.ha ⁻¹)	Medias
Microessentials	6	38,47 a
Microessentials	4	37,32 ab
Sin fosforo	6	36,14 ab
Microessentials	2	35,74 abc
Sin fosforo	4	34,91 abcd
Fosfato monoamónico	6	34,15 abcde
Fosfato monoamónico	4	34,11 abcde
Fosfato diamónico	6	33,71 abcde
Fosfato diamónico	2	33,11 abcde
Fosfato diamónico	4	32,78 bcde
Fosfato monoamónico	2	32,07 bcde
Microessentials	0	30,43 cde
Fosfato diamónico	0	30,01 de
Sin fosforo	2	29,89 de
Sin fosforo	0	29,05 e
Fosfato monoamónico	0	28,97 e

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Rendimiento. En la variable rendimiento se encontraron diferencias significativas para el factor micorriza con un $Pr > F$ igual a $< 0,0001$ (Tabla 3).

En la tabla 9 se observa el agrupamientos de tratamientos similares estadísticamente, donde se aprecia que el mayor promedio se obtuvo al aplicar Microessential® + 6 Lt.ha⁻¹ de Biofert-mex® (*Glomus sp.*) presentado un rendimiento de 34,8 T.ha⁻¹ valor que está dentro del rango reportados por Rodríguez y Tinjacá en 2014, los cuales mencionan que la producción está entre 32,8 a 37,4 T.ha⁻¹. El tratamiento que presentó el promedio más bajo en la investigación fue Sin fosforo + 0 Lt.ha de micorriza con un promedio de 16,2 T.ha⁻¹, y que además no generaron incremento en la producción, es decir que los niveles de micorrizas y las diferentes fuentes de fosforo son responsables de aproximadamente el doble de la producción obtenida. Estos datos son corroborados por Zeballos (2006) quien indica que los rendimientos de papa con la aplicación de microorganismos son mayores. En el presente estudio el rendimiento aumenta al aplicar HMA sin importar cuál sea la fuente de fósforo utilizada, resultados similares se encontraron en investigaciones realizadas por Ortuño y Felipez, (2021).

Tabla 9. Comparación de medias en los tratamientos con fósforo (*Solanum Phureja*)

Tratamiento		Rendimiento (Ton/ha)
Fuentes de fosforo	Dosis de micorriza <i>Glomus sp.</i> (Lt.ha ⁻¹)	Medias
Microessentials	6	34,84 a
Microessentials	4	34,06 a
Fosfato monoamónico	6	33,60 a
Fosfato diamónico	6	33,37 a
Fosfato diamónico	4	32,03 a
Fosfato diamónico	2	29,18 ab
Microessentials	2	28,97 ab
Fosfato monoamónico	2	28,41 ab
Fosfato monoamónico	4	28,08 ab
Sin fosforo	6	26,62 abc
Sin fosforo	4	21,88 bcd

Sin fosforo	2	21,87 bcd
Fosfato monoamónico	0	17,40 cd
Microessentials	0	17,06 cd
Fosfato diamónico	0	16,92 cd
Sin fosforo	0	16,27 d

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

De esta manera los resultados obtenidos concuerdan con Agüero *et al.* (2006), Ortuño y Felipez, (2021) en estudios realizados en papa, quienes manifiestan que las plantas micorrizadas incrementan su rendimiento, lo cual se pudo deber a que las 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.

CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES EVALUADAS

En la Figura 1. se observa que el coeficiente de correlación para cada una de las variables indica un valor positivo, de esta manera, la correlación es directa en donde se intensifican las variables evaluadas. Para la absorción de fósforo con rendimiento se encontró una correlación de 0,84 datos que concuerdan con lo encontrado en esta investigación, esto indica que entre mayor es la absorción de fósforo hay mayor rendimiento, es decir, si el valor de una de las variables aumenta la otra también.

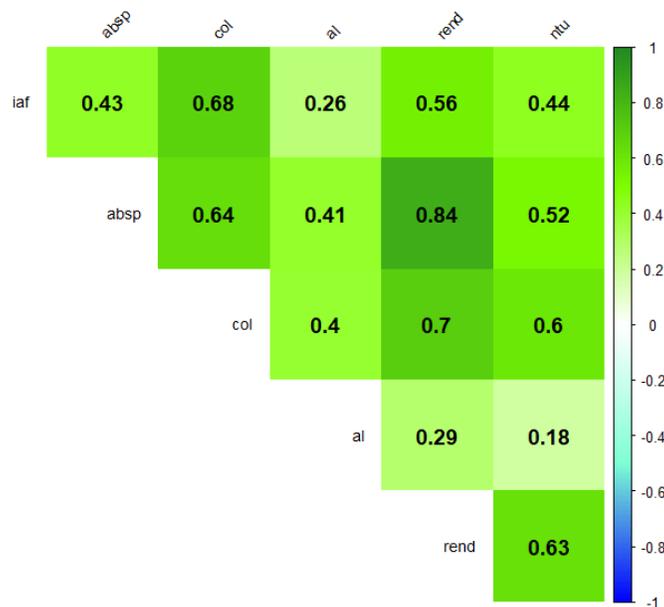


Figura 1. Correlación de Pearson de las variables evaluadas

La variable colonización de raíces está correlacionada con el rendimiento del cultivo teniendo un coeficiente de 0,7, datos que son similares con las investigaciones de Ortuño y Felipez (2021), donde mencionan que el rendimiento es mayor en los tratamientos inoculados con HMA.

Para las variables altura y número de tubérculos su coeficiente de correlación es 0,18 indicando la ausencia de correlación entre estos factores y por consiguiente estas variables son independientes entre sí.

CONCLUSIONES

1. En la incorporación de las micorrizas al suelo se observó un efecto positivo para las variables índice de área foliar, absorción de fósforo, colonización de raíces y numero de tubérculos por planta debido a que favorecen y generan una mayor disponibilidad de fosforo en el suelo.
2. Las dosis (2, 4 y 6 Lt. ha⁻¹) del producto Biofert-mex[®] aplicadas al suelo mejoraron la disponibilidad de fosforo, incrementando las variables de rendimiento de papa criolla variedad dorada, bajo las condiciones del experimento, presentando promedios superiores a los tratamientos donde no se aplicó el hongo, independientemente de la fuente de fósforo utilizada.

3. El mayor porcentaje de colonización de raíces se obtuvo con el tratamiento sin fosforo y al aplicar la mayor dosis de micorriza (6 Lt.ha⁻¹), probablemente, a que las plantas deficiente de fosforo liberan mayores exudados, captando de manera más eficiente las micorrizas.

RECOMENDACIONES

1. Realizar investigaciones básicas en la región papera del Departamento de Nariño, con el fin de inventariar la población de cepas nativas de micorriza y de conocer su capacidad de infección efectiva.
2. Estudiar la adaptabilidad de la micorriza introducida a través de varios ciclos de inoculación, con el fin de evaluar su establecimiento y persistencia frente a la posible competencia ejercida por cepas nativas.

BIBLIOGRAFÍA

- Aggarwal, A.; Kadian, N.; Neetu, K.; Tanwar, A. y Gupta, K. K. (2012) “Arbuscular mycorrhizal symbiosis and alleviation of salinity stress”. *Journal of Applied and Natural Science*, vol. 4, no. 1, pp. 144–155, ISSN 0974-9411.
- 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., LaHabana. Cuba.*
- Aguilera, L., Olalde, V., Arriaga, R., Rogelio, A. (2007). Micorrizas arbusculares, *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*. vol 14. pp. 300-306, Universidad Autónoma del Estado de Mexico.
- Alvarado & Jacome. (2015). Aprovechamiento del estiércol de ganado vacuno como abono líquido. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniería Química. Quito, Ecuador: Universidad Central del Ecuador. 103 p.

- Bañuelos, J., San Gabriel, W., Gavito, M., Trejo, D., Medel, R., & Carreron, Y. (2017). Efecto de diferentes niveles de fósforo en aguacate inoculado con hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* Vol.8 Núm.7, 1511.
- Becerra L.A., Navia de Mosquera S.L. & Ñustez López C.E., (2007). Efecto de niveles de fósforo y potasio sobre el rendimiento del cultivar ‘Criolla Guaneña’ en el departamento de Nariño. *Revista Latinoamericana de la papa*. 14(1): 51-60.
- Bernal E., J y Espinosa, J. (2003). Manual de nutrición y fertilización de pastos. INPOFOS, Quito (Ecuador).
- Bolaños, H. A. (2001). Introducción a la olericultura. EUNED. Costa Rica. San José 380p.
- 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 república de Colombia. 100p
- Carrillo-Sosa, Yudines, Terry-Alfonso, Elein, y Ruiz-Padrón, Josefa. (2020). Efecto de un inóculo microbiano en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 41(4), e01. Epub 01 de diciembre de 2020. Recuperado en 06 de agosto de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362020000400001&lng=es&tlng=e
- Cisneros Rojas, C. A., Sánchez de Prager, M., & Menjivar Flores, J. C. (2017). Identificación de bacterias solubilizadoras de fosfatos en un Andisol de la región cafetera colombiana. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 19(1), 21–28. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v19n1.65966>
- Cui K, Peng S, Xing Y, Yu S, Xu C, Zhang Q. (2003). Molecular dissection of the genetic relationships of source, sink and transport tissue with yield traits in rice. *Theoretical and Applied Genetics*. 106(4):649-658. doi:10.1007/s00122-002-1113-z.
- Chung, H.J., Li, X.Q., Kalinga, D., Lim, S.T., Yada, R., Liu, Q. (2014). Physicochemical properties of dry matter and isolated starch from potatoes grown in different locations in Canada. *Food Res. Intl.* 57, 89-94
- Elias, K. S. (1987). Gene. Hyphal elongation of *Glomus fasciculatus* in response to root exudates. *Applied Environmental Microbiology*, 53(8), 1928-1933.

- FEDEPAPA. (2020). Boletín nacional. Sistema de información y estudios económicos. Volumen 4/Número 5. 2020. Recuperado de: <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2021/09/NACIONAL-2020.pdf>
- FEDEPAPA. (2020). Boletín Regional. Sistema de información y estudios económicos. Volumen 4/Número 4. 2020. Recuperado de: <https://fedepapa.com/wp-content/uploads/2021/09/NARINO-2020.pdf>
- FEDEPAPA. (2020). Revista Papa. Órgano Informativo de la Federación Colombiana de Productores de Papa. Edición No. 50. 2020. ISSN: 0122-2686.
- Galmés J, J Flexas, R Savé, H Medrano. (2007). Water relations and stomatal characteristics of Mediterranean plants with different growth forms and leaf habits: responses to water stress and recovery. *Plant and Soil* 290:139-155
- García, N. D. (2019). Evaluación del efecto de la aplicación del hongo micorrícico *Glomus* sp. del producto Biofertmex en suspensión concentrada de Minerales exclusivos S.A. sobre plántulas del cultivo de patilla (*Citrullus lanatus*) en vivero y en campo sobre el municipio de Villavicencio-Meta, Facultad de Ciencias agropecuarias y recursos naturales. Universidad de los Llanos.
- García Rodríguez, J., 2018. Micorrización controlada de plántulas del género pinus en vivero y su incidencia sobre atributos del material y del comportamiento. [en línea] Repositorio.udec.cl. Disponible en: http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/3254/4/Tesis_Micorrizacion_controlada_de_plantulas.Image.Marked.pdf [Consultado el 7 de octubre de 2021].
- Gómez, M. (2018) Acumulación y distribución de macronutrientes minerales en dos cultivares de *Solanum tuberosum* L. en diferentes ambientes del altiplano cundi-boyacense. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias Agrarias. Pág. 3.
- Gómez, A. M., Gómez, C. O., Ordoñez, H. R., Chavez, G. J., & Navia, J. E. (2019). Evaluación de micorrizas arbusculares (hma) asociadas a tres sistemas de uso del suelo, zona altoandina de Nariño. Facultad de Ciencias Agrícolas, Pasto.

- Groza, H.I., Bowen, B.D., Kichefski, D. *et al.* (2005). Millennium Russet: A dual purpose russet potato variety. *Am. J. Pot Res* 82, 211–219. <https://doi.org/10.1007/BF02853587>
- Guerra, S. (2008). Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Revista Tecnología en Marcha*. 21(1): 191-201.
- Hopkins, B.G., Horneck, D.A. & MacGuidwin., (2014). Improving Phosphorus Use Efficiency Through Potato. *Potato Rhizosphere Modification and Extension*. *Am. J. Potato Res.* 91, 161-174 (2014).
- IGAC. (2013). Levantamiento semidetallado de suelos de algunos sectores del municipio de Pasto, departamento de Nariño.
- Jakobsen, I. and E. C. Hammer. (2015). Nutrient dynamics in arbuscular mycorrhizal networks. pp. 91-131. In: T. R. Horton (ed.). *Mycorrhizal networks. Ecological studies (Analysis and synthesis)*. Springer.
- Jerez-Mompié, Eduardo, Martín-Martín, Roberqui, Morales-Guevara & Donaldo. (2017). Evaluación del crecimiento y composición por tamaño de tubérculos de plantas de papa para semilla. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 102-110. Recuperado en 07 de octubre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362017000400015&lng=es&tlng=es.
- Khan, M. S., Zaidi, A., Ahemad, M., Oves, M., & Wani, P. A. (2010). Plant growth promotion by phosphate solubilizing fungi-current perspective. *Archives of Agronomy and Soil Science*, 56, 73-98.
- Leonel, M., Carmo, E.L., Fernandes, A.M., Franco, C.M., Soratto, R.P. (2016). Physico- chemical properties of starches isolated from potato cultivars grown in soils with different phosphorus availability. *J. Sci. Food Agric.* 96(6), 1900-1905
- Medina-García, Laura R., (2016). La agricultura, la salinidad y los hongos micorrizicos arbusculares: una necesidad, un problema y una alternativa. *Cultivos Tropicales*, 35(3), 42-49. Recuperado 7 de octubre de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000300004&lng=es&tlng=es.
- Medrano H, J Flexas, J Galmés. (2009). Variability in water use efficiency at the leaf level among Mediterranean plants with different growth forms. *Plant and Soil* 317:17-29.

- Mora-Quilismal, Segundo Ramiro, Cuaical-Galárraga, Emma Teresa, García-Bolívar, Judith, Revelo-Ruales, Vinicio Wladimir, Puetate-Mejía, Luis Miguel, Aguila-Alcantara, Edith, & Ruiz-Sánchez, Michel. (2021). Biofertilización con bacterias solubilizadoras de fósforo y hongos micorrízicos arbusculares en el cultivo de la papa. *Cultivos Tropicales*, 42(2), e02. Epub 30 de junio de 2021. Recuperado en 07 de agosto de 2021, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000200002&lng=es&tlng=es.
- Moreno, J., Carvajal, G., Abaunza, C., Pinzon, L., Coronel, B., Valbuena, R., Corzo, P., Barrera, L., Tamayo, A., Espitia, E., Arrieta, J., Zapata, J., Morales, C., Garcia, H., Rodriguez, G., Cardozo, F. y Carranza, J. (2000). Manejo integrado del cultivo de la papa, Manual Técnico, Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria, Pag 97.
- Ñúñez-López, C. y Rodríguez Molano, L. (2020). Papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo Phureja): Manual de recomendaciones técnicas para su cultivo en el departamento de Cundinamarca. Bogotá, D. C.: Corredor Tecnológico Agroindustrial CTA-2.
- Ojeda, L., Furrázola, E. & Hernández, C. (2014). Micorrizas arbusculares en leguminosas de la empresa pecuaria El Tablón, Cuba. *Revista Pastos y Forrajes*. 37 (4): 392-398.
- Ortuño N. y Felipez D. (2021) La micorriza arbuscular (*Glomus fasciculatum*) en la absorción simbiótica de fósforo con variedades de papa nativa», *Revista Latinoamericana de la Papa*, 25(1), pp. 21-38. doi: 10.37066/ralap.v25i1.418.
- 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 Agronomía, Universidad de Costa Rica. San José.
- Pérez A, Rojas J, Montes D. (2011) 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*; 3(2):366- 85.
- Phillips, J. M., y Hayman, D. S. (1970). Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 55(1), 158–160

- Rabie, G. H. y Almadini, A. M. (2005) “Role of bioinoculants in development of salt-tolerance of Vicia faba plants under salinity stress”. African Journal of Biotechnology, vol. 4, no. 3, p. 210, ISSN 1684-5315.
- Ramírez Gómez, Margarita, & Rodríguez Villate, Alia (2010). Señales de reconocimiento entre plantas y hongos formadores de micorrizas arbusculares. Ciencia y Tecnología Agropecuaria, 11 (1),53-60.[fecha de Consulta 6 de Febrero de 2022]. ISSN: 0122-8706. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=449945028007>
- Requena, N.; Serrano, E.; Oco’n, A.; Breuninger, M. (2007). Plant Signals and Fungal Perception During Arbuscular Mycorrhizae Establishment. Phytochemistry. 68: 33-40
- Rodríguez Molano, L. E., & Tinjacá, S. (2014). Pruebas de evaluación agronómica (PEA) de genotipos de papa criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *Phureja*) para la región natural andina, subregión natural Nudo de los Pastos: informe de resultados.
- Rosen, J., & Keith, A. (2014). Optimizing Phosphorus Fertilizer Management in Potato Production. *American Journal of Potato Research*, 145-160.
- Saparrat, M. N., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2020). ¿Cómo se establece la simbiosis? Ruscitti, M., Saparrat, M. *Micorrizas arbusculares. Biología y aplicaciones en el sector agro-forestal* (1.a ed.), Cap 2 [Libro electrónico]. Editorial de la Universidad de la Plata.
- Saparrat, M. N., Ruscitti, M. F., & Arango, M. C. (2020). Introducción y generalidades. Valdes, F. E., Abarca, C., Colombo, R. P., Silvani, V. A. *Micorrizas arbusculares. Biología y aplicaciones en el sector agro-forestal* (1.a ed.), Cap. 1 [Libro electrónico]. Editorial de la Universidad de la Plata.
- Sieverding. (1991). Deutsche Gesellschaft fur Technische Zusammenabeit, 5 - 10.
- Silva, MI de S. (2005). Modelos de herança no melhoramento vegetal: uma abordagem bayesiana. 77 págs. Dissertação (Mestrado em Estatística e Experimentação Agropecuária)-Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- SIOC: Sistema de información de Gestión y Desempeño de Organizaciones de Cadenas. (2020). Cadena de la papa: Indicadores e Instrumentos. MinAgricultura. Colombia. Recuperado de: <https://sioc.minagricultura.gov.co/Papa/Documentos/2020-03-31%20Cifras%20Sectoriales.pdf>
- Soto Garces, A., Cotes Torres, J., & Rodríguez Caicedo, D. (2018). Modelo de simulación del crecimiento y desarrollo de la papa criolla. Ciencia en Desarrollo, 9(1), 9-31.

- Smith, S. E., y Read, D. J. (2008). *Mycorrhizal Symbiosis*. 3ra edición. New York. Academic Press.
- 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.
- Villa y Barrientos. (2012). Incremento de la rentabilidad económica en el cultivo de papa criolla mediante fertilización con manganeso. *REVISTA COLOMBIANA DE CIENCIAS HORTÍCOLAS - Vol. 6 - No. 1*, 67-75.
- Villegas Hurtado, D. A., Dussán Currea, S. L., & Miranda Lasprilla, D. (2016). Efecto de la deficiencia de N, P, K, Mg, Ca y B sobre la acumulación y distribución de la masa seca en plantas de guayaba (*Psidium guajava* L.) var. Ica Palmira II en fase de vivero. *Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas*, 10(1), 40–52. <https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.4277>
- Yepes-Chamorro, D. B., Cerón L., M.S., Cadena-Guerrero, M. M., & Castro-Figueroa, J. E. (2020). Agrosavia Alhaja: variedad de papa criolla (*Solanum tuberosum* L. grupo Phureja) para el departamento de Nariño, Colombia. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria - agrosavia
- Yong G. Z.; A. F. Smith y S. E. Smith (2003). “Phosphorus efficiencies and responses of barley (*Hordeum vulgare* L.) to Arbuscular Mycorrhizal Fungi Grown in Highly Calcareous Soil”, *Mycorrhiza*. 13(2).
- Zeballos, H. (2006). Agricultura y desarrollo sostenible SIRENARE, COSUDE y PLURAL editores 285 p.