



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA
AGRICULTURA**

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO AGROPECUARIO**

**TEMA: RESPUESTA DE LA PRODUCCIÓN DE PAPA (*Solanum tuberosum*
L.), VAR. SUPER CHOLA, A LA FERTILIZACIÓN CON P Y
APLICACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN SAN ROQUE,
IMBABURA**

AUTOR: CASTRILLÓN DUEÑAS, ALEXANDER PATRICIO

DIRECTOR: M.Sc. BASANTES MORALES, EMILIO RODRIGO

SANGOLQUÍ

2020



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación: ***“RESPUESTA DE LA PRODUCCIÓN DE PAPA (SOLANUM TUBEROSUM L.), VAR. SUPER CHOLA, A LA FERTILIZACIÓN CON P Y APLICACIÓN DE MICORRIZAS ARBUSCULARES EN SAN ROQUE, IMBABURA”***, fue realizado por el señor ***Castrillón Dueñas, Alexander Patricio*** el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 16 de enero de 2020

M.Sc. Emilio R. Basantes

C.I.: 1704709797



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y DE LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, *Castrillón Dueñas, Alexander Patricio*, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: “*Respuesta de la producción de papa (solanum tuberosum l.), var. super chola, a la fertilización con p y aplicación de micorrizas arbusculares en San Roque, Imbabura*”, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 16 de enero de 2010

Alexander Castrillón Dueñas

Alexander Patricio Castrillón Dueñas

C.I.: 1719705749



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA VIDA Y LA AGRICULTURA

CARRERA DE INGENIERÍA AGROPECUARIA

AUTORIZACIÓN

Yo, *Castrillón Dueñas, Alexander Patricio*, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: *“Respuesta de la producción de papa (solanum tuberosum L.), var. super chola, a la fertilización con p y aplicación de micorrizas arbusculares en San Roque, Imbabura”*, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 16 de enero de 2019

Alexander Castrillón Dueñas

.....
Alexander Patricio Castrillón Dueñas

C.I.: 1719705749

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Mariana y Eduardo, por apoyarme en cada una de las etapas de la vida, compartiendo valores y consejos que me ayudaron a formarme como persona, pero sobre todo por su infinito amor.

A mis hermanos Eduardo, Carlos y Daniel, por toda la ayuda y todos los momentos compartidos a lo largo de la vida, y por ser el pilar fundamental de nuestra familia.

A mis hijos Sebastián y Sophía, por todo el amor y momentos de felicidad, por inspirarme a salir adelante y ser un buen ejemplo para ustedes.

A mi familia Gloria, Michelle, Gustavo, Lucy y Angie por brindarme el apoyo necesario durante cada etapa de mi vida.

A mis amigos Max Saltos, José Tusa, David Contreras, Adriana Naranjo, Mónica Sarango, Kevin Castro, Ricardo Pinto, Byron Rengifo, Elizabeth Albuja, que nos apoyamos de forma mutua en cada paso de nuestra formación profesional.

Por último, a mis maestros, que formaron parte de mi formación universitaria y me brindaron sus conocimientos para la elaboración de esta investigación.

AGRADECIMIENTO

Agradezco mis padres, por brindarme apoyo incondicional en cada paso de mi formación, por ser un excelente ejemplo a seguir y por darme una excelente educación a lo largo de mi vida.

A toda mi familia, que siempre me apoyaron y me dieron la fuerza necesaria para salir adelante.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE y a la Facultad de Ciencias Agropecuarias, por todas las enseñanzas impartidas a lo largo del proceso de formación profesional.

A la Dra. María Emilia Medina por darme la oportunidad de realizar el proyecto de tesis. Por las asesorías, apoyo y enseñanzas que me ayudaron a crecer como persona y profesional para culminar esta etapa de mi vida.

Al Dr. José Luis Pantoja por todo el tiempo y conocimientos impartidos en la realización de este proyecto de tesis, y por su asistencia en mi desarrollo profesional.

A la Ing. Eliza Plazarte por todas las enseñanzas y consejos impartidos, y por toda la ayuda brindada a lo largo del desarrollo de la tesis y sobre todo por su amistad.

Al Ing. Emilio Besantes por el apoyo incondicional en cada etapa del desarrollo del proyecto.

A mis amigos Max, José, David, Adriana, Mónica, Kevin, Ricardo, Byron, Elizabeth y Evelyn por la amistad y apoyo incondicional en cada etapa de la carrera, por aportar en mi desarrollo personal y profesional, Gracias por formar parte de esta gran experiencia.

Alexander Castrillón

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD	ii
AUTORIZACIÓN	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xi
ABSTRACT	xii

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1	Antecedentes	2
1.2	Planteamiento del problema	4
1.3	Problema	4
1.3.1	Causas	5
1.3.2	Efectos	5
1.4	Justificación	5
1.5	Objetivos	6
1.5.1	General	6
1.5.2	Específicos	6

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	La Papa	7
2.1.1	Importancia	7
2.1.2	Desarrollo y crecimiento	8
2.1.3	Requerimientos climáticos y edáficos	9
2.1.4	Requerimientos nutricionales	10

2.1.5	Variedades de papa en el Ecuador	14
2.1.6	Variedad Super Chola.....	15
2.1.7	Análisis foliares	16
2.1.8	Análisis de tubérculos.....	18
2.1.9	Producción	19
2.2	El fósforo	20
2.2.1	El fósforo y la calidad de la papa.....	21
2.3	Hongos formadores de micorrizas	23
2.3.1	Generalidades	23
2.3.2	Importancia en los cultivos.....	23
2.3.3	Beneficios nutricionales para el cultivo.....	24
2.3.4	Beneficios fitosanitarios para el cultivo	26
2.3.5	Especificidad	27
2.3.6	Etapas de desarrollo de las micorrizas.....	28
2.3.7	Condiciones de suelo	29
2.3.8	Micorrizas vesículo arbusculares.....	29
2.3.9	Estructuras del hongo	30
2.3.10	Efecto de la fertilización sobre el desarrollo de los HFMA	31
2.3.11	Inoculante de hongos formadores de micorrizas	32

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.....	33	
3.1	Tipo de investigación.....	33
3.2	Lugar de la investigación.....	33
3.2.1	Ubicación política.....	33
3.2.2	Ubicación geográfica.....	33
3.2.3	Ubicación ecológica.....	33
3.3	Precipitación y temperatura	34
3.4	Análisis inicial de suelo.....	34
3.5	Materiales y métodos.....	35
3.5.1	Material experimental.....	35
3.5.2	Material complementario.....	35
3.5.3	Pruebas de laboratorio	35

3.5.4	Diseño experimental y factores y tratamientos.....	35
3.5.5	Características de la unidad experimental	36
3.6	Variables medidas y metodología de la recolección de datos	36
3.6.1	Contenido foliar de nutrientes	36
3.6.2	Producción	37
3.6.3	Acumulación de nutrientes en el tubérculo	37
3.6.4	Calidad de la papa.....	37
3.7	Análisis estadístico	38
3.8	Correlaciones	38
3.9	Análisis económico.....	39
3.10	Métodos específicos de manejo del experimento	39

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	Condiciones climáticas	43
4.2	Análisis inicial de suelo	44
4.3	Desarrollo del cultivo	45
4.4	Análisis foliar	46
4.5	Productividad.....	49
4.6	Análisis de tubérculo	50
4.7	Calidad de fritura	53
4.8	Análisis de correlaciones	53
4.9	Evaluación económica	56

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	Conclusiones.....	57
5.2	Recomendaciones	57
5.3	Bibliografía.....	58

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Requerimientos de suelo para el cultivo de papa</i>	10
Tabla 2	<i>Plan promedio de fertilización de papa, épocas y dosis de aplicación del fertilizante</i>	12
Tabla 3	<i>Caracterización de variedades y zonas de producción</i>	15
Tabla 4	<i>Categorías de la papa de acuerdo con el peso y medida.</i>	20
Tabla 5	<i>Especificación de tratamientos, sus componentes, tipo de fertilización y presencia</i>	36
Tabla 6	<i>Esquema del análisis de varianza</i>	38
Tabla 7	<i>Numero de aplicación, fecha, fertilizante y cantidad aplicada en el cultivo</i>	41
Tabla 8	<i>Fecha, ingrediente activo, dosis y control de los productos usados para el control de plagas y enfermedades en el cultivo</i>	42
Tabla 9	<i>Temperatura y precipitación mensual durante la fase de campo en San Roque, Antonio Ante, Imbabura, Ecuador. 2019</i>	43
Tabla 10	<i>Análisis de suelo previo al establecimiento del cultivo de papa. San Roque, Antonio Ante, Imbabura. Ecuador. 2019</i>	45
Tabla 11	<i>Análisis de varianza del contenido foliar de nutrientes en el cultivo de papa con diferentes niveles de P e inoculación de micorrizas arbusculares. San Roque, Imbabura, Ecuador. Enero 2020</i>	48
Tabla 12	<i>Análisis de varianza de la producción de papa por categoría y total. San Roque, Imbabura, Ecuador. Enero 2020</i>	50
Tabla 13	<i>Análisis de varianza del contenido de nutrientes en el tubérculo en el cultivo de papa con diferentes niveles de P e inoculación de micorrizas arbusculares. San Roque, Imbabura, Ecuador. Enero 2020.</i>	52
Tabla 14	<i>Evaluación de la rentabilidad de la asociación de la papa con diferentes niveles de P e inoculación de micorrizas arbusculares. San Roque, Imbabura, Ecuador. Enero 2020.</i>	56

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1** Relación general entre el crecimiento y/o rendimiento y el contenido de nutrientes en tejido vegetal. Fuente: Correndo y García (2012).17
- Figura 2** Acciones de los hongos formadores de micorrizas arbusculares para el control de enfermedades Fuente: Carreón et al. (2008).27
- Figura 3** Evaluación de correlaciones: a) Entre la concentración de P en el follaje y la productividad, b) Entre la concentración de P en el tubérculo y la productividad, y c) Entre la concentración de P en el tubérculo y el follaje..... 55

RESUMEN

La necesidad de establecer producciones sustentables de papa (*Solanum tuberosum* L.) obliga a buscar herramientas tecnológicas como la inoculación de Hongos formadores de micorrizas arbusculares (HFMA) para aumentar el aprovechamiento de los nutrientes del suelo y mejorar sus características. El objetivo fue determinar el efecto de diferentes niveles de fertilización con P y la aplicación de HFMA en la respuesta productiva de la papa. Se uso un DBCA con 3 niveles de P y la inoculación o no de micorrizas. Se evaluó el contenido de nutrientes foliares, la acumulación de nutrientes en el tubérculo, la producción y las posibles correlaciones entre las variables evaluadas. Para realizar el análisis se utilizó el paquete estadístico SAS^{9.3}. No se encontró diferencias en la acumulación de nutrientes foliares ni en la producción ($P > 0.10$). En el tubérculo se alcanzó una mayor acumulación de N, P y Ca en el promedio de los tratamientos sin micorrizas ($P < 0.10$), pero no hubo cambios con otros nutrientes. En cuanto a las correlaciones, estas no fueron significativas ($P < 0.10$), solo se notó una tendencia negativa entre la productividad y el contenido de P en el tubérculo, lo cual se debe a un efecto dilución. Se esperaba que la inoculación con micorrizas mejorara la respuesta productiva de la papa, pero esto no ocurrió, lo que indica poca efectividad de las micorrizas evaluadas.

PALABRAS CLAVE

- ✓ **HONGOS MICORRÍZICOS ARBUSCULARES (HFMA)**
- ✓ **FERTILIZACIÓN**
- ✓ **FÓSFORO**
- ✓ **NUTRICIÓN**

ABSTRACT

The need to establish sustainable potato productions (*Solanum tuberosum* L.) forces us to look for technological tools such as inoculation of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) to increase the use of soil nutrients and improve their characteristics. The objective was to determine the effect of different levels of fertilization with P and the application of AMF in the potato's productive response. A DBCA was used with 3 levels of P and inoculation or not of mycorrhizae. The content of foliar nutrients, the accumulation of nutrients in the tuber, the production and the possible correlations between the evaluated variables were evaluated. The statistical package SAS^{9.3} was used to perform the analysis. No differences were found in foliar nutrient accumulation or production ($P > 0.10$). In the tuber a greater accumulation of N, P and Ca was reached in the average of treatments without mycorrhizae ($P < 0.10$), but there were no changes with other nutrients. As for the correlations, these were not significant ($P < 0.10$), only a negative trend was observed between productivity and the content of P in the tuber, which is due to a dilution effect. Inoculation with mycorrhizae was expected to improve the potato's productive response, but this did not occur, indicating poor effectiveness of the mycorrhizae evaluated.

KEYWORDS

- ✓ **ARBUSCULAR MYCORRHIZAL FUNGI**
- ✓ **FERTILIZATIONS**
- ✓ **PHOSPHORUSS**
- ✓ **NUTRITION**

CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es el cuarto alimento más importante en el mundo después del trigo (*Triticum aestivum*), el arroz (*Oryza sativa*) y el maíz (*Zea mays*). En el 2017 tuvo una producción mundial de 388191000 t, convirtiéndola en una de las principales fuentes de carbohidratos, proteínas, vitaminas y minerales en la alimentación humana (Patil, Siddappa, Kavar, & Bhardwaj, 2016; Huarte & Capezio, 2014).

En el Ecuador es uno de los cultivos con mayor importancia agrícola, debido al alto consumo de este tubérculo por la población del país. Además, esta actividad genera ingresos para mejorar la economía de los agricultores de la sierra ecuatoriana, porque este tubérculo se encuentra entre los diez productos más consumidos por la población y se ha considerado en el sexto lugar de producción. Para el 2018 la producción nacional fue en promedio de 16.28 t/ha, siendo uno de los más bajos de la región. Dependiendo de la variedad de papa la productividad potencial esta alrededor de 30 t/ha; en la actualidad en el país se está produciendo cerca de la mitad del potencial genético de las diferentes variedades. Esto se debe al mal manejo de los suelos y fertilización. Además, la presencia de plagas y enfermedades sumadas a condiciones ambientales desfavorables han generado una gran reducción de la productividad en el Ecuador (Basantes E. , 2015; Patil, Siddappa, Kavar, & Bhardwaj, 2016).

La búsqueda de una agricultura sustentable exige implementar tecnologías para optimizar las funciones metabólicas de las plantas y reducir el impacto ambiental de los agroquímicos en los sistemas productivos. Las micorrizas son la interacción o sinergismo que se da entre las plantas y hongos presentes en el suelo, y se consideran una de las interacciones más importantes en la

naturaleza debido a la gran cantidad de beneficios que generan en las plantas. Promueven la elongación, desarrollo, nutrición y protección de la planta ante el ataque de diversos patógenos, además del efecto positivo sobre la conservación de los suelos; por lo que es considerada una herramienta ideal para ser aplicarla en los cultivos (Navarro, 2006; Andrade, 2010).

1.1 Antecedentes

La papa demanda altas cantidades de nutrientes que se suministran con fertilizantes químicos. El uso excesivo de fertilizantes en suelos dedicados a producir papa ha reducido su fertilidad y productividad, lo que amenaza la producción de este tubérculo. En Ecuador se utilizan fertilizantes de modo continuo para generar una producción rentable, pero el indiscriminado uso de estos productos implica desbalances iónicos que afectan a la fertilidad del suelo (INEC, 2018). Esto hace necesario buscar alternativas ecológicas para reducir esas aplicaciones y mejorar las condiciones de los suelos dedicados a esta actividad (Basantes E. , 2015).

En la actualidad se reconoce el papel de las micorrizas para el uso sustentable del suelo. También hay beneficios en esta interacción hongo-raíz-fertilizante-suelo como la nutrición, abastecimiento de agua, protección ante organismos patógenos y la preservación del suelo. Este sinergismo mejora las condiciones de los cultivos, lo que se ve reflejado en un aumento de la productividad en los diferentes sembríos que han sido estudiados (Navarro, 2006).

El uso de micorrizas en los cultivos conlleva evaluar el efecto de los fertilizantes en las micorrizas y la asimilación de los nutrientes; porque el exceso de fertilizantes bloquea a las micorrizas. Por ese motivo es importante equilibrar la cantidad de fertilizante que requiere el cultivo, en relación con el suelo que posee micorrizas. Se han realizado estudios que muestran una gran variabilidad en el grado de micorrización que va desde 2 a 80% de infección en las

raíces. En relación con la población de esporas se han encontrado desde 0.1 hasta 37 esporas por gramo de suelo (Castillo, Huenchuleo, & Solano, 2016).

La colonización micorrízica es influenciada por la especificidad de los hongos, ya que existen asociaciones preferenciales con las plantas. Se han encontrado diferencias en el crecimiento y productividad de las plantas asociadas con diferentes especies de HFMA (Cesaro, et al., 2008; Torrecillas, Alguacil, & Roldán, 2012). Además, estudios recientes establecen que el desarrollo de las micorrizas es favorable si se selecciona la variedad de papa adecuada, la humedad y materia orgánica (MO) del suelo, mientras que el uso de fertilizaciones altos en P y N reducen la infección del hongo en la raíz y la población de esporas en el suelo. El alto contenido de estos fertilizantes puede llegar a inhibir el crecimiento del hongo en la planta por lo que se ha sugerido que se reduzca el P en la fertilización y se añadan inóculos de micorrizas en la siembra para obtener productos más sanos para la alimentación, generando sistemas productivos con un enfoque ambiental y sustentable (Barrera & Arango, 2015; Loján & Suárez, 2017).

El P es importante para la nutrición vegetal porque mejora el metabolismo de los carbohidratos de las plantas, en la respiración y en los sistemas de transferencia de energía. Es constituyente del ARN, ADN, ATP y de los fosfolípidos de las membranas celulares. Además, contribuye en los procesos de crecimiento, división celular y transferencia genética. El P mejora la resistencia a bajas temperaturas, hace más eficiente el uso del agua, aumenta la resistencia a enfermedades y acelera la madurez (Ekelöf, 2014; Fernández, 2016).

En plantas de papa el P es importante para el crecimiento de los tubérculos, mejora la síntesis y almacenamiento de almidón y se lo requiere para su fosforilación en la fase de desarrollo del tubérculo, por lo que puede aumentar el tamaño y contenido de materia seca del tubérculo. La

falta de P en este proceso reduce la formación del almidón y se manifiesta con manchas necróticas distribuidas en el tubérculo. Las fertilizaciones con P aumentan la concentración de ácido ascórbico ($C_6H_8O_6$), N y proteínas. Además, la gravedad específica disminuye al tener deficiencia de P y puede influir en el color, textura y sabor de los tubérculos cocidos o fritos. También contribuye en el desarrollo de la piel del tubérculo. Eso hace que el P sea indispensable para obtener una producción adecuada y de calidad, porque la deficiencia de este elemento reduce la producción y el número de tubérculos (Mazetti, Peres, & Aguila, 2015; Fernández, 2016).

Uno de los mayores problemas en la calidad de la papa con respecto a la deficiencia de P es el aumento en la acumulación de azúcares reductores, que sumado al alto contenido del aminoácido asparagina (hasta el 59% del total de aminoácidos en el tubérculo) pueden generar acrilamida al ser cocidos a temperaturas entre superiores a 170 °C. La acrilamida es un neurotóxico y posible cancerígeno para los humanos, por lo que genera grandes problemas en la industrialización de los tubérculos (Fernández, 2016).

1.2 Planteamiento del problema

1.3 Problema

El sistema productivo del cultivo de papa en la actualidad depende del creciente uso de agroquímicos. Al aumentar los costos de producción, la contaminación y los desequilibrios ambientales. Esto afecta a la salud de productores y consumidores, además de generar una reducción de la productividad y fertilidad del suelo debido a la aplicación excesiva de fertilizantes para la producción.

1.3.1 Causas

- ✓ Desconocimiento de los requerimientos nutricionales.
- ✓ Poco uso del análisis de suelo para la formulación de la fertilización.
- ✓ Uso inadecuado y excesivo de fertilizantes.
- ✓ Fijación de P y otros nutrientes en el suelo.
- ✓ Manejo inadecuado de las labores del cultivo.
- ✓ Desconocimiento del uso de micorrizas en el cultivo y sus beneficios.

1.3.2 Efectos

- ✓ Baja producción.
- ✓ Degradación del suelo (ej.: Salinidad, reducción de la fertilidad del suelo y baja disponibilidad de nutrientes).
- ✓ Contaminación de los recursos hídricos.
- ✓ Altos costos de producción y menores ingresos para el agricultor.
- ✓ Toxicidad del suelo.

1.4 Justificación

Si la micorriza se infecta con el cultivo y ayuda a mejorar la asimilación de P, esta investigación pretende mejorar la respuesta productiva de la papa aprovechando las ventajas de la incorporación de HFMA (porque hay mayor acceso a nutrientes y agua, además de optimizar las características del suelo, entre otros) que junto con el manejo adecuado de la fertilización con P proveen un enfoque sustentable, fomentando el uso de análisis del suelo e implementando una fertilización balanceada lo que evita el desarrollo de problemas de contaminación y toxicidad.

1.5 Objetivos

1.5.1 General

Evaluar la respuesta de la producción de papa, Var. Super Chola a la fertilización con P y aplicación de micorrizas arbusculares en San Roque, Imbabura.

1.5.2 Específicos

- ✓ Evaluar el efecto de la fertilización con P y la aplicación de micorrizas en el contenido foliar de nutrientes del cultivo.
- ✓ Analizar la respuesta productiva de la papa a la fertilización con P y a la aplicación de micorrizas arbusculares.
- ✓ Determinar el contenido de nutrientes en el tubérculo por efecto de la fertilización con P y la aplicación de micorrizas.
- ✓ Realizar un análisis económico de los tratamientos.

1.6 Hipótesis

H₀: La fertilización con P y aplicación de micorrizas arbusculares mejoran el crecimiento y producción de la papa.

H₁: La fertilización con P y aplicación de micorrizas arbusculares no mejoran el crecimiento y producción de la papa.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 La Papa

2.1.1 Importancia

Para el año 2018 en el Ecuador se cultivaron 23974 ha de papa. Cerca del 50 % de esta superficie se concentró en la provincia en el Carchi. Y se alcanzó una producción total de 26921 t. Los tubérculos son producidos en cerca de 10 provincias, por lo que miles de familias dependen directa o indirectamente de la producción y comercialización del tubérculo. Este cultivo es de gran importancia en el país debido a su rol en la dieta humana y el desarrollo socioeconómico del país. Contribuye en el PIB del país con cerca del 8%, convirtiéndolo en un sector sobresaliente del agro ecuatoriano (Devaux, Andrade, Ordinola, Velasco, & Hareau, 2011; INEC, 2018).

La necesidad de incorporar agroquímicos en las plantaciones de papa ha generado deterioro en la calidad ambiental, del suelo y en la salud de los agricultores. Esto obliga a los productores a buscar soluciones amigables con ambiente, generando sustentabilidad del suelo y producir alimentos más sanos para el consumidor sin alterar la productividad. Estudios inoculados con micorrizas han comprobado que se puede mantener la productividad reduciendo la fertilización, porque hay un mejor aprovechamiento de los nutrientes presentes en el suelo y de los suministrados mediante la fertilización, lo que reduciría la probabilidad de generar presencia crítica de elementos en el suelo, evitando problemas de degradación y toxicidad (Rivera, Ruiz, & Fernández, 2006; Loján & Suárez, 2017).

2.1.2 Desarrollo y crecimiento

El desarrollo de las plantas de papa se puede dividir en cinco fases, que empiezan con la brotación de los tubérculos. Esta brotación se da después de una dormancia de 2 a 3 meses después de la cosecha y necesita de condiciones de temperatura del suelo de entre 15 y 20 °C para tener un adecuado desarrollo. Es importante la calidad de la semilla para asegurar el cultivo ya que este proceso y algunos de los siguientes dependerán de las reservas de nutrientes y agua acumulados en el tubérculo (Román & Hurtado, 2002; Struik, 2007; Huarte & Capezio, 2014).

Luego de la brotación de los tubérculos, empieza la etapa vegetativa donde se desarrollan las raíces, hojas, estolones y flores de las plantas, también se empieza a realizar la fotosíntesis por lo que el abastecimiento de nutrientes y agua del tubérculo sembrado empieza a reducirse hasta detenerse. Dependiendo de la variedad esta etapa tiene una duración de entre 35 y 45 días y requiere de temperaturas del suelo de alrededor de los 20 y 25 °C (Struik, 2007; Huarte & Capezio, 2014).

Cuando los estolones empiezan el proceso de tuberización inicia la tercera etapa del cultivo y se caracteriza por detenerse el crecimiento de la planta, ya que los nutrientes asimilados son destinados a la acumulación en el tubérculo. por lo que se hace indispensable manejar adecuadamente la fertilización y abastecimiento de agua (Román & Hurtado, 2002; Huarte & Capezio, 2014). También va a depender de la temperatura, horas luz. Entre otras.

El óptimo desarrollo de los tubérculos se da en la etapa 4, por lo que se debe manejar eficientemente el uso y absorción de agroquímicos (Fertilizantes y pesticidas). El óptimo desarrollo de los tubérculos va a depender de la temperatura del suelo y de las horas luz que tenga el cultivo (Huarte & Capezio, 2014).

Por último, se da la maduración del tubérculo y se da cuando la planta entra en senescencia por lo que hay un amarillamiento de la parte aérea de la planta. En esta etapa el peridermo se ensancha, lo que permite realizar la cosecha evitando daños en el tubérculo. Es recomendable realizar la cosecha a temperaturas de 20 y 24 °C, evitando suelos muy secos que limitan el desarrollo adecuado los tubérculos. Este proceso ocurre a los 120 d después de la siembra (Román & Hurtado, 2002; Huarte & Capezio, 2014).

2.1.3 Requerimientos climáticos y edáficos

En el Ecuador se siembra papa de 1500 a 3800 msnm en pisos sub e interandinos, valles y en subpáramos húmedos. El cultivo prefiere suelos francos o franco arcillosos con buena capacidad de drenaje y de textura liviana, con una profundidad mínima de 50cm que permita un óptimo desarrollo de la raíz y de la planta en general. Se adapta a un pH de entre 6.2 y 8. Este cultivo necesita una variación de temperatura entre el día y la noche de 10 °C. para un correcto desarrollo y tuberización. La papa requiere temperaturas de entre 20 y 25 °C. en el día y de 8 a 13 °C. en la noche, con fotoperiodos de un rango de 8 a 12 h luz d⁻¹. Necesita una cantidad de 600mm de precipitación durante todo el ciclo vegetativo siendo las etapas más demandantes de agua la germinación y el llenado de los tubérculos. Es importante proteger al cultivo de vientos mayores a 20 km h⁻¹ porque pueden causar daños y reducir la productividad (Basantes E. , 2015). A continuación, se detallan los requerimientos de suelo del cultivo de la papa (Tabla 1).

Tabla 1
Requerimientos de suelo para el cultivo de papa

Propiedades físicas	Rango óptimo	Propiedades químicas	Rango óptimo
Textura	Franca	pH	5.5 - 6
Profundidad efectiva	> 50 cm	N	Variable
Densidad aparente	1.20 g x cm ³	P	> 28 t/kg
Color	Oscuro	K	> 5 %
Contenido de MO	> 3.5%	Ca	65%
Drenaje	Bueno	Mg	18%
Capacidad de retención de agua	Buena a capacidad de campo	Acidez total	< 10 %
Topografía	Plana y semi plana	Conductividad eléctrica	< 4 dS/m

Fuente: Román y Hurtado (2002).

2.1.4 Requerimientos nutricionales

La papa requiere grandes cantidades de macronutrientes (N, P, K, S, Ca y Mg) y micronutrientes (B, Mn, Zn, Fe, Cu y Mo). La cantidad de nutrientes depende de la variedad, el clima, la fertilidad del suelo, del manejo del cultivo y sobre todo de la productividad esperada. Las extracciones de nutrientes de las plantas superan la cantidad de nutrientes en el suelo por lo que es necesario aplicar fertilizantes para cubrir estos requerimientos, las plantas de papa extraen del suelo un promedio de 6.5, 13.0, 9.5 y 1.0 kg de N, P, K y Mg, respectivamente, por cada tonelada de tubérculo producida, por lo que el cálculo de fertilización se debe realizar según los resultados del análisis del suelo y la producción esperada. La baja disponibilidad de P en los suelos en el Ecuador por la alta fijación en el suelo promueve a la fertilización excesiva de este elemento, superando al contenido de N y K (Dvořák, Tomášek, Hamouz, & Jedličková, 2016).

El plan de fertilización debe asegurar la disponibilidad de los nutrientes de manera adecuada con base en la necesidad del cultivo en sus etapas fenológicas para un óptimo desarrollo de la planta en su parte vegetativa y en la formación de tubérculos. La fertilización representa un 30% de los costos de producción, por lo que se debe dar un manejo técnico adecuado para brindar las cantidades exactas teniendo en cuenta la disponibilidad en el suelo, la tasa de mineralización, la movilidad de los nutrientes y el consumo de las plantas (Westermann, 2005; Arribillaga, 2013).

El N es considerado el nutriente más limitante porque es parte constitutiva de la planta en la clorofila, vitaminas, proteína, etc. Altos niveles de N aumentan el crecimiento del cultivo y la captación de luz aumentando la productividad. Al existir una excesiva fertilización con N se producen bajos contenidos de materia seca y mayor producción del follaje bajando la calidad del tubérculo debido al oscurecimiento y agrietamiento de la papa. Deficiencias de este nutriente producen amarillamientos de las hojas viejas, poco desarrollo vegetativo y tubérculos pequeños. Por lo general, la aplicación de N se realiza de manera fraccionada hasta en tres partes, dividiendo el requerimiento para las tres fertilizaciones la primera fracción se coloca a los 20 d en el retape con fertilizantes compuestos y la segunda y tercera aplicación a los 45 y 60 días en los aporques, cuando las plantas alcanzan una altura de aproximada de 20 cm como fertilizantes simples (Westermann, 2005; Arribillaga, 2013; Mokrani, Hamdi, & Tarchoun, 2018).

El cultivo extrae grandes cantidades de K llegando a superar el requerimiento de N porque es un nutriente importante en la producción de energía al participar en la descomposición de carbohidratos. También ayuda a mejorar la resistencia a enfermedades, participa en el balance iónico y es un activador enzimático que regula el metabolismo de la planta. Las deficiencias de este nutriente se manifiestan con la aparición de hojas pequeñas en la parte superior de la planta y con coloraciones más oscuras de lo normal. La incorporación de K en el suelo se realiza aplicando todo el requerimiento en el momento de la siembra en conjunto con micro elementos. Es posible también, fraccionar la fertilización aplicando la mitad del requerimiento en el retape y el resto en el momento del aporque (Westermann, 2005; Arribillaga, 2013).

Tabla 2*Plan promedio de fertilización de papa, épocas y dosis de aplicación del fertilizante.*

Época de aplicación	Fertilizantes	Cantidad (kg/ha)
Retape	Muriato de K 60K ₂ O	380
	Fosfato diamónico (DAP) 18N-46P ₂ O ₅ -0K ₂ O	450
Primer aporque	Fosfato diamónico (DAP) 18N-46P ₂ O ₅ -0K ₂ O	450
	Muriato de K 60K ₂ O	380
Segundo aporque	Sulfato de magnesio (KIESERITA) 25MgO-20S	125
	Nitrato de Ca 15N-25CaO	330
	Oxido de magnesio	60
	Sulfato de zinc pentahidratado 12S-25Zn	25
	Bórax pentahidratado 15B	25

Fuente: Mokrani *et al.* (2018).

Fertilizantes. - Son productos que mejoran la cantidad de nutrientes disponibles para las plantas en el suelo, y a su vez pueden mejorar las características químicas y físicas del suelo. La modificación de las propiedades químicas del suelo se ha convertido en la manera más común, barata y fácil de aumentar el crecimiento, rendimiento y calidad de los cultivos (Savoy, 2015; Reetz, 2016). Los fertilizantes son responsables de hasta la mitad de la producción agrícola mundial, por lo que se debe dar un uso eficiente y racional a estos recursos. La mayor parte de fertilizantes son extraídos de minas naturales donde se encuentran en altas concentraciones.

Estos se clasifican por su composición química en tres categorías: a) fertilizantes minerales, que consisten en compuestos inorgánicos o sintéticos. b) fertilizantes orgánicos, que provienen de los desechos de animales o plantas y necesitan un proceso de compostaje. c) Acondicionadores del suelo que mejoran las características físicas del suelo (Savoy, 2015; Reetz, 2016). Además, de acuerdo con el contenido de nutrientes se clasifican en: a) fertilizantes simples que contienen solo un nutriente primario (Urea), b) fertilizantes compuestos, que contienen varios nutrientes primarios y pueden contener micronutrientes (DAP), y c) fertilizantes que contienen pequeñas cantidades de micronutrientes que las plantas requieren en dosis bastante bajas. A su vez estos fertilizantes de acuerdo con su presentación pueden ser líquidos o sólidos y pueden ser aplicados al suelo o de manera foliar (Savoy, 2015; Reetz, 2016).

Interacciones básicas suelo y la planta. - Existen características y procesos que se dan en el suelo, y que influyen en la cantidad de nutrientes disponibles en el suelo para las plantas. Estos incluyen a el intercambio catiónico (CIC) de los suelos, la MO, el pH, la salinidad y las interacciones de los nutrientes en el suelo (Saidi, 2012). El intercambio iónico se define como el desplazamiento de los iones entre la superficie de las partículas y la solución del suelo. Este proceso es el más determinante para la disponibilidad de nutrientes, porque retiene los nutrientes en la zona cercana a la raíz y los hace accesibles a la planta. Los nutrientes adsorbidos por la partícula del suelo pueden reemplazarse por otros cationes que se encuentren en la solución del suelo (esto es la CIC). Esta mide la cantidad de iones intercambiables por unidad de peso del suelo. En el suelo los cationes comunes en orden de fuerza de adsorción son: $\text{Na} < \text{K} = \text{NH}_4 < \text{Mg} = \text{Ca} < \text{Al} < \text{H}$ (Saidi, 2012; Rietra, Heinen, Dimkpa, & Bindraban, 2017). La saturación de bases corresponde al porcentaje de CIC que está ocupado por el K, Ca, Mg y Na y de esta dependerá la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas. Otro componente de la CIC es la capacidad de amortiguación, que corresponde a la capacidad del suelo para reponer los iones en la solución del suelo. Los suelos con menor capacidad de amortiguación no podrán reponer los nutrientes y requerirán mayor aporte de nutrientes a (Rietra, Heinen, Dimkpa, & Bindraban, 2017).

La MO influye de forma positiva en la fertilidad del suelo, porque es una fuente de nutrientes que requieren los cultivos para su desarrollo y es un componente clave en el ciclo de los nutrientes en el suelo. Además, aumenta la CIC, mejora la estructura del suelo, aumenta la estabilidad de los agregados del suelo, mejora la infiltración de agua y reduce la erosión del suelo (McCauley, Jones, & Olson, 2017).

Los microorganismos del suelo son afectados al ocurrir cambios drásticos de pH, volviendo mucho más lento el ciclo de los nutrientes. El pH del suelo afecta la solubilidad, la forma y la disponibilidad de los nutrientes. Al existir un pH bajo algunos nutrientes cambian su estructura química haciéndolos no disponibles para la planta, también se unen a las partículas del suelo reduciendo la disponibilidad. También, al presentarse acidez en el suelo se reduce la saturación de bases y se acumulan iones de H y Al generando problemas de toxicidad. En ese sentido, se debe tener en cuenta el efecto acidificante de los fertilizantes y MO que se incorpore al suelo (McCauley, Jones, & Olson, 2017).

La salinidad del suelo se describe como el nivel de sales que presenta el suelo (Na_2SO_4 , CaSO_4 y MgSO_4). El exceso de estas sales afecta la capacidad de las plantas para absorber agua y nutrientes, porque altas concentraciones de sales en la solución del suelo cambian la gradiente de concentración generando estrés osmótico. La salinidad merma la productividad y causa desequilibrios entre nutrientes, por lo que afecta a la fertilidad del suelo (Rietra, Heinen, Dimkpa, & Bindraban, 2017).

2.1.5 Variedades de papa en el Ecuador

Se han encontrado en el país alrededor de 400 variedades de papa y a estas se las pueden dividir en dos secciones, las variedades autóctonas o nativas que se obtuvieron por los antiguos habitantes americanos y presentan uniformidad en el tamaño, color y forma, se encuentran a alturas de ≈ 3000 msnm. Estas tienen diferencias agrícolas y organolépticas por su diversidad genética. Las variedades mejoradas se obtuvieron por selección y mejoramiento genético en busca de altas producciones, mayor resistencia a plagas y enfermedades. Además, presentan propiedades organolépticas estables. En el país se usan variedades mejoradas en la mayoría de los

sembríos de papa. Estas variedades se cultivan por su alta productividad y son preferidas por la mayoría de los productores debido al buen precio de mercado (Toledo & Albuja, 2013; Basantes E. , 2015). Estas variedades se encuentran distribuidas a lo largo del callejón interandino en las diferentes zonas de cultivo (Tabla 3).

Tabla 3

Caracterización de variedades y zonas de producción

Zona de cultivo	Características varietales	Variedades
Norte	Cáscara clara, pulpa crema, alto contenido de materia seca.	INIAP-Gabriela, INIAP-Esperanza, INIAP-María, INIAP-Fripapa, INIAP-Estela, Superchola, Yema de huevo Chaucha, Chola, ICA-Capiro, Ormus, Carolina y Libertad.
Centro	Cáscaras de tipo rosado, pulpa amarilla, alto contenido de materia seca.	INIAP-Santa Catalina, INIAP-Esperanza, INIAP-Gabriela, INIAP-María, INIAP-Rosita, INIAP-Santa Isabel, INIAP-Fripapa 99, INIAP-Cecilia, INIAP-Natividad, INIAP-Suprema, INIAP-Estela, Superchola, Chola, Uvilla, Yema de huevo, Leona, Carolina, Libertad, ICA-Unica.
Sur	Cáscaras claras, formas esféricas, pulpa amarillo crema, con un alto contenido de materia seca.	INIAP-Santa Catalina, INIAP-Gabriela, INIAP-Esperanza, INIAP-Soledad Cañari, INIAP-Santa Ana, Uvilla, Bolona.

Fuente: Toledo y Albuja (2013).

2.1.6 Variedad Super Chola

Se obtuvo en la provincia del Carchi en la comunidad de San Gabriel al cruzar Curipamba negra x *Solanum demissum* (clon resistente con comida amarilla x chola seleccionada). Se utiliza para el consumo en fresco en sopas o purés y en la industria para producir hojuelas y papas fritas (Torres, Cuesta, Monteros, & Rivadeneira, 2011). Se adapta a climas templados-fríos con alturas de 2800 a 3600 msnm, se cultiva en la región norte de la Sierra en el callejón interandino. Tiene una maduración semi-tardía a los 180 d y un periodo de dormancia de 80 d. Se recomienda una densidad de siembra de 1.0 a 1.2 t/ha de semilla certificada, 1.2 m entre surcos, 0.3-0.4 m entre plantas, para una productividad de 30 t/ha. Es susceptible a los hongos *Phytophthora infestans*, tiene cierta resistencia a *Puccinia pittieriana* y tolerante al nematodo *Globodera pallida* (Pumisacho & Velásquez, 2009; Torres, Cuesta, Monteros, & Rivadeneira, 2011).

Se caracteriza por presentar un crecimiento erecto. Los tallos son pubescentes, bien desarrollados, numerosos y de color verde con pigmentaciones púrpuras. El follaje es de coloración verde intensa con 9 folíolos, presenta hojas medianas y con rápido desarrollo lo que genera una buena cobertura del terreno. La floración no es abundante, se da sobre el follaje y presenta pedúnculos largos de color morado (Torres, Cuesta, Monteros, & Rivadeneira, 2011). Los tubérculos generalmente presentan formas ovaladas con el peridermo con coloración y liso con coloraciones crema en los nudos, la carne o pulpa es de color amarillo pálido sin pigmentaciones, con un 24 por ciento de materia seca (Torres, Cuesta, Monteros, & Rivadeneira, 2011).

2.1.7 Análisis foliares

El análisis foliar o de tejido vegetal determina el contenido de nutrientes en una parte de la planta que por lo general es la hoja para reflejar el estado nutricional de la planta. Este tiene una relación directa con la fertilidad del suelo. Debido a esto el análisis foliar permite determinar las el estado y necesidades nutricionales del cultivo y establecer si el suelo abastece dicha necesidad (Kaiser, Lamb, & Rosen, 2013; Fallas & Bertsch, 2014). Mediante su uso, se establece deficiencias nutricionales al comparar valores del análisis con valores referenciales de la literatura. También se compara con datos de plantaciones que tengan buenos indicadores productivos. El análisis foliar revela la cantidad de nutrientes absorbidos por la planta, porque se basa en el concepto de que la planta en este caso las hojas son la manera más eficiente de determinar la fertilidad y absorción de nutrientes en el suelo (Kaiser, Lamb, & Rosen, 2013; Fallas & Bertsch, 2014).

Los análisis foliares usados de manera adecuada y eficiente son una herramienta eficaz para planificar y monitorear proyectos agronómicos. Este tipo de análisis se utiliza para diagnosticar problemas nutricionales cuando existe una baja tasa de crecimiento o desarrollo del cultivo. También es importante para verificar la respuesta de los cultivos a la adición de fertilizantes, formular enmiendas o corregir deficiencias de nutrientes y estimular el crecimiento de las plantas. Es decir, permite evaluar la absorción de los fertilizantes aplicados y buscar el equilibrio de los nutrientes en la planta (Brockley, 2001; Fallas & Bertsch, 2014). La interpretación de los análisis foliares se realiza comparando los resultados obtenidos en el laboratorio con los valores referenciales de cada nutriente del cultivo que se maneja. Al realizar esta comparación se obtienen diferentes estados nutricionales o categorías de acuerdo con el contenido de nutrientes en el tejido vegetal (Correndo & García, 2012) (Figura 1).

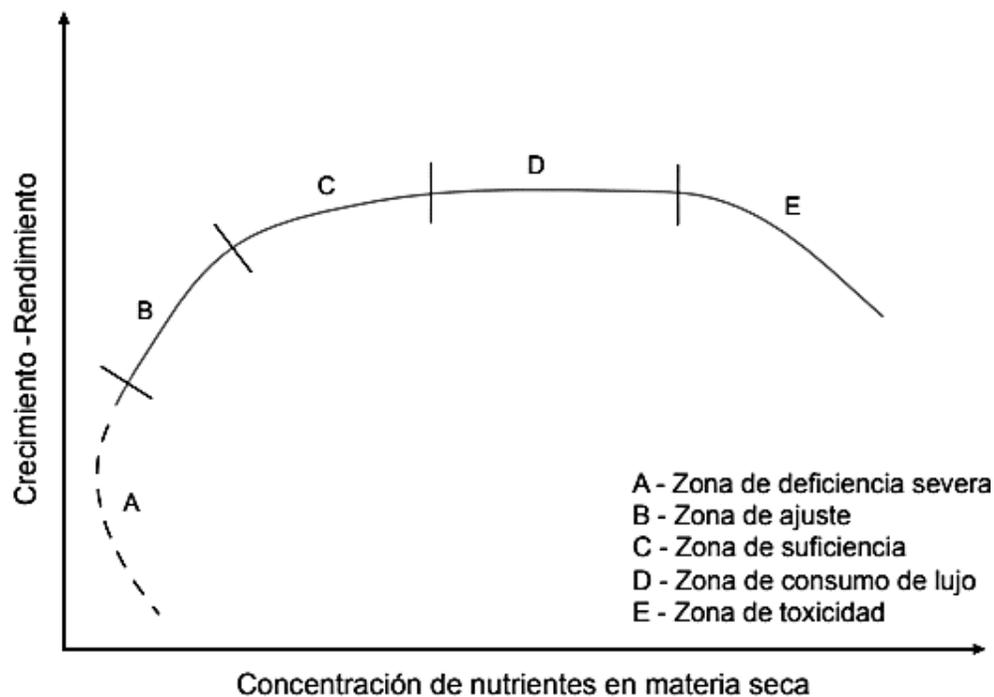


Figura 1 Relación general entre el crecimiento y/o rendimiento y el contenido de nutrientes en tejido vegetal. Fuente: Correndo y García (2012).

La zona de deficiencia severa se caracteriza por una disminución de nutrientes en el tejido vegetal debido al aumento de la producción de la planta. Esto ocurre cuando la producción de materia seca de la planta supera la velocidad de absorción o el transporte de nutrientes hacia el tejido foliar, provocando que este se diluya o se movilice reduciendo su concentración en la hoja (Torri, 2015; Correndo & García, 2012). La zona de ajuste existe una relación lineal entre el contenido de nutrientes y el crecimiento o producción. Es decir, la producción o crecimiento de la planta es proporcional a la acumulación de nutrientes en la hoja (Correndo & García, 2012). La zona de suficiencia, esta se define como la zona entre el nivel crítico en el cual si un nutriente disminuye se reduciría la producción y la concentración del nutriente el cual produciría toxicidad. Esta es la zona optima en donde ningún elemento es limitante para obtener una óptima producción (Torri, 2015; Correndo & García, 2012). La zona de consumo de lujo o alto, en este caso la concentración de nutrientes en la hoja aumenta, pero la producción se mantiene, lo que indica que hay un desperdicio del nutriente. También depende del nutriente porque elementos como el K pueden acumularse en mayor cantidad, mientras que en otros esta zona es mucho más pequeña (Torri, 2015; Correndo & García, 2012). Por último, la zona de toxicidad o exceso. La concentración del nutriente sigue aumentando en la hoja, pero en este caso ya se ve afectada la producción, debido a la que el nutriente genera una toxicidad o produce desbalances entre los distintos elementos en la planta (Correndo & García, 2012).

2.1.8 Análisis de tubérculos

El análisis de tubérculos determina el contenido total de elementos en el tubérculo y permite optimizar el manejo de fertilizantes o evaluar distintas metodologías aplicadas al cultivo. También puede ser usado como un indicador de la eficiencia de la translocación de elementos en

la planta (Bhandari, 2018; Hochmuth, 2018). Además, permite identificar si el cultivo presentó deficiencias de nutrientes durante su etapa de desarrollo, porque reflejará el estado nutricional de la planta, para comparar los resultados obtenidos con diferentes tratamientos o técnicas de fertilización (Bhandari, 2018).

Este tipo de análisis involucran una serie de procedimientos de laboratorio que consisten en una preparación preliminar donde la muestra es secada, molida y mezclada. Una vez homogeneizada la muestra pasa por un proceso de destrucción de la MO, mediante el uso de ácidos fuertes o altas temperaturas. Los residuos generados serán analizados para establecer el contenido de nutrientes en la muestra vegetal (Bhandari, 2018; Hochmuth, 2018).

Los resultados del análisis deberán ser comparados con los rangos óptimos de concentración de elementos en el tubérculo. Mediante esta comparación se establece deficiencias de nutrientes en el tubérculo, lo que mostraría poca disponibilidad de nutrientes en el suelo o problemas con su absorción y distribución en la planta (Porrás, Burgos, Sosa, & Zum, 2014; Bhandari, 2018). Por último, el uso más común de este tipo de análisis es la comparación entre tratamientos en un experimento. En el cual se verifica que tratamiento alcanzó una mayor concentración de nutrientes, permitiendo establecer la metodología óptima para su cultivo (Porrás, Burgos, Sosa, & Zum, 2014; Bhandari, 2018).

2.1.9 Producción

Al ser el fin de todo tipo de proyecto agrícola, la producción es el parámetro más importante. porque de este depende el éxito del proyecto. Además, permite tomar decisiones al productor sobre los insumos o factores que fueron usados en el cultivo. El mercado de papa fresca es

exigente en lo referente al tamaño, forma y apariencia del tubérculo por lo que es importante revisar de forma periódica su desarrollo para la cosecha (Johnson, 2008).

La productividad total de la papa se mide al retirar los tubérculos del suelo y obtener su peso fresco. Para el año 2018 según el Informe de rendimientos objetivos de papa en el Ecuador 2018 realizado por el MAGAP el promedio nacional fue de 16.28 t/ha. El cual es un rendimiento bajo comprado con otros países de la región.

Al realizar la cosecha se deben clasificar los tubérculos de acuerdo con su tamaño y medida porque de estas características dependerá el precio de la papa, se debe tener en cuenta que esta clasificación se debe realizar de acuerdo con el mercado de destino. Se han establecido ciertas dimensiones y medidas para que los tubérculos se cataloguen dentro de las tres categorías preestablecidas (Pumisacho & Sherwood, 2002; Basantes E. , 2015).

Tabla 4

Categorías de la papa de acuerdo con el peso y medida.

Categoría	Peso	Medida
I: comercial	>120 g	>80 mm
II: comercial	60-120 g	40-80 mm
III: no comercial	< 60 g	< 40 mm

Fuente: Montesdeoca (2005).

2.2 El fósforo

El P es un elemento que no se puede sustituir en la planta ya que sus funciones no pueden realizarse por otro, por lo que es considerado uno de los 17 nutrientes esenciales para las plantas. La concentración de P en las plantas varía de 0.05 a 0.5% del peso total seco y aunque en el suelo puede estar en concentraciones 2000 veces mayores, la fijación en forma de $AlPO_4$, $FePO_4$, $Ca_3(PO_4)_2$, $Mg_3(PO_4)_2$ hace que no se encuentre disponible para las plantas (Vhuthu, 2017). Además, desempeña un importante papel en diversos procesos celulares, ayuda en el

mantenimiento de las estructuras de membrana, en la síntesis de moléculas de alta energía y biomoléculas. Además, participa en la división y desarrollo celular. Tiene gran influencia en la fotosíntesis, en la respiración, en el metabolismo de los carbohidratos y en la activación e inactivación de enzimas. El P es un componente importante de los compuestos energéticos como el ATP, CTP (citidina), GTP, UTP (uridina), entre otros. Por lo tanto, suministra energía para llevar a cabo varios procesos endergónicos celulares. Es un componente de los ácidos nucleicos, por lo que es esencial para la síntesis de proteínas y transferencia génica. En la planta el P estimula la germinación de las semillas, el desarrollo de las raíces y el tallo. Es importante para la formación de flores y semillas, también, mejora la productividad y la calidad de los cultivos. Por lo tanto, el P es esencial en todas las etapas del cultivo (Falten, Tomaszewicz, & Sheppard, 2001; Vhuthu N. , 2017; Malhotra, Vandana, Sharma, & Pandey, 2018).

La tuberización depende de sistemas biológicos; el P debe ser disponible en el suelo y el clima favorable para su asimilación. Diversos estudios han demostrado que el número de tubérculos tiene una correlación positiva con la concentración de P en el cultivo de papa. La fertilización con P tuvo un impacto significativo con el número de tubérculos, debido a un aumento de tubérculos por tallo y no a un aumento de tallos en la planta (Vhuthu N. , 2017)

2.2.1 El fósforo y la calidad de la papa

El P interviene en la calidad de tubérculo porque participa en la división celular, en la síntesis y almacenamiento del almidón, por lo que podría aumentar el tamaño y en contenido de materia seca del tubérculo. Deficiencias de P provocan el aumento de la actividad de la sacarosa sintasa, resultando en una mayor acumulación de azúcares reductores (glucosa y fructosa) en las vacuolas de las células. Además, provocara la acumulación de aminoácidos como la asparagina, lisina,

arginina, glutamina y prolina. La acumulación de azúcares reductores y asparagina se vuelven un problema para la industria porque al calentarse a temperaturas mayores a 120 °C reaccionan y producen acrilamida, que es una neurotoxina para el ser humano y está clasificada como probable carcinógeno. Esto ha provocado una gran preocupación sobre los posibles efectos sobre la salud de los consumidores de estos productos (QingLi X. , Scanlon, Liu, & Coleman, 2006; Halford, Curtis, Muttucumaru, & Postles, 2012; Aliaga, Velásquez, Amaya, & Sichea, 2016).

Un adecuado suministro de P previene la decoloración del tubérculo y aumenta la concentración de almidón. Además, tiene un efecto positivo en la expansión celular y en la producción de ácido ascórbico. La baja disponibilidad de P reduce la vida útil del tubérculo después de la cosecha. Esta deficiencia reduce el tamaño, la productividad, la calidad del tubérculo (Malhotra, Vandana, Sharma, & Pandey, 2018).

En el Ecuador la papa carece de un precio fijo y tiene gran variabilidad, esta depende del tipo de papa y también del lugar donde se la comercialice. Existen precios diferentes para la misma variedad en diferentes lugares del país, según datos del MAG en 2019 se encontraron diferencias en los precios de hasta 25 US\$/saco (45 kg) para la variedad super chola en diferentes ciudades del país en una misma semana. Los datos del 2019 obtenidos en el SIPA registran precios de venta menores a 10 US\$/saco lo que no cubriría los costos de producción que llegan a ser de hasta 12 US\$/saco. Esto genera grandes problemas a los agricultores porque estas variaciones no son homogéneas y son poco predecibles y repercute en la cadena productiva de la papa. Debido a esto y a problemas fitosanitarios, en el país se observó una reducción de la superficie cultivada con respecto al 2018.

2.3 Hongos formadores de micorrizas

2.3.1 Generalidades

El termino micorriza es usado para describir el proceso simbiótico que se genera al existir una infección de las hifas de hongos en las raíces de las plantas, esta simbiosis presenta grandes beneficios para las dos partes ya que se da un intercambio de sustancias que necesitan para su desarrollo. Las plantas se benefician de los hongos ya que estos sirven como nexo entre las raíces de las plantas y el suelo y lo proveen de un mayor volumen de exploración y de una mejor adquisición de nutrientes como el P. los hongos también producen exudados capaces de modificar y mejorar las condiciones físicas y biológicas del suelo por lo que son una herramienta ideal para la conservación de suelos. Los hongos obtienen los carbohidratos necesarios de la planta para realizar todas sus actividades metabólicas (Camargo & Ricalde, 2012; Siemering & Ruark, 2016).

Se cree que esta asociación apareció hace 400 millones de años en el periodo Silúrico junto con la aparición de las primeras plantas terrestres, pero se han encontrado restos arqueológicos de 460 millones de años que demuestran que esta simbiosis hubiera permitido la colonización de plantas acuáticas en tierra al proveerlas de un ambiente adecuado asegurando su supervivencia (Honrubia, 2009; Andrade, 2010; Siemering & Ruark, 2016).

2.3.2 Importancia en los cultivos

Es indispensable el manejo de micorrizas en la búsqueda de producciones sostenibles porque se ha demostrado que la aplicación de micorrizas en el suelo ha reducido el uso de productos químicos hasta en un 75% en cultivos como la malanga y hasta un 25% en papa obteniendo producciones adecuadas. Esto sumado a la acción de otros microorganismos benéficos podría

reducir más el uso de agroquímicos, lo que beneficiará en la conservación ambiental evitando daños en la salud de los agricultores y degradación del suelo, aportando en los objetivos de una agricultura sostenible (Rivera, Ruiz, & Fernández, 2006; Douds & Nagahashi, 2007).

El elevado uso de fertilizantes ha reducido la población de hongos nativos debido a las malas prácticas agrícolas como la fumigación y fertilización excesiva a la que son sometidos estos cultivos y los terrenos dedicados a la producción de este tubérculo. El inóculo de micorrizas generará beneficios económicos evidentes, porque se obtendrá una producción más uniforme y acelerada, mejorando la calidad de la cosecha y disminuyendo el uso de fertilizantes y cantidad de agua de riego (Aguilera, Olalde, Arriaga, & Contreras, 2007; Garzón, 2016).

Estos hongos están siendo considerados como una herramienta ideal para el manejo ecológico de los cultivos, porque su uso genera sustentabilidad y sostenibilidad en el suelo al mejorar y mantener sus características. Por lo que se debe aprovechar su capacidad para aumentar la productividad de los cultivos en el campo (Garzón, 2016). Cuando se establece la simbiosis micorrícica se da un intercambio de compuestos entre el hongo y la raíz, y se producen exudados son liberados hacia la rizosfera, esto genera un cambio de la población de microorganismos en la rizósfera, redefiniéndola, porque transfiere compuestos de C, mejora la nutrición del suelo y permite incrementar la actividad microbiana mejorando su fertilidad (Douds & Nagahashi, 2007).

2.3.3 Beneficios nutricionales para el cultivo

La incorporación de iones poco móviles como el P, Zn, Cu y Mo dependen del volumen de suelo que sea explorado por la raíz. Las plantas con infección micorrícica tendrán un mayor acceso a nutrientes debido a que presentan dos vías, una por la raíz y otra por las hifas absorbentes en el suelo. En diversos estudios realizados se ha establecido que 1 cm de raíz puede

contener hasta 300 cm de micelio, lo que aumenta el volumen de la raíz y el acceso a nutrientes (Camarena, 2012; Barrera & Arango, 2015).

El principal beneficio de las micorrizas en la nutrición es la influencia en la absorción del P, debido al gran requerimiento de la planta por este nutriente, por su escasa presencia y poca disponibilidad en la solución del suelo. Estos hongos exploran grandes volúmenes de suelo, donde captan el ortofosfato y lo transportan a la planta. Los hongos tienen la capacidad de almacenar polifosfatos, lo cual permite una transferencia adecuada del P. Se ha comprobado que liberan exudados que tienen una mejor eficiencia en la solubilización del P inorgánico que los exudados liberados por la raíz sola. También liberan fosfatasas ácidas y ácidos orgánicos que solubilizan el P en compuestos orgánicos. Además, generan condiciones adecuadas para que se desarrollen otros microorganismos como bacterias solubilizadoras de P, que lo hacen disponible en el suelo (Karandashov & Bucher, 2005; Guerra, 2007; Willis, Rodrigues, & Harris, 2013).

Se ha probado que, en suelos con bajas concentraciones de P, las plantas son capaces de excretar hacia la rizósfera grandes cantidades de azúcares. Este azúcar es utilizado por las esporas de los hongos micorrícicos para germinar y desarrollar las hifas infectivas. Por lo tanto, la infección micorrícica está mediada por la planta y por la concentración de nutrientes en la solución del suelo (Aguilera, Olalde, Arriaga, & Contreras, 2007).

También existe una mayor absorción de N del suelo por raíces micorrizadas, porque las hifas del hongo pueden absorber, transportar y utilizar el NH_4 . Se ha establecido que las plantas inoculadas con HFMA son capaces de acceder a fuentes de N que son menos disponibles para plantas no micorrizadas. De hecho, se encontró en el micelio extra radical la presencia de un transportador funcional para la captación de alta afinidad de NH_4 (Garzón, 2016). La absorción

de otros nutrientes aparte del P y el N también se ve mejorada y toma mayor relevancia porque existen evidencias de mayor concentración de elementos como K, Ca, Mg, Si, Cu, Zn, B y Fe en plantas inoculadas con HFMA que en los controles, porque las hifas de estos hongos tienen la capacidad de absorber y translocar estos elementos de la solución del suelo (Aguilera, Olalde, Arriaga, & Contreras, 2007).

2.3.4 Beneficios fitosanitarios para el cultivo

Se ha probado el efecto benéfico de las micorrizas para el control de patógenos como *Fusarium*, *Pythium*, *Phytophthora* y *Rhizoctonia*, *Meloidogyne* y algunas bacterias patógenas del género *Pseudomonas* como *P. syringae*, *P. tolaasii* y *P. agarici* en algunos cultivos. Se han usado microorganismos combinados (*Glomus* y *Trichoderma*) para el control de *Fusarium oxysporum* y *Rhizoctonia solani*. Estudios demostraron la eficacia en el control de nematodos *Meloidogyne*, a través el uso combinado de micorrizas con *Pseudomonas fluorescens* o *Pseudomonas putida*. Este mecanismo se conoce como control biológico y es una herramienta ideal para reducir las aplicaciones químicas en el campo (Carreón, Gómez, & Martínez, 2008; Amer & Seoud, 2008; Orrico, Ulloa, & Medina, 2013; Ramírez, Ulloa, & Medina, 2013).

Las micorrizas son capaces de generar un control de patógenos en plantas mediadas por varios mecanismos. Al proveer un mayor acceso a nutrientes las plantas son capaces de resistir el ataque de patógenos. También se genera un control por competencia entre el patógeno y los HFMA por los lugares de infección en la raíz. El desarrollo de la infección micorrízica genera cambios anatómicos y fisiológicos en las plantas. Estas alteraciones son una barrera natural para contrarrestar el ataque de patógenos, por lo que la probabilidad de contraer una enfermedad se reduce al activarse los mecanismos de defensa de las plantas (Jung, Martinez, Lopez, & Pozo,

2012). A continuación, se presentan los mecanismos de los HFMA para el control de patógenos de las plantas (Figura 2).

Acciones potenciales	Descripción
Competencia o Inhibición directa	Competencia por: -fotosintatos o C en la raíz. -Exudados externos de la raíz. - Sitios de infección o los espacios de la raíz. -Calidad y cantidad de exudados de raíces o los HMA inhiben a los patógenos. -Interacciones competitivas con los patógenos del suelo. -Abscisión de partes infectadas de la raíz.
Aumento o alteración del crecimiento de las plantas, nutrición y morfología	Incremento en la captación de nutrientes (como el P) -Incremento en los elementos traza, tolerancia a la sequía, decremento de la toxicidad por sales y metales pesados (disminución del estrés abiótico). Alteración de la ramificación y morfología de las raíces. Cambios hormonales (ej. Ácido abscísico, <u>citocininas</u> , etileno).
Cambios bioquímicos asociados con mecanismos de defensa en plantas y resistencia inducida	Compuestos fenólicos y fitoalexinas Niveles de aminoácidos (ej., arginina, prolina). Barreras estructurales internas (ej. ligninas, callosa, hidroxiprolina, <u>glicoproteínas</u>). Proteínas relacionadas con la defensa (ej. proteínas relacionadas con la patogénesis, <u>b1.3 glucanasas</u> , <u>quitosanasas</u> , <u>quitinasas</u> , <u>peroxidasas</u> , <u>fenilalanina amonio liasa</u> , <u>chalcona sintasa</u> , <u>superóxido dismutasa</u>). Incremento en la metilación del ADN.
Desarrollo de microbiota antagonica	Resistencia sistémica inducida. Bacterias, hongos, actinomicetos y algas.

Figura 2 Acciones de los hongos formadores de micorrizas arbusculares para el control de enfermedades Fuente: Carreón et al. (2008).

2.3.5 Especificidad

A pesar de que los HFMA establecen simbiosis con la mayoría de plantas de interés agrícola, hay evidencias que la comunidad de hongos del suelo estimula el crecimiento de determinadas especies de plantas, y estas generan una presión selectiva de la comunidad de HFMA presentes en el suelo (Torrecillas, Alguacil, & Roldán, 2012). Molina y Horton (2015) establecen que los hongos pueden seleccionar los compuestos de carbono de raíces de diferentes plantas. Por lo que la simbiosis tiene la capacidad de influir en la composición del ecosistema. También se ha demostrado que diferentes especies de HFMA tienen la capacidad de influir de manera diferente en el crecimiento y desarrollo de una misma especie de plantas (Sanders, 2002). Lo que demuestra que la especificidad puede ser alta (asociación con una o pocas especies) o baja (asociación con varias especies), Esto sugiere que la especificidad está dada por los procesos coevolutivos que generaron una mejor relación entre especies (Molina & Horton, 2015).

2.3.6 Etapas de desarrollo de las micorrizas

El proceso de desarrollo total de la micorriza va a generar alteraciones morfológicas, fisiológicas y anatómicas en la planta que le permitirán adaptarse a la colonización del hongo. Estos cambios se evidenciarán en la proporción de biomasa entre el tallo y la raíz, cambios en la estructura radical, aumento en el número de cloroplastos, mayor lignificación, cambios enzimáticos y hormonales, que se explican debido a la mejora nutricional de la planta dada por la optimización del proceso de absorción de nutrientes, agua y a cambios metabólicos propios de la interacción fisiológica que se produce en la simbiosis hongo-raíz (Camarena, 2012).

El primer paso en el desarrollo de la interacción micorrícica consiste en el reconocimiento por parte del hongo a la raíz y viceversa, este reconocimiento se da por la presencia de exudados producidos por la raíz que son señales bioquímicas necesarias para la germinación de las esporas del hongo y para la formación del apresorio. Funcionan como un biotropismo positivo hacia la raíz, lo que genera el desarrollo del hongo. La segunda etapa consiste en un acercamiento progresivo seguido por una la unión entre el micelio del hongo y las raíces de la planta produciendo un contacto celular y una estructura que une al hongo con la raíz (Gadkar, Schwartz, Kunik, & Kapulnik, 2001; Camarena, 2012). En una tercera instancia el hongo coloniza los tejidos de la raíz produciendo cambios morfológicos en los tejidos y composición de la misma. La pared celular se reorganiza permitiendo el inicio de una interacción fisiológica entre el hongo y la raíz, a través de actividades enzimáticas que acoplan los procesos metabólicos de los dos organismos (Gadkar, Schwartz, Kunik, & Kapulnik, 2001; Camarena, 2012).

2.3.7 Condiciones de suelo

La presencia de la interacción hongo-raíz en el suelo influye de forma positiva en el control de la erosión y degradación del suelo. Las hifas y raíces realizan un proceso físico donde envuelven a las partículas del suelo haciendo que se unan, este proceso sumado a la producción de exudados provenientes del hongo y la raíz, mantienen unidos a los agregados. Estos exudados favorecen la infiltración del agua y la incorporación de C en el suelo, lo que mejora las condiciones del suelo, permitiendo que se desarrolle la microflora y fauna, recuperando la fertilidad y diversidad natural (Guerra, 2007; Augé, Tims, & Saxton, 2011). Además, los hongos producen una glicoproteína hidrofóbica llamada glomalina, que se encarga de la agregación del suelo, porque sirve como una especie de pegamento mucilaginoso para que las partículas del suelo se unan, haciéndolo estable al agua y evitando la erosión, también permite la colonización del microbiota del suelo mejorando su fertilidad (Willis, Rodrigues, & Harris, 2013).

2.3.8 Micorrizas vesículo arbusculares

Deben su nombre a que ellas son capaces de generar arbuscúlos y vesículas en el interior de las células de las plantas, por lo que son catalogadas como endomicorrizas ya que penetran las células de la raíz. Estos hongos tienen una asociación obligada por lo que no puede completar su ciclo de vida sin la presencia de un hospedero. Pero las plantas son capaces de desarrollarse normalmente sin la presencia de estos hongos en el suelo. Se ha encontrado esta simbiosis en cerca del 80% de plantas de casi todas las familias, aunque la especificidad de los hongos es baja en su mayoría se encontró que ciertas especies de hongos y plantas tienen preferencia entre ellos (Aguilera, Olalde, Arriaga, & Contreras, 2007; Willis, Rodrigues, & Harris, 2013).

Los HFMA pertenecen al Phylum Glomeromycota de la clase Zigomicetes. Presentan crecimiento inter e intracelular, con reproducción asexual por clamidosporas y micelio. No son exigentes a requerimientos ambientales y son capaces de absorber elementos poco móviles como P, Zn y Cu facilitando la nutrición de las plantas. Estos hongos forman tres estructuras llamadas arbusculos, vesículas e hifas, con ellas generan una unión física entre el suelo y la raíz de la planta (Aguilera, Olalde, Arriaga, & Contreras, 2007; Willis, Rodrigues, & Harris, 2013).

2.3.9 Estructuras del hongo

Al germinar las esporas del hongo se forman hifas que penetran la raíz formando un apresorio en el parénquima cortical. Una vez penetrada la epidermis mediante la presión ejercida por la hifa, la pared celular se hace mucho más delgada, esto genera la colonización del hongo a lo largo de la corteza. Las hifas no penetran tejidos vasculares, endodermis, meristemas o partes viejas de la raíz. Existen hifas infectivas que crecen fuera de la raíz, lo que ayuda a generar otros puntos de acceso acelerando la infección. También se encuentran hifas absorbentes que se extienden en el suelo para captar nutrientes e hifas fértiles que se encargan de la producción de las esporas (Aguilera, Olalde, Arriaga, & Contreras, 2007; Andrade, 2010).

Los arbusculos se originan cerca del cilindro vascular de la planta. Esta estructura se origina por la ramificación dicotómica de las hifas y la membrana citoplasmática de las células corticales lo rodea produciendo una invaginación, sin atravesarla. Esto genera gran superficie de contacto y permite transmitir los nutrientes desde la planta hacia el hongo y viceversa. Presentan un tiempo corto de vida por lo que su presencia muestra el intercambio de sustancias a través de la membrana (Andrade, 2010). Las vesículas se forman en el extremo terminal de las hifas, dentro del espacio intercelular de la corteza y se distribuyen a lo largo de todo el parénquima cortical de

la raíz. Estas estructuras se forman después de los arbusculos como reserva de nutrientes para el hongo (Aguilera, Olalde, Arriaga, & Contreras, 2007; Andrade, 2010).

2.3.10 Efecto de la fertilización sobre el desarrollo de los HFMA

La simbiosis establecida entre los HFMA y las plantas es una de las más comunes, extensas e importantes, debido a todos los beneficios que presentan. Lo que hace de gran importancia para conseguir una agricultura sostenible entender de la respuesta de los hongos a la aplicación de fertilizantes en el suelo (Linderman & Davis, 2004; Zhu, et al., 2016).

La germinación, infección y posterior función de las micorrizas arbusculares (MA) es afectada por el nivel de fertilidad, el contenido de MO y por los fertilizantes aplicados al suelo. De todos los factores que afectan el desarrollo de la MA, el nivel de fertilizante es uno de los más importantes. Porque se ha demostrado la susceptibilidad que tienen los HFMA a altas concentraciones de fertilizante en el suelo (Linderman & Davis, 2004; Zhu, et al., 2016). El principal elemento que va a influir en la colonización de los HFMA es el P. Estudios demuestran que la colonización de HFMA disminuyo en gran escala o fue inhibida al aplicar al suelo fertilizantes inorgánicos con alto contenido de P, mientras que al usar este tipo de fertilizantes con bajo contenido de P la colonización disminuye, pero nunca se ve inhibida (Linderman & Davis, 2004; Zhu, et al., 2016).

Una fertilización equilibrada (NPK), generó cambios en la comunidad microbiana del suelo e hizo más eficiente el metabolismo de los microorganismos debido al aumento de la disponibilidad de nutrientes. Lo que generaría un suelo más dinámico y eficiente, aumentando la productividad. Por otro lado, el inapropiado uso de fertilizantes químicos llevará a problemas ambientales y degradación del suelo (Zhu, et al., 2016). Es importante tener en cuenta el tipo y la

cantidad de fertilizante que se debe aplicar para estimular el desarrollo y el correcto funcionamiento de esta simbiosis. Es necesario conocer la fuente y el patrón de liberación de los fertilizantes, porque cuando se usan fertilizantes solubles, las formulaciones altas en P inhiben la formación de MA (Zhu, et al., 2016).

Se ha visto un aumento en la colonización micorrízica al usar fertilizantes orgánicos no tóxicos para los HFMA. La liberación de nutrientes en estos fertilizantes favorece el desarrollo y colonización de los HFMA, por lo que sería una buena alternativa para promover el desarrollo de micorrizas en el suelo (Linderman & Davis, 2004; Zhu, et al., 2016).

2.3.11 Inoculante de hongos formadores de micorrizas

Contiene propágulos de HFMA de la especie *Glomus iranicum* var. *Tenuihyarum* en un sustrato mineral arcilloso, con concentración de 1.2×10^4 propágulos /100 ml, según el método del número más probable. Debe ser disuelto en agua y agitar de forma constante para evitar sedimentación. La aplicación realiza en el sistema de riego o mediante bombas o regaderas. Es importante aplicarlo en la zona de influencia de las raíces de la planta. Con una dosis de 3 a 5 kg/ha en la siembra, pero dependiendo del cultivo y del método de siembra.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Tipo de investigación

Se realizó una investigación experimental de campo. En ella se utilizaron dos factores y mediante procesos estadísticos se verificó si tuvieron un efecto sobre las variables de respuesta.

3.2 Lugar de la investigación

3.2.1 Ubicación política

Provincia: Imbabura
Cantón: Antonio Ante
Parroquia: San Roque
Sector: El Cerotal

3.2.2 Ubicación geográfica

Latitud: 0°17'32.3"N
Longitud: 78°13'36.3"W

3.2.3 Ubicación ecológica

Altitud: 2650 msnm
Temperatura media: 14 °C
Precipitación anual: 1250 mm
Zona ecológica: Bosque seco Montano Bajo (GAD Antonio Ante, 2012)
Región: Seco temperado

3.3 Precipitación y temperatura

Los datos climáticos de todo el ciclo del cultivo se obtuvieron de la estación meteorológica M0105 del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INIAMI). La estación está ubicada en la provincia de Imbabura, cantón Otavalo en la longitud 78°15'0" O y latitud 0°14'36" N, y a una altitud de 2250 msnm.

3.4 Análisis inicial de suelo

Para determinar la fertilidad del suelo se realizó un muestreo antes de establecer el ensayo. Se tomaron 20 submuestras de todo el lote con un barreno a 20 cm de profundidad. Se mezcló todo el suelo para tener una muestra homogénea y se envió 1 kg de esta muestra al laboratorio. El proceso de preparación de la muestra consistió en secar la muestra, que luego se tamiza para excluir las partículas de gran tamaño (como rocas) y desmenuzar los terrones del suelo. Una vez homogeneizada la muestra se la dividió de acuerdo con la cantidad necesaria para medir los parámetros necesarios. El pH se midió en H₂O y KCl utilizando el método de volumen 1:2. La conductividad eléctrica se obtuvo en extracto de H₂O con el método de volumen 1:2. Para el contenido de NH₄, K, Ca y t se realizó la extracción con NaCl 0.05 M. La extracción de Fe, Mn, Zn y Cu se realizó con ácido dietilentriaminopenta acético (DTPA). Para la extracción del P se utilizó el método Olsen con NaHCO₃ 0.5 M y para el NO₃, SO₄, Na, Cl y B se realizó el extracto en H₂O (Carter & Gregorich, 2008; Estefan, Sommer, & Ryan, 2013).

3.5 Materiales y métodos

3.5.1 Material experimental

- ✓ Semilla de papa variedad Super chola.
- ✓ Hongos formadores de micorrizas.
- ✓ Fosfato diamónico (DAP) 18N-46P₂O₅-0K₂O

3.5.2 Material complementario

- ✓ Agroquímicos (Pesticidas y fungicidas).
- ✓ Fertilizantes químicos de tipo granular (Urea 46N, Muriato de K al 60K₂O, Sulfato de magnesio [KIESERITA] 25MgO-20S, Sulfato de K al 52K₂O, Nitrato de Ca al 15N-25CaO, Nitrato de NH₄ al 34N, Sulfato de Zn pentahidratado 12S-25Zn y Bórax pentahidratado 15B)

3.5.3 Pruebas de laboratorio

- ✓ Análisis foliares.
- ✓ Análisis de tubérculos.

3.5.4 Diseño experimental y factores y tratamientos

Se empleó un diseño en parcela dividida en un arreglo de bloques completos al azar con tres repeticiones. Los factores empleados corresponden a la inoculación de hongos formadores de micorrizas como parcela grande y tres niveles de P como parcela pequeña. Se utilizaron dos factores: a) hongos formadores de micorrizas y b) fertilización con P. En el caso de los Hongos Formadores de micorrizas se tuvieron dos niveles, Para la fertilización con P, se utilizaron tres niveles.

Tabla 5

Especificación de tratamientos, sus componentes, tipo de fertilización y presencia o ausencia de hongos formadores de micorrizas arbusculares en la siembra.

Tratamiento	P	Cantidad P₂O₅	HFMA	
T1	P1	fertilización convencional	70 kg/ha	Si
T2	P2	100% según análisis de suelo	90 kg/ha	Si
T3	P3	50% según análisis de suelo	45 kg/ha	Si
T4	P1	fertilización convencional	70 kg/ha	No
T5	P2	100% según análisis de suelo	90 kg/ha	No
T6	P3	50% según análisis de suelo	45 kg/ha	No

3.5.5 Características de la unidad experimental

Número total:	18
Surcos por parcela:	3
Dimensiones del surco:	(1.20x35) m
Distancia entre plantas:	0.35 m
Semilla por sitio:	1-2
Área por parcela:	126m ² (3.6 x 35) m
Área neta de las UE:	76.8 m ²
Área del ensayo:	2268 m ²

3.6 Variables medidas y metodología de la recolección de datos

3.6.1 Contenido foliar de nutrientes

Para establecer el contenido foliar de nutrientes se realizó un muestreo de hojas al inicio de la floración del cultivo (60 d después de la siembra), en el que se muestrearon hojas maduras con pecíolo y limbo. Se tomaron 20 hojas en cada parcela (150 - 200 g) de forma aleatoria, entre la tercera y sexta hoja desde el punto del ápice y por debajo de los racimos florales; estas se

guardaron en fundas de papel y enviaron al laboratorio (Correndo & García, 2012). La preparación de la muestra en el laboratorio consistió en secar las muestras en la estufa, para luego ser molidas y tamizadas en la malla de 2 mm de diámetro. Con la muestra ya homogeneizada se tomaron 70 g por para realizar los análisis de nutrientes (Valverde & Alvarado, 2017). Esto se realizó con el método de digestión húmeda con el uso de HNO_3 y HClO_4 .

3.6.2 Producción

Se estimó la producción (t/ha) luego de cosechar un área útil de cada unidad experimental. La clasificación de los tubérculos se realizó de acuerdo con el peso. Se obtuvo la producción de papa comercial tomando en cuenta las categorías I y II. Se utilizó el contenido de humedad y materia seca de los tubérculos para verificar su calidad, también se debe verificar daños o defectos externos tales como grietas, crecimiento secundario y verrugas. Se observaron problemas internos como corazón hueco, manchas negras, necrosis por calor y podredumbre, para lo cual se tomaron 10 tubérculos comerciales, a los cuales se los cortará de forma transversal para verificar estos daños y calcular el porcentaje de daño (Porrás & Burgos, 2006).

3.6.3 Acumulación de nutrientes en el tubérculo

La toma de muestras de tubérculos se realizó en la cosecha; se colectaron entre 7 a 10 tubérculos grandes de forma aleatoria por cada unidad experimental. La colecta se realizó de forma cuidadosa evitando dañar los tubérculos. Se enviaron las muestras al laboratorio donde el proceso de análisis es similar a las muestras foliares (Porrás, Burgos, Sosa, & Zum, 2014).

3.6.4 Calidad de la papa

Esta fue una prueba exploratoria para la cual se tomó una muestra compuesta de todo el ensayo. Para ello se cortaron en hojuelas varios tubérculos. Las hojuelas se frieron y luego del

proceso de fritura se contabilizó los daños. Estos daños se clasifican en: a) Externos o quemaduras en los bordes de la hojuela, b) Internos o quemaduras en la parte interna de la hojuela, c) Indeseables o cuando la hojuela tiene al mismo tiempo daños externos e internos, (Mendoza, Dejmek, & Aguilera, 2007).

3.7 Análisis estadístico

Las variables se evaluaron mediante un análisis de la varianza (ANDEVA) con el paquete estadístico SAS^{9.3} (SAS Institute, 2009), mediante el procedimiento PROC MIXED (Tabla, 6). Para realizar el ANDEVA, los tratamientos de P y micorrizas se consideraron fijos, mientras que los bloques fueron aleatorios. Para establecer diferencias entre los tratamientos se utilizó la opción DIFF de SAS. Las diferencias fueron significativas con un $P \leq 0.10$, según diferencia mínima significativa la (LSD), por lo que el esquema del análisis de varianza fue:

Tabla 6

Esquema del análisis de varianza.

Fuentes de variación	Grados de libertad
M (micorrizas)	1
Error M	2
P(P)	2
MxP	2
Error P	10
Total	17

3.8 Correlaciones

Mediante el análisis estadístico se realizó la correlación de las variables para establecer si tuvieron o no un efecto sobre la respuesta productiva de la papa. Se realizaron correlaciones entre: la concentración de P en el follaje y la productividad, la concentración de P en el tubérculo y la productividad, y entre la concentración de P en el follaje y el tubérculo.

3.9 Análisis económico

Se realizó un análisis de costo beneficio, teniendo en cuenta los costos variables de producción y beneficios que se obtienen en cada uno de los tratamientos aplicados. Este análisis permitió conocer si las alternativas propuestas son más viables en términos económicos que la actual y seleccionar la alternativa tecnológica económicamente rentable para el productor.

3.10 Métodos específicos de manejo del experimento

Preparación del suelo. - Se realizó la preparación del suelo de forma mecánica previo a la siembra mediante arada y rastra para homogeneizar el suelo y dar las condiciones óptimas para la siembra. El surcado se realizó un día antes de la siembra con la ayuda del tractor calibrado para obtener surcos de 1.2 m de ancho. Para contrarrestar el pH ácido (ver resultados de análisis inicial de suelo) se aplicó 750 kg/ha de CaCO_3 (Cal agrícola). Esta aplicación además aporta 25 kg/ha de Ca, que correspondería al 10% de Ca necesario para el cultivo. El suelo presentó alta deficiencia para el K y Ca, que por el costo no es viable corregirla en un solo ciclo de cultivo por lo que se añadió el 20% de la deficiencia de K y el 5% de la del Ca.

Desinfección de la semilla. - La desinfección de la semilla se realizó previo a la siembra mediante el uso de carboxim + Thiram, el cual es un fungicida sistémico y protectante. Se utilizó una dosis de 500 g/100 L de agua, la aplicación se realizó mediante inmersión de los tubérculos en la solución por cinco minutos.

Siembra. -La siembra se realizó el día 07 de Julio de 2018. Se colocaron entre 1 y 2 semillas por sitio dependiendo del calibre y con una distancia de 35 cm entre ellas, por lo que se obtuvo una densidad de siembra de 23714 plantas/ha.

Fertilización. -Mediante el análisis inicial del suelo se estableció requerimiento total de nutrientes para todo el ciclo del cultivo (250 kg/ha de N, 90 kg/ha de P₂O₅, 390 kg/ha de K₂O, 90 kg/ha de CaO, 50 kg/ha de Mg, 55 kg/ha de S, 6 kg/ha de Zn y 4 kg/ha de B.) y fue calculado para una producción de 35 t/ha (para suelos alto Andinos: 200 kg/ha de N, 400 kg/ha de P, 290 kg/ha de K, 60 kg/ha de Ca, 30 kg/ha de Mg, 25 kg/ha de S, 6 kg/ha de Zn y 4 kg/ha de B). El requerimiento total de fertilización se calculó sumando el requerimiento de producción más la deficiencia que presentó el suelo (50, 0, 180, 630, 0 y 20 kg/ha de N, P, K, Ca, Mg y S, respectivamente). La fertilización se dividió en cuatro aplicaciones teniendo en cuenta las necesidades que presentó el cultivo de acuerdo con su etapa de desarrollo (Tabla 7).

Riego. - El riego se realizó por gravedad una vez a la semana entre los meses de julio y octubre. En los meses siguientes se presentaron condiciones de humedad suficientes, por lo que no fue necesario realizar riego.

Retape. - Este procedimiento se realizó junto con la primera fertilización 21 días después de la siembra, con el objetivo de incorporar el fertilizante al suelo y realizar un control oportuno de malezas.

Aporques. - Se realizaron dos aporques en el ciclo del cultivo, el primero a los 45 días junto con la segunda fertilización y el segundo a los 60 días después de la siembra con la tercera fertilización.

Manejo fitosanitario. - Se realizaron controles para hongos y plagas del cultivo de acuerdo con las necesidades que se presentaron y de acuerdo con las condiciones ambientales (Tabla 8).

Cosecha. -Se extrajeron los tubérculos de forma manual de una sección de las parcelas (5 m de largo de cada surco), los tubérculos fueron clasificados según su categoría y pesados. Se colectó una muestra de cada parcela para ser enviada al laboratorio para su análisis.

Tabla 7*Numero de aplicación, fecha, fertilizante y cantidad aplicada en el cultivo*

Aplicación	Fecha	Fertilizantes	Cantidad (kg/ha)
1	28-jul-19	Fosfato diamónico (DAP) 18N-46P2O5-0K2O	
		P1(Fertilización convencional)	35
		P2 (100% según análisis de suelo)	45
		P3 (50% según análisis de suelo)	22.5
		Urea 46N	50
2	21-ago-19	Fosfato diamónico (DAP) 18N-46P2O5-0K2O	
		P1(Fertilización convencional)	35
		P2 (100% según análisis de suelo)	45
		P3 (50% según análisis de suelo)	22.5
		Urea 46N	70
		Muriato de K 60K2O	150
3	05-sep-19	Urea 46N	100
		Muriato de K 60K2O	250
		Sulfato de magnesio (KIESERITA) 25MgO-20S	100
		Nitrato de Ca 15N-25CaO	160
4	20-sep-19	Muriato de K 60K2O	300
		Sulfato de magnesio (KIESERITA) 25MgO-20S	100
		Sulfato de K 52K2O	80
		Nitrato de Ca 15N-25CaO	200
		Nitrato de amonio 34N	180
		Sulfato de zinc pentahidratado 12S-25Zn	25
		Bórax pentahidratado 15B	25

Tabla 8

Fecha, ingrediente activo, dosis y control de los productos usados para el control de plagas y enfermedades en el cultivo.

Fecha	Ingrediente activo	Dosis	Función	Control
09-ago-19	Dimethomorph + Folpet	1.5 kg/ha	fungicida	<i>Phithophthora infestans</i>
19-ago-19	Dimethomorph + Folpet	1.5 kg/ha	fungicida	<i>Phithophthora infestans</i>
30-ago-19	Imidacloprid	0.3 L/ha	insecticida	<i>frankliniella tuberosi</i>
	Lambda-cihalotrina +Tiametoxam	0.25 L/ha	insecticida	<i>Premnotrypes vorax</i>
	Chlorotalonil	1.5 L/ha	fungicida	<i>Phytophthora infestans</i>
12-sep-19	Imidacloprid	0.3 L/ha	insecticida	<i>frankliniella tuberosi</i>
	Clorpirifos etil	0.6 kg/ha	insecticida	<i>Premnotrypes vorax</i>
	Metamidophos	0.5 L/ha	insecticida	<i>Phthorimaea operculella</i>
	Dimethomorph + Folpet	1.5 kg/ha	fungicida	<i>Phithophthora infestans</i>
22-sep-19	Metamidophos	0.5 L/ha	insecticida	<i>Phthorimaea operculella</i>
	Clorpirifos etil	0.6 kg/ha	insecticida	<i>Premnotrypes vorax</i>
	Imidacloprid	0.3 L/ha	insecticida	<i>frankliniella tuberosi</i>
	Dimethomorph + Folpet	1.5 kg/ha	fungicida	<i>Phithophthora infestans</i>
02-oct-19	Profenofos + Fipronil	0.6 L/ha	insecticida	<i>Premnotrypes vorax</i>
	Imidacloprid	0.3 L/ha	insecticida	<i>frankliniella tuberosi</i>
14-oct-19	metil-tiofanato	1.4 kg/ha	fungicida	<i>Phithophthora infestans</i>
	Lambda-cihalotrina +Tiametoxam	0.25 L/ha	insecticida	<i>Premnotrypes vorax</i>
	Imidacloprid	0.3 L/ha	insecticida	<i>frankliniella tuberosi</i>
26-oct-19	Imidacloprid	0.3 L/ha	insecticida	<i>frankliniella tuberosi</i>
	Thiocyclam hidrogen oxalate	0.5 kg/ha	insecticida	<i>Phthorimaea operculella</i>
08-nov-19	Dimethomorph + Folpet	1.5 kg/ha	fungicida	<i>Phithophthora infestans</i>
	Lambda cyhalotrina	80 mL/ha	insecticida	<i>frankliniella tuberosi</i>
	Clorpirifos etil	0.6 kg/ha	insecticida	<i>Premnotrypes vorax</i>
	Metalaxil + Propamocarb	0.3 L/ha	fungicida	<i>Alternaria spp.</i>
	Dimethomorph + Folpet	1.5 kg/ha	fungicida	<i>Phithophthora infestans</i>

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Condiciones climáticas

Durante la fase de campo del ensayo la temperatura se mantuvo constante. En el mes de septiembre (Tabla 9) se registró la temperatura máxima de 24.4 °C y la mínima de 4.3 °C, con un promedio fue de 23.3 y 5.4 °C respectivamente. Debido a esto zona donde se realizó la investigación presentó condiciones desfavorables de temperatura. Basantes (2015) y Dvořák *et al.* (2016) establecen que el desarrollo vegetativo de la papa se da con condiciones de temperatura entre 8 a 25 °C, menores temperaturas ocasionan daños mecánicos parecidos al efecto de las heladas. La temperatura debe estar comprendida entre 13 a 18 °C, y para favorecer la tuberización requiere de noches frías, fuera de estos rangos en efecto de las condiciones climáticas van a afectar el crecimiento y rendimiento del cultivo. Con relación a la precipitación los datos de lluvia fueron muy bajos, con un promedio de 324.2 mm, cantidades que no cubren el requerimiento hídrico del cultivo, que según Basantes *et al.* (2016), es de 700 a 1000 mm, por lo que se realizaron riegos (1-2 por semana) para cubrir este déficit hídrico.

Tabla 9

Temperatura y precipitación mensual durante la fase de campo en San Roque, Antonio Ante, Imbabura, Ecuador. 2019.

Mes	Temp Max	Temp Min	Temp Prom	Precipitación total (mm)
	----- °C -----			
Julio	23.6	4.8	14.2	10.4
Agosto	23.7	4.6	14.2	4.6
Septiembre	24.4	4.3	14.4	49.6
Octubre	22.2	4.9	13.6	62.0
Noviembre	22.6	6.9	14.8	104.2
Diciembre	23.2	7.0	15.1	93.4
PROM o TOTAL	23.3	5.4	14.4	324.2

4.2 Análisis inicial de suelo

El resultado del análisis inicial del suelo estableció una textura de limo arenosa (8% arcilla, 58% limo y 34% arena) en el que el cultivo de papa se adapta adecuadamente. No presentó problemas de salinidad con valores bajos de relación de absorción de sodio ($RAS = 0.04$) y porcentaje de sodio intercambiable ($PSI = 3.53$), siendo los valores máximos 5 y 7 respectivamente. Por lo que este parámetro no afectó al cultivo.

El pH en KCl mostró que el suelo presenta una ligera acidez, pero el valor de pH determinado en agua, indica un suelo neutro, que es adecuado para el cultivo. Se realizó una aplicación de un equivalente a 750kg/ha de $CaCO_3$ para contrarrestar el pH ligeramente ácido. El contenido de MO se encuentra dentro del rango óptimo porque supera el 3.5% recomendado en la literatura (Tabla 1) (Román & Hurtado, 2002; Basantes E. , 2015)..

La conductividad eléctrica fue baja, debido a esto se encontraron deficiencias de algunos nutrientes para el cultivo intensivo de papa, El análisis inicial mostró que el N, K, Ca y S presentaron baja concentración en el suelo. Estas deficiencias fueron corregidas mediante el programa de fertilización. El P, Mg, Mn, Cu, Zn y B se encontraron dentro del rango óptimo para el cultivo intensivo de papa. Solo el Fe presentó una alta concentración de nutrientes superando el requerimiento, lo que pudo generar toxicidad o acumulación excesiva en la planta (Tabla 10).

Tabla 10

Análisis de suelo previo al establecimiento del cultivo de papa. San Roque, Antonio Ante, Imbabura. Ecuador. 2019.

Parámetro	Unidad	Rangos óptimos[†]	Resultado
Mat. Orgánica	%	2 - 6	3.9
Textura	-	arena limosa hasta limo arenoso arcilloso	Limo-arenoso
Conductividad (CE)	mS/cm	0.3 - 0.6	0.13
pH (enH ₂ O)	-	-	7.1
pH (en KCl)	-	5.6 - 6.2	5.8
(NO ₃ -N)	mg/kg	-	8.7
(NH ₄ -N)	mg/kg	-	0.8
(NO ₃ +NH ₄)-N	mg/kg	30 - 50	9.5
P (P)	mg/kg	30 - 60	33.1
K (K)	mg/kg	200 - 340	124
(Mg)	mg/kg	75 - 180	91.5
(Ca)	mg/kg	600 - 1800	325
(S0 ₄ -S)	mg/kg	10 - 15	2.4
(Fe)	mg/kg	20 - 50	95.5
(Mn)	mg/kg	6 - 30	15.9
(Cu)	mg/kg	1.0 - 4.0	3.8
(Zn)	mg/kg	1.2 - 6.0	3.3
(B)	mg/kg	0.15 - 0.60	0.30
(Na)	mg/kg	< 140	10.1
(Cl ⁻)	mg/kg	< 210	17.6
Sales Totales	mg/kg	< 2000	108

Fuente: Volke-Haller et al. (1998).

4.3 Desarrollo del cultivo

El cultivo comenzó a emerger a los 21 días después de la siembra. A los 37 días después de la siembra el cultivo presentó plantas con un mayor desarrollo mostrando tallos y hojas bien formadas. En este punto se presentaron las primeras evidencias del ataque de plagas y enfermedades en el cultivo con un porcentaje mínimo de incidencia, por lo que se realizó la aplicación de productos fitosanitarios para su control (Tabla 8).

Durante todo el ciclo del cultivo se realizaron controles fitosanitarios (Tabla 8) según las condiciones ambientales que se presentaron (precipitación y humedad), para realizar un manejo

oportuno de plagas y enfermedades y así maximizar la efectividad de los productos usados. Las principales plagas y enfermedades que afectaron al cultivo fueron *Bactericera cockerelli*, *frankliniella tuberosi*, *Premnotrypes vorax*, *Phthorimaea operculella*, *Phithophthora infestans*, *Alternaria spp.* Al realizar estos controles se observó un buen desarrollo del cultivo en su etapa vegetativa, floración e inicio de la tuberización.

La presencia de precipitaciones constantes en los meses de nov. y dic. impidieron realizar un control efectivo de la mosca Paratrioza (*Bactericera cockerelli*), porque no se aplicó el producto fitosanitario para su control en las fechas deseadas., lo que afectó al proceso final de tuberización. Esta plaga produce una necrosis vascular en la parte basal de los tallos que impide la circulación de la sabia en la planta, es decir no hay translocación de nutrientes desde la parte aérea de la planta hacia los tubérculos, porque no puede circular la sabia en la planta, esto genera que la planta adquiera una apariencia de marchitez con un tono amarillento o morado pálido y muera prematuramente (Lee, Bottner, Secor, & Rivera, 2006; Johnson, 2008).

4.4 Análisis foliar

Los resultados de los análisis foliares no presentaron diferencias entre tratamientos ($P > 0.10$) (Tabla 11). Esto probablemente se debió a que el inoculo seleccionado para este proyecto (*Glomus iranicum* var. *Tenuihyarum*) no fue eficiente en la colonización del cultivo de papa, por lo que no se obtuvo una mejora en la absorción de nutrientes y por ende no se obtuvieron diferencias en su acumulación en las hojas. Esto puede explicarse ya que como mencionan Molina y Horton (2015) existe especificidad en la simbiosis micorrízica, donde los hongos o las plantas pueden tener afinidad por una especie específica. Lo que impediría o minimizaría la colonización de las raíces, impidiendo que se presenten beneficios al cultivo. Torrecillas, Alguacil

y Roldán (2012) mencionan que las plantas seleccionan las micorrizas presentes en el suelo para el proceso de simbiosis y que los hongos también son capaces de diferenciar los compuestos de C producidos por las plantas, lo que demuestra que si existiría una mejor relación entre diferentes especies y esta puede estar dada por procesos coevolutivos.

Esta especificidad también explicaría la falta de diferencias entre los niveles de P, ya que al existir en el suelo HFMA autóctonos pudo existir una mejor afinidad con las plantas de papa produciendo infección micorrízica y brindando al cultivo mayor acceso a nutrientes especialmente P que en el análisis supero el contenido normal en las hojas.

Los macro nutrientes N, K, Ca y Mg se encontraron dentro de los rangos óptimos, lo que indica que el plan de fertilización fue apropiado para estos nutrientes. El contenido de P en las hojas fue alto, lo que sugiere que este nutriente debió estar disponible en el suelo. Estos resultados coinciden con el análisis inicial del suelo el P se encontraba dentro del rango óptimo lo que indicaría que el fertilizante aplicado debió ser asimilado en su mayoría por las plantas.

Los micronutrientes Cu y B se encontraron dentro del rango óptimo por lo que su incorporación en la fertilización fue adecuada. El Zn y el Mn estuvieron por debajo del nivel óptimo, pero no limitantes para el cultivo, lo que podría deberse a pérdidas por lixiviación (Rietra, Heinen, Dimkpa, & Bindraban, 2017). El Fe presentó una concentración muy alta, al igual que en el análisis inicial de suelo donde el contenido de Fe en el suelo era superior al rango recomendado, por lo que la asimilación de este nutriente fue alta.

Tabla 11

Análisis de varianza del contenido foliar de nutrientes en el cultivo de papa con diferentes niveles de P e inoculación de micorrizas arbusculares. San Roque, Imbabura, Ecuador. Enero 2020.

Dosis de P (kg/ha)	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	
	----- % -----						----- mg/kg -----					
	Sin micorriza											
45	5.90	0.92	5.43	1.44	0.72	0.44	557	42	17	32	32	
70	5.72	0.91	5.32	1.43	0.71	0.43	616	43	17	34	32	
90	5.81	1.00	5.81	1.62	0.77	0.47	504	46	18	35	36	
Promedio	5.81	0.94	5.52	1.49	0.73	0.45	559	43	17	34	33	
	Con micorriza											
45	5.70	1.10	6.10	1.60	0.78	0.48	586	40	18	33	32	
70	5.73	0.83	5.49	1.58	0.74	0.42	407	39	16	28	36	
90	5.81	1.21	5.77	1.65	0.78	0.45	492	42	18	32	38	
Promedio	5.75	1.05	5.79	1.61	0.77	0.45	495	40	17	31	35	
Fuentes de variación	----- P > F† -----											
Micorriza (M)	0.65	0.44	0.25	0.25	0.26	0.87	0.48	0.29	0.99	0.43	0.23	
Fósforo (P)	0.86	0.38	0.32	0.51	0.42	0.38	0.76	0.61	0.81	0.75	0.12	
M x P	0.79	0.64	0.44	0.82	0.70	0.44	0.50	0.95	0.74	0.65	0.49	
	Rango óptimo‡											
	4.0-6.0	0.25-0.50	4.0-7.0	0.75-1.50	0.50-1.0	0.30-0.50	70-150	50-300	6-20	40-150	25-50	

† Valores > 0.10 indican que no hay efecto significativo.

‡ Fuente: Jonhson (2008).

4.5 Productividad

Esta variable tampoco presentó diferencias entre tratamientos ni entre las categorías de papa cosechada ($P > 0.10$) (Tabla 12). Estos resultados concuerdan con los encontrados por Rojas y Ortuño (2007), donde obtuvieron el menor rendimiento con el tratamiento inoculado con micorrizas. En un estudio realizado en la provincia del Carchi por Mora *et al.* (2018) tampoco encontraron diferencias en el peso fresco de tubérculos por planta en los tratamientos con micorrizas y fertilización con diferentes niveles de P. Estos resultados pueden deberse a que la respuesta productiva de la papa a la inoculación con micorrizas arbusculares depende de la variedad o cultivar de papa y del inoculo micorrícico y su especificidad, lo que indica que no hubo una asociación adecuada entre el producto inoculado en la siembra y el cultivo estudiado (Vosátka & Gryndler, 2000; Gadkar, Schwartz, Kunik, & Kapulnik, 2001; Molina & Horton, 2015).

Se esperaba que la inoculación de HFMA mejorara la respuesta productiva de la papa ya que se han reportado incrementos de hasta 45% en el rendimiento del cultivo (Douds & Nagahashi, 2007), Uno de los factores que afectan la respuesta de la planta a la inoculación micorrícica es la cantidad o disponibilidad de P en el suelo porque con bajos niveles de P las plantas producen exudados que hacen germinar a las esporas de los HFMA, por lo que a medida que aumenta la disponibilidad de P en el suelo disminuye la probabilidad de obtener beneficios de la interacción con las micorrizas (Joner, 2000; Garzón, 2016).

Tabla 12

Análisis de varianza de la producción de papa por categoría y total. San Roque, Imbabura, Ecuador. Enero 2020.

Dosis de P (kg/ha)	Categoría (t/ha)			
	Primera	Segunda	Tercera	Total
	<i>Sin micorriza</i>			
45	9.46	6.42	3.26	19.13
70	8.57	8.04	4.00	20.60
90	6.96	4.59	2.92	14.46
Promedio	8.33	6.35	3.39	18.06
	<i>Con micorriza</i>			
45	7.85	6.11	3.73	17.68
70	6.23	5.66	3.80	15.69
90	7.89	7.27	5.92	21.07
Promedio	7.32	6.34	4.48	18.15
Fuentes de variación	----- $P > F^\dagger$ -----			
Micorriza (M)	0.72	1.00	0.33	0.99
Fósforo (P)	0.91	0.88	0.78	0.99
M x P	0.88	0.40	0.46	0.58

[†] Valores > 0.10 indican que no hay efecto significativo.

4.6 Análisis de tubérculo

Los datos obtenidos en el análisis de tubérculos presentaron diferencias en el análisis de la varianza para el N, P y Ca en el promedio de los tratamientos con y sin micorrizas de ($P < 0.10$). También se encontraron diferencias para el K dentro de los diferentes niveles de P ($P < 0.10$) (Tabla 13). Se verificó que existió una mayor acumulación de N en los tubérculos que no fueron inoculados con micorrizas (Tabla 13). Esto coincide con el contenido foliar de nutrientes que, a pesar de no presentar diferencias, numéricamente se observa mayor concentración de N en las hojas de las plantas que no fueron inoculadas con HFMA (Tabla 11). Al contrario, el P y Ca en el análisis foliar numéricamente presentaron mayor contenido en las hojas de plantas micorrizadas, pero en el tubérculo la mayor concentración de estos nutrientes se dio en las plantas no micorrizadas. Lo que podría sugerir que existió una mejor translocación de nutrientes en las

plantas que no fueron inoculadas con micorrizas, Esto pudo deberse a una competencia generada por la inoculación de micorrizas exógenas con las micorrizas autóctonas del suelo que generaron una menor eficiencia en la asimilación y translocación de los nutrientes en las plantas inoculadas con micorrizas exógenas (Zhu, et al., 2016).

En el caso del K, la mayor acumulación en los tratamientos sin inoculación de micorrizas se obtuvo con una dosis de 70 kg/ha de P, mientras que en los tratamientos con micorrizas la dosis de P de 45 kg/ha alcanzó una mayor acumulación de K en los tubérculos (Tabla 13) lo que indica que la micorrización y los diferentes niveles de P si influyen en la acumulación de K en el tubérculo.

Según Basantes (2015) y Dvořák *et al.* (2016) a temperaturas menores a 8 °C la tuberización se ve afectada y puede llegar a detenerse además de presentar problemas y daños fisiológicos. Las temperaturas mínimas promedio fueron bajas (5 °C), lo que indicaría que este proceso pudo ser afectado por las condiciones ambientales adversas, lo que pudo afectar o reducir el rendimiento total del cultivo que en este ensayo tubo una productividad media (Lee, Bottner, Secor, & Rivera, 2006; Johnson, 2008).

Tabla 13

Análisis de varianza del contenido de nutrientes en el tubérculo en el cultivo de papa con diferentes niveles de P e inoculación de micorrizas arbusculares. San Roque, Imbabura, Ecuador. Enero 2020.

Dosis de P (kg/ha)	N	P	K	Ca	Mg	S	Fe	Mn	Cu	Zn	B	
	----- % -----						----- -mg/kg -----					
	<i>Sin micorriza</i>											
45	1.56	0.32	3.05 ab*	0.04	0.12	0.12	44	3.20	3.47	21	26	
70	1.54	0.32	3.19 a	0.05	0.14	0.13	46	3.43	3.57	23	34	
90	1.62	0.34	2.89 b	0.04	0.12	0.13	42	3.40	3.77	22	24	
Promedio	1.57 A**	0.33 A	3.04	0.04A	0.13	0.13	44	3.34	3.60	22	28	
	<i>Con micorriza</i>											
45	1.41	0.28	3.07 a	0.03	0.11	0.13	47	3.10	3.30	21	32	
70	1.29	0.32	2.95 ab	0.04	0.12	0.12	39	3.07	3.10	21	30	
90	1.40	0.30	2.70 b	0.03	0.11	0.12	44	3.07	3.33	20	32	
Promedio	1.37 B	0.30 B	2.91	0.03B	0.11	0.12	43	3.08	3.24	21	31	
Fuentes de variación	----- $P > F^{\dagger}$ -----											
Micorriza (M)	0.05	0.08	0.22	0.02	0.11	0.28	0.85	0.23	0.43	0.29	0.22	
Fósforo (P)	0.69	0.57	0.10	0.19	0.36	0.80	0.89	0.92	0.91	0.71	0.38	
M x P	0.91	0.46	0.58	0.47	0.87	0.22	0.66	0.85	0.95	0.91	0.13	
	Rango óptimo [‡]											
	1.5-2.0	0.2-0.4	1.0-3.2	0.01-0.10	0.07-0.13	0.01-0.10	4-77	4-15	1-6	10-40	1-8	

* Promedios del tratamiento de P con diferente letra minúscula en la misma columna y por cada tratamiento micorrícico son diferentes.

** Promedios del tratamiento de micorriza con diferente letra mayúscula en la misma columna son diferentes.

† Valores > 0.10 indican que no hay efecto significativo

‡ Fuente: Maier y McLaughlin (1997).

4.7 Calidad de fritura

En total se obtuvo el 25% de hojuelas de papa con daños por quemadura, que para la industrialización no cumplirían con los parámetros de calidad establecidos por la industria, ya que el porcentaje de aceptación de hojuelas quemadas es del 10%. Esto sugeriría que esta variedad de papa no es adecuada para la industrialización en hojuelas (Conchello, González, Mañes, & y Rodríguez, 2017). El 7.9% de la hojuela presentó quemaduras en los bordes, que generalmente se deben al ataque de plagas. El 9.8% tuvieron daños en el centro, que son generados por daños fisiológicos. Además, el 7.5% presentaron quemaduras en toda la hojuela por lo que se catalogaron como indeseables (Mendoza, Dejmek, & Aguilera, 2007).

4.8 Análisis de correlaciones

Los resultados del análisis de correlación establecen que no existió relación entre las variables analizadas ($P > 0.10$; $R^2 < 0.7$) (Figura 3). No existió relación entre la concentración de P en el follaje y la productividad ($P = 0.62$; $R^2 = 0.04$) (Figura 3), esto puede deberse a que todos los tratamientos presentaron concentraciones similares de P en el follaje y no se encontraron diferencias en la productividad del cultivo, lo que generó poca tendencia (positiva o negativa) de los datos. La correlación entre la concentración de P en el tubérculo y la productividad no se relacionaron ($P = 0.14$; $R^2 = 0.08$) (Figura 3), a pesar de tener una mejor relación de los datos debido a la significancia que presentan los datos en la acumulación de nutrientes del tubérculo en el promedio de los tratamientos con y sin micorrizas, no se ajustan debido a la falta de significancia de la producción. Eso también ocurre con la concentración de P en el tubérculo y el follaje ($P = 0.06$; $R^2 = 0.084$) (Laguna, 2014).

A pesar de no presentar significancia en la concentración de P en el follaje y la productividad se puede observar que a medida que el contenido de P en el follaje aumenta también lo hará la productividad. Estos datos coinciden con los obtenidos por Ekelöf (2014) donde se puede observar una correlación positiva entre la producción y la concentración de P en el peciolo de plantas de papa. Mazetti, Peres y Aguila (2015) también mencionan que la producción y la calidad de los tubérculos son dependientes de la cantidad de P acumulada en las hojas.

La relación entre la concentración de P en el follaje y la productividad indicaría el efecto dilución que se genera al aumentar la producción ya que las reservas de P se distribuirán de acuerdo a la producción que presente el cultivo, estos resultados concuerdan con White, Bradshaw, Daley Ramsay (2009), quienes sugieren que al existir una mayor producción el contenido de nutrientes o elemento en el tuberculo se reduce, por lo que variedades con mayores rendimientos tendrían una concentración mas baja de elementos en los tuberculos.

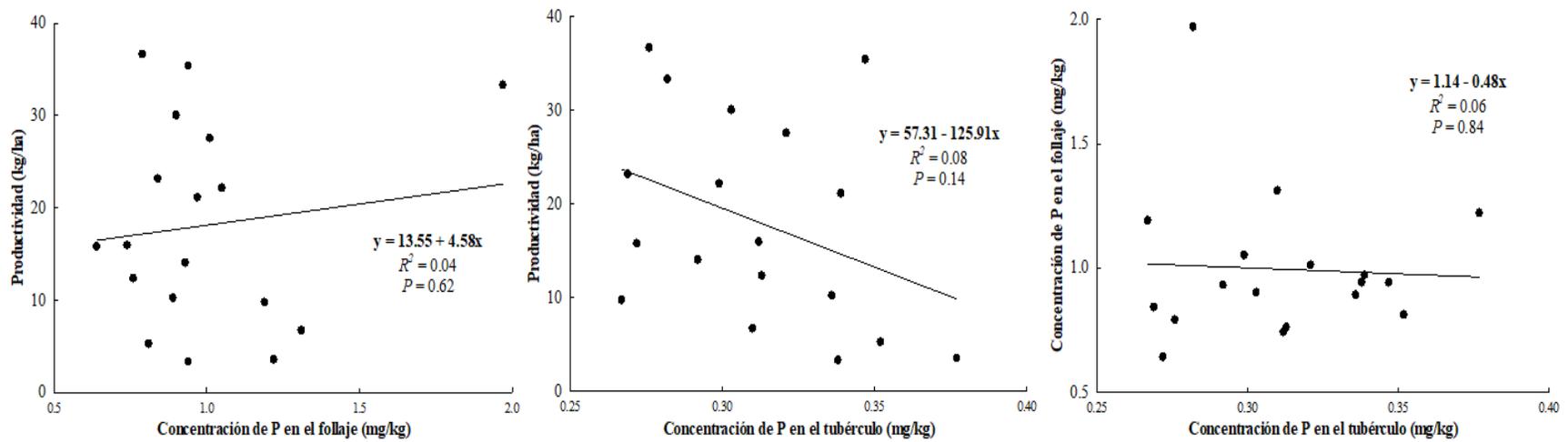


Figura 3 Evaluación de correlaciones: a) Izquierda, entre la concentración de P en el follaje y la productividad, b) Centro, entre la concentración de P en el tubérculo y la productividad, y c) Derecha, entre la concentración de P en el tubérculo y el follaje.

4.9 Evaluación económica

Para realizar esta evaluación se utilizó el precio de venta promedio que se manejó en el mercado en el año 2019 según el SIPA del MAG, que fue de 350 dólares/t, porque el precio de comercialización tiene variaciones con base en la oferta y demanda del mercado. Las mejores relaciones costo beneficio corresponden a los tratamientos 2 (micorrizas + 90 kg/ha de P) y 4 (70 kg/ha de P sin micorrizas), donde el agricultor recibiría 0.63 US\$ por cada 1 US\$ invertido. Estos dos tratamientos obtuvieron las mejores utilidades netas en el ensayo (Tabla 14). La menor relación beneficio costo se obtuvo con el tratamiento 5 (90 kg/ ha de P sin micorrizas), donde solo se obtendría cerca de 0.14 US\$ por cada dólar invertido.

Tabla 14

Evaluación de la rentabilidad de la asociación de la papa con diferentes niveles de P e inoculación de micorrizas arbusculares. San Roque, Imbabura, Ecuador. Enero 2020.

Tratamiento	Productividad t/ha	Costo de producción	Ingreso bruto ----- US\$/ha -----	Utilidad neta	Beneficio/costo
Con micorriza					
T1	15.69	4507.78	5491.50	983.72	0,22
T2	21.07	4520.16	7374.50	2854.34	0,63
T3	17.68	4492.300	6188.00	1695.70	0,38
Sin micorriza					
T4	20.60	4432.78	7210.00	2777.22	0,63
T5	14.46	4445.16	5061.00	615.84	0,14
T6	19.13	4417.3	6695.50	2278.20	0,52

† Para los tratamientos con micorrizas se incluyó el costo del producto. La aplicación se realizó en conjunto con la siembra por lo que no se aumentó un costo en la mano de obra.

‡ Se utilizó el precio promedio de venta de la papa en el Ecuador para el año 2019 de 350 US\$/t.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- ✓ La poca respuesta productiva puede deberse a que el inoculo seleccionado no contuvo propágulos que se acoplaran a la papa.
- ✓ No se encontró un efecto significativo en el contenido foliar de nutrientes.
- ✓ Se estableció la acumulación de nutrientes en el tubérculo donde la mayoría de nutrientes en el tubérculo se encontraron dentro del rango óptimo. por lo que existió una buena asimilación y translocación de nutrientes El N, P y Ca tuvieron una mayor concentración en los tubérculos de las parcelas sin inoculación de micorrizas, lo que sugiere que se presentó competencia entre los HFMA del suelo y los inoculados en la siembra.
- ✓ Los tratamientos 2 (micorrizas + 90 kg/ha de P) y 4 (70 kg/ha de P sin micorrizas) generaron la mejor utilidad neta en esta investigación de 2854,34 y 2777,22 dólares/ha respectivamente.
- ✓ El análisis exploratorio indicó que la papa producida en este ensayo no presentó buena calidad en el proceso de industrialización en hojuelas.

5.2 Recomendaciones

- ✓ Buscar alternativas al control químico de plagas y enfermedades, porque la aplicación de fungicidas afecta directamente a las micorrizas presentes en el suelo.
- ✓ Analizar la población autóctona de micorrizas en el suelo porque esta puede influir en el desarrollo y los resultados del inoculo aplicado.

5.3 Bibliografía

- Aguilera, L., Olalde, V., Arriaga, R., & Contreras, R. (2007). Micorrizas arbusculares. *Ciencia Ergo Sum*, 14(3), 300-306.
- Aliaga, I., Velásquez, F., Amaya, J., & Sichea, R. (2016). El pH de los suelos de la Sierra Central del Perú en la calidad industrial de hojuelas de *Solanum tuberosum* L. var. Capiro. *Revista Agroindustrial Scienc*, 6(3), 53-58.
- Amer, M., & Seoud, A. (2008). Mycorrhizal fungi and *Trichoderma harzianum* as biocontrol agents for suppression of *Rhizoctonia solani* damping-off disease of tomato. *Commun Agric Appl Biol Sci*, 73(2), 217-32.
- Andrade, A. (2010). Micorrizas: Antigua interacción entre plantas y hongos. *Ciencias*, 61(4), 84-90.
- Arribillaga, D. (2013). *Antecedentes tecnicos para el cultivo de la papa* . Coyhaique: Inia.
- Augé, R., Tims, J., & Saxton, A. (2011). Moisture retention properties of a mycorrhizal soil. *Plant and Soil*, 230(1), 87-97.
- Barrera, J., & Arango, G. (2015). *Uso y Manejo de las Micorrizas: Investigación en Cultivos*. Palmira, Argentina. 16 p.: Agrotecnia. Nro. 1.
- Barrera, J., & López, J. B. (2015). *Uso y Manejo de las Micorrizas: Investigación en Cultivos*. Palmira: Agrotecnia.
- Barrera, S. (2009). Arbuscular mycorrhizal fungi as alternative to sustentable agriculture. *Facultad de Ciencias Agropecuarias*, 7(1), 129-132.
- Basantes, E. (2015). *Manejo de cultivos andinos del ecuador*. Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Basantes, E. (2016). Effects of climatic changes on crops, area of santa rosa de cusubamba, Cayambe-Pichincha, Ecuador. *ARN Journal of Agricultural and Biological Science*. 11(4): , 149-159.
- Basantes, E. (2016). *Silvicultura y fisiología vegetal aplicada. 1era Ed.* Sangolquí, Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Bhandari, N. (2018). Techniques Used in Plant Tissue Analysis for Essential Elements on Horticultural Plants and Correlate with Nutrient Requirement. *Revista North American Academic Research*, 2(1), 94-113.
- Blanco, F., & Salas, E. (1997). Micorrizas en la agricultura: contexto mundial. *Agronomfa Costarricense*, 21(1), 55-67.

- Brockley, R. (2001). *Foliar analysis as a planning tool for operational fertilization. Enhanced forest management; Fertilization and Economics*. Alberta, Canada. pp. 62-67 ISSN: 0-9695385-6-1: Mar1-2. Clear Lake Ltd. .
- Camarena, G. (2012). Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares. *Revista Chapingo*, 18(3), 409-421.
- Camargo, S., & Ricalde, N. (2012). Micorrizas: una gran unión debajo del suelo. *Revista Digital Universitaria*, 13(7), 3-19.
- Carreón, Y., Gómez, N., & Martínez, M. (2008). Las micorrizas arbusculares en la protección vegetal. *Biológicas*, 10(1), 60-70.
- Carter, M., & Gregorich, E. (2008). *Soil Sampling and Methods of Analysis*. 2da Ed. United States of America. 198 p.: Editorial Taylor y Francis Group.
- Casaca, Á. (2005). *Guías tecnológicas de frutas y vegetales-El cultivo de la papa*. Costa Rica: SAG.
- Castillo, C., Huenchuleo, M., & Solano, J. (2016). Micorrización en un cultivo de papa adicionado del biofertilizante Twin-N establecido en un Andisol de la Región de La Araucanía. *Idesia*, 34(1), 39-45.
- Conchello, P., González, M., Mañes, J., & y Rodríguez, D. (2017). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de Consumo, Seguridad Alimentaria y Nutrición. *Revista del comité científico AECOSAN*, 26(1), 29-55.
- Correndo, A., & García, F. (2012). *Concentración de nutrientes en planta como herramienta de diagnóstico: Cultivos extensivos*. Buenos Aires: Ipni.
- Devaux, A., Andrade, J., Ordinola, M., Velasco, C., & Hareau. (2011). *La papa y la seguridad alimentaria en la región andina: situación actual y desafíos para la innovación*. Lima, Perú. 386 p: Centro Internacional de la Papa-CIP.
- Devaux, A., Andrade, J., Ordinola, M., Velasco, C., & Hareau, G. (2011). *La papa y la seguridad alimentaria en la region andina: situación actual y desafíos para la innovacion* . Lima: Cip.
- Douds, D., & Nagahashi, G. (2007). Inoculation with Arbuscular Mycorrhizal Fungi Increases the Yield of Potatoes in a High P Soil. *Biological Agriculture and Horticulture*, 24(1), 67-78.
- Dvořák, P., Tomášek, J., Hamouz, K., & Jedličková, M. (2016). Potatoes (*Solanum tuberosum* L.). En P. Konvalina, *Organic Farming* (págs. 147-166.). IntechOpen. doi:doi:dx.doi.org/10.5772/61552
- Ekelöf, J. (2014). *Phosphorus Application Strategies in Potato*. Swedish University of Agricultural Sciences.Ultuna, Suecia. 58 p: Tesis Doctoral. Publicación Nro. 2014:61.

- Estefan, G., Sommer, R., & Ryan, J. (2013). *Methods of Soil, Plant and Water Analysis. 3era Ed.* . Beirut, Lebanon. 244 p.: Editorial ICARDA.
- Fabio Blanco, E. S. (1997). Micorrizas en la agricultura: contexto mundial. *Agronomía Costarricense*, 21(1), 55-67.
- Fallas, R., & Bertsch, F. (2014). Análisis del estado nutricional del cultivo de la papa en costa rica con base en información existente. *Agronomía Costarricense*, 38(1), 199-206.
- Falten, G., Tomasiewicz, D., & Sheppard, C. (2001). The importance of early season phosphorus nutrition. *Revista Canadian Journal Of Plant Science*, 81(2), 211-224. doi:doi:DOI: 10.4141/P00-093
- FAO. (2008). *La papa y los recursos hídricos. 1era ED.* . Editorial FAO: Roma, Italia. 2 p.
- Fernández, A. y. (2016). . Phosphorus fertilizer rate for fresh market potato cultivars grown in tropical soil with low phosphorus availability. *Revista American Journal of Potato Research*, 93(1), 404-414. doi:Doi:DOI 10.1007/s12230-016-9515-7
- Fueyo, M. (2007). *El cultivo de la Patata. 2da Ed.* . Asturias; España: Editorial Madú S.A. .
- GAD Antonio Ante. (2012). *Actualización Plan de desarrollo y ordenamiento del cantón Antonio Ante 2012-2030.* Antonio Ante, Ecuador: GAD Antonio Ante.
- Gadkar, V., Schwartz, R., Kunik, T., & Kapulnik, Y. (2001). Arbuscular mycorrhizal fungal colonization. Factors involved in host recognition. *Plant Physiology*, 127(4), 1493-1499.
- Garzón, L. (2016). Importancia de las micorrizas arbusculares (MA) para un uso sostenible del suelo. *Luna Azul*, 42(1), 217-234.
- Guerra, E. (2007). Micorriza arbuscular. Recurso microbiológico en la agricultura sostenible. *Tecnología en Marcha*, 21(1), 191-201.
- Halford, N., Curtis, T., Muttucumar, N., & Postles, J. (2012). The acrylamide problem: a plant and agronomic science issue. *Journal of Experimental Botany*, 63(8), 2841-2851.
- Hamel, C., Dalpé, Y., Furlan, V., & Parent, S. (1997). Indigenous populations of arbuscular mycorrhizal fungi and soil aggregate stability are major determinants of leek (*Allium porrum* L.) response to inoculation with *Glomus intraradices* Schenck & Smith or *Glomus versiforme* (Karsten) Berch. *Revista Mycorrhiza*, 7(4), 187-196.
- Hochmuth, G. M. (2018). *Plant tissue analysis and interpretation for vegetable crops in florida.* Florida, USA. 48 p.: IFAS Extension office, University of Florida.
- Honrubia, M. (2009). Las micorrizas: una relación planta-hongo que dura más de 400 millones de años. *Anales del Jardín Botánico de Madrid*, 66(1), 133-144.
- Huarte, M., & Capezio, S. (2014). *Cultivo de papa.* Tucuman: Inta-Fca Unmdp .

- INEC. (2017). *Eencuesta de superficie y producción agropecuaria continua*. Quito: Unidad De Estadísticas Agropecuarias - Esag.
- Inostroza, J., & Méndez, P. (2006). *Botánica y morfología de la papa*. Carillanca: Inia.
- Johnson, D. (2008). *Potato Health Management. 2da Ed.* Minnesota, USA: Editorial APS Press. 261 p.
- Joner, E. (2000). The effect of long-term fertilization with organic or inorganic fertilizers on mycorrhiza-mediated phosphorus uptake in subterranean clover. *Biol Fertil Soils*, 32(1), 435–440. doi:<https://doi.org/10.1007/s003740000279>
- Jung, S., Martinez, A., Lopez, J., & Pozo, M. (2012). Mycorrhiza-induced resistance and priming of plant defenses. *J Chem Ecol*, 38(1), 651–664.
- Kaiser, D., Lamb, J., & Rosen, C. (2013). *Plant Analysis Sampling and Interpretation*. Minnesota, EEUU: University of Minnesota.
- Karandashov, V., & Bucher, M. (2005). Symbiotic phosphate transport in arbuscular mycorrhizas. *Trends in Plant Science*, 10(1), 22-29.
- Lee, M., Bottner, K., Secor, G., & Rivera, V. (2006). Candidatus Phytoplasma americanum, a phytoplasma associated with a potato purple top wilt disease complex. *International Journal of Systematic and Evolutionary Microbiology*, 56(1), 1593–1597.
- Linderman, R., & Davis, E. (2004). Evaluation of commercial inorganic and organic fertilizer effects on arbuscular mycorrhizae formed by *Glomus intraradices*. *Revista HortTechnology*, 14(2), 196-202.
- Loján, P., & Suárez, J. (2017). Interacciones de microorganismos promotores del crecimiento vegetal y su uso potencial en formulaciones para el cultivo de papa. *Memorias del vii congreso ecuatoriano de la papa* (págs. 42-44). Tulcán: Centro Internacional de la Papa – CIP.
- Lone, R., Shuab, R., & Sharma, V. (2015). Effect of Arbuscular Mycorrhizal Fungi on Growth and Development. *Asian Journal of Crop Science*, 7(3), 233-243.
- Malhotra, H., Vandana, Sharma, S., & Pandey, R. (2018). Phosphorus Nutrition: Plant Growth in Response to Deficiency and Excess. En F. O.-N. Hasanuzzaman, *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance. 8va Ed* (págs. 171-190). Springer.
- Mazetti, A., Peres, R., & Aguila, L. d. (2015). Effect of phosphorus nutrition on quality of fresh tuber of potato cultivars. *Soil and Plant Nutrition*, 74(1), 102-109. doi:<http://dx.doi.org/10.1590/1678-4499.0330>
- McCauley, A., Jones, C., & Olson, K. (2017). *Soil pH and Organic Matter*. Monana, USA. 16P: Extension Montana State University.

- Mokrani, K., Hamdi, K., & Tarchoun, N. (2018). Potato (*Solanum Tuberosum* L.) Response to Nitrogen, Phosphorus and Potassium Fertilization Rates. *Soil Science and Plant Analysis*, 49(11), 1314–1330.
- Montesdeoca, F. (2005). *Guía para la producción, comercialización y uso de semilla de papa de calidad*. Quito, Ecuador: Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias- INIAP.
- Mora, Aguila, Ruiz, R., Balarezo, & Benavides. (2018). Alternativas de bio-fertilización sobre indicadores morfológicos y productivos de *Solanum tuberosum* L. en Andisoles del Carchi-Ecuador. *Revista Centro Agrícola*, 45(3), 44-50.
- Morales, F. (2007). Sociedades precolombinas asociadas a la domesticación y cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*) en Sudamérica. *Revista Latinoamericana de la Papa.*, 14(1), 1-9.
- Moreno, P. (1988). Inoculación de micorrizas mva en papa (*solanum tuberosum*) respuesta en el crecimiento y nutrición de plantas inoculadas en invernadero y en campo. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 1(1), 84-103.
- Mwangi, M., Monda, E., Okoth, S., & Jefwa, J. (2011). Inoculation of tomato seedlings with *Trichoderma Harzianum* and Arbuscular Mycorrhizal Fungi and their effect on growth and control of wilt in tomato seedlings. *Braz J Microbiol*, 42(2), 508–513.
- N., C., Miller, A., Keith, L., & Whalley, R. (2012). Roots, water, and nutrient acquisition: let's get physical. *Trends in Plant Science*, 17(12), 701–710.
- Navarro, J. F. (2006). *Efectos beneficiosos de las micorrizas sobre las plantas*. Sevilla, España: bioscripts.
- Orrico, G., Ulloa, S., & Medina, M. (2013). Efecto de los hongos micorrícicos arbusculares y *Pseudomonas fluorescens* en el control de *Meloidogyne* spp. en plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*). *Revista ciencia*, 15(1), 1-10.
- Patil, V., Siddappa, S., Kavar, P., & Bhardwaj, V. (2016). *Biology of Solanum tuberosum (Potato)*. (Vol. 1ra Ed.). Nueva Delhi, India.: Editorial Shimla: MoEF&CC. .
- Porras, Burgos, G., Sosa, P., & Zum, T. (2014). *Procedures for sampling and sample preparation of sweetpotato roots and potato tubers for mineral analysis*. Lima, Perú. 124 p: International Potato Center- CIP.
- Porras, E., & Burgos, G. (2006). *Procedures for standard evaluation trials of advanced potato clones*. Lima: CIP-International Potato Center.
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en el Ecuador*. Quito: Iniap-Cip.
- Pumisacho, M., & Velásquez, J. (2009). *Manual del cultivo de papa*. Quito: Iniap.

- QingLi, X., Scanlon, M., Liu, q., & Coleman, W. (2006). Processing and value addition. En J. Gopal, & P. Khurana, *Handbook of potato* (págs. 523-246). New York, USA: Food Products Press.
- QingLi, X., Scanlon, M., Liu, q., & Coleman, W. (2006). Processing and value addition. En J. Gopal, & P. Khurana, *Handbook of potato. Iera Ed.* (págs. 523-246.). New York, USA: Food Products Press.
- Ramírez, I., Ulloa, S., & Medina, M. (2013). Efecto de la inoculación combinada de hongos micorrícicos arbusculares y *Pseudomonas putida* en plantas de tomate de árbol (*Solanum betaceum*) infectadas con *Meloidogyne* spp. *Revista Ciencia*, 76-86.
- Reetz, H. (2016). *Fertilizers and their Efficient Use*. Paris, France. 114 p: International Fertilizer Industry Association. .
- Rietra, R., Heinen, M., Dimkpa, C., & Bindraban, P. (2017). Effects of nutrient antagonism and synergism on yield and fertilizer use efficiency. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 48(16), 1895-1920.
- Rivera, R., Ruiz, L., & Fernández, F. (2006). La simbiosis micorrízica efectiva y el sistema suelo-planta- fertilizante. *la simbiosis micorrízica* (págs. 1-12). Cuba: CSCCS.
- Rodríguez, L. (2010). Origen y evolución de la papa cultivada. Una revisión. *Agronomía Colombiana*, 28(1), 9-17.
- Rojas, K., & Ortuño. (2007). Evaluación de micorrizas arbusculares en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. *ACTA NOVA*, 3(4), 697-719.
- Rojas, K., & Ortuño, N. (2007). Evaluación de micorrizas arbusculares en interacción con abonos orgánicos como coadyuvantes del crecimiento en la producción hortícola del Valle Alto de Cochabamba, Bolivia. *ACTA NOVA*, 3(4), 697-719.
- Román, M., & Hurtado, G. (2002). *Guía Técnica: Cultivo de la Papa*. La Libertad: CENTA.
- Saidi, D. (2012). Importance and role of cation exchange capacity on the physicals properties of the cheliff saline soils (algeria). *Procedia Engineering*, 33(1), 435-449.
- SAS Institute. (2009). *SAS System for Windows Release 9.3.1*. Cary, NC.: SAS Inst.
- Savoy, H. (2015). *Fertilizers and their use*. Tennessee, USA. 24 p: Agricultural Extension Service, University of Tennessee. .
- Schuler, K. (2013). *Solanum tuberosum (Potatoes)(2013)*. *Solanum tuberosum (Potatoes)*. Madison, WI, USA: Elsevier Inc. doi:10.1016/B978-0-12-374984-0.01442-X
- Siemering, G., & Ruark, M. (2016). *The Value of Arbuscular Mycorrhizal Fungi for Field Crops*. Wisconsin: University of Wisconsin-Extension, Cooperative Extension.

- Struik, P. (2007). Responses of the Potato Plant to Temperature. En J. Bradshaw, C. Gebhardt, F. Govers, D. K. Mackerron, M. A. Taylor, & H. A. Ross, *Potato biology and biotechnology advances and perspectives* (págs. 367-393). Elsevier.
- Toledo, A., & Albuja, L. (2013). *Manual de cultivo paso a paso*. Quito: Edifarm.
- Torres, L., Cuesta, X., Monteros, C., & Rivadeneira, J. (2011). *Variedades de papa en Ecuador*. Quito: Centro Internacional de la Papa (CIP).
- Torri, S. (2015). *Análisis foliar*. Buenos Aires, Argentina: Facultad de Agronomía- UBA.
- Valdunciel, J. (2016). *Métodos de valoración de patatas*. España: INIA.
- Valverde, F., & Alvarado, S. (2017). *Manejo del suelo y la fertilización en el cultivo de papa: experiencias del DMSA*. Quito, Ecuador. 11p.: INIAP-CIP.
- Vhuthu. (2017). *Phosphorus fertiliser source and its effect on potato (Solanum tuberosum L.) production*. Tesis deMaster of Science in Agriculture. Stellenbosch, Sudáfrica. 130 p.: Stellenbosch University.
- Vhuthu, N. (2017). *Phosphorus fertiliser source and its effect on potato (Solanum tuberosum L.) production*. Tesis deMaster of Science in Agriculture. Stellenbosch University. Stellenbosch, Sudáfrica. 130 p.
- Vosátka, M., & Gryndler, M. (2000). Response of micropropagated potatoes transplanted to peat media to post-vitro inoculation with arbuscular mycorrhizal fungi and soil bacteria. *Applied Soil Ecology*, 15(1), 145–152. doi:[https://doi.org/10.1016/S0929-1393\(00\)00090-1](https://doi.org/10.1016/S0929-1393(00)00090-1)
- Westermann, D. (2005). Nutritional Requirements of Potatoes. *American Journal Of Potato Research*, 82(1), 301-307.
- White, P., Wheatley, R., Hammond, J., & Zhang, K. (2007). Minerals, Soils and Roots, Chapter 34. En D. Vreugdenhil, *Potato Biology and Biotechnology: Advances and Perspectives* (págs. 739-752). Elsevier.
- Willis, A., Rodrigues, B., & Harris, P. (2013). The ecology of arbuscular mycorrhizal fungi. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 32(1), 1-20.
- Xue, R., Shen, Y., & Marschner, P. (2016). Low soil water content during plant growth influences soil respiration and microbial biomass after plant removal and rewetting. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 16(14), 955-966.
- Zhu, C., Ling, N., Guo, J., Wang, M., Guo, S., & Shen, Q. (2016). Impacts of Fertilization Regimes on Arbuscular Mycorrhizal Fungal (AMF) Community Composition Were Correlated with Organic Matter Composition in Maize Rhizosphere Soil. *Revista Frontiers in Microbiology*, 7(2), 1-12.