

# **UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI**



## **FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES**

### **CARRERA DE DESARROLLO INTEGRAL AGROPECUARIO**

Tema: “Alternativas de fertilización para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) con el empleo de micorrizas, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local en El Ejido, Montúfar, Carchi.”

Trabajo de titulación previa la obtención del  
título de Ingeniero en Desarrollo Integral Agropecuario

AUTOR: Luis Miguel Puetate Mejía

TUTOR: Ing. Segundo Ramiro Mora Quilismal. MSc.

Tulcán, 2019

## **CERTIFICADO JURADO EXAMINADOR**

Certificamos que el estudiante Luis Miguel Puetate Mejía con el número de cédula 0401708607 ha elaborado el trabajo de titulación: “Alternativas de fertilización para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) con el empleo de micorrizas, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local en El Ejido, Montúfar, Carchi”

Este trabajo se sujeta a las normas y metodología dispuesta en el Reglamento de Titulación, Sustentación e Incorporación de la UPEC, por lo tanto, autorizamos la presentación de la sustentación para la calificación respectiva.

f.....

Ing. Segundo Ramiro Mora. MSc.

**TUTOR**

f.....

Ing. Ángel Mesías Pozo Moina. MSc.

**LECTOR**

Tulcán, 23 de enero de 2019

## **AUTORÍA DE TRABAJO**

El presente trabajo de titulación constituye requisito previo para la obtención del título de Ingeniero de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Luis Miguel Puetate Mejía con cédula de identidad número 0401708607 declaro: que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.

f.....

Luis Miguel Puetate Mejía

AUTOR

Tulcán, 23 de enero de 2019

## **ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

Yo, Luis Miguel Puetate Mejía declaro ser autor de los criterios emitidos en el trabajo de investigación: “Alternativas de fertilización para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) con el empleo de micorrizas, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local en El Ejido, Montúfar, Carchi.” y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

f.....

Luis Miguel Puetate Mejía

AUTOR

Tulcán, 23 de enero de 2019

## AGRADECIMIENTO

A mi Dios, quien me dio la vida y la sabiduría para lograr tan importante peldaño en mi periodo estudiantil. Gracias por estar siempre conmigo y por todas tus bendiciones.

A mis amados padres, quienes con sus sabios consejos y por su apoyo incondicional me motivaron a seguir adelante. Gracias por depositar su confianza en mí.

A la Universidad Politécnica Estatal del Carchi, por las oportunidades brindadas en mis estudios de pregrado y también a mis maestros por sus valiosas enseñanzas.

A mi tutor, y amigo Ing. Agr. Segundo Ramiro Mora, quien con su constante apoyo y su valioso conocimiento supo dirigir de la manera más apropiada el desarrollo de esta investigación.

Al Quím. Vinicio Revelo y Lcda. Ana Cerón, por sus grandes enseñanzas y paciencia durante la fase de laboratorios de esta investigación, son experiencias que jamás se olvidarán y que aportaron a mi formación como profesional.

*“Silenciosa  
harina de la noche  
subterránea,  
tesoro interminable  
de los pueblos”*

Fragmento de Oda a la papa de Pablo Neruda

## DEDICATORIA

A Dios,  
A mi Familia.

“Te repito: sé fuerte y valiente.  
No tengas miedo ni te desanimes  
porque el Señor tu Dios estará  
contigo donde quiera que vayas.”  
Josué 1:9

## ÍNDICE GENERAL

|                                                            |      |
|------------------------------------------------------------|------|
| CERTIFICADO JURADO EXAMINADOR .....                        | II   |
| AUTORÍA DE TRABAJO .....                                   | III  |
| ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE TITULACIÓN ..... | IV   |
| AGRADECIMIENTO .....                                       | V    |
| DEDICATORIA .....                                          | VI   |
| ÍNDICE GENERAL .....                                       | VII  |
| RESUMEN.....                                               | XIII |
| ABSTRACT .....                                             | XIV  |
| INTRODUCCIÓN .....                                         | 1    |
| I. PROBLEMA.....                                           | 2    |
| 1.1    PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                     | 2    |
| 1.2    FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....                      | 3    |
| 1.3    JUSTIFICACIÓN.....                                  | 3    |
| 1.4    OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN.....         | 4    |
| 1.4.1    Objetivo General .....                            | 4    |
| 1.4.2    Objetivos Específicos.....                        | 4    |
| 1.4.3    Preguntas de Investigación.....                   | 4    |
| II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....                            | 5    |
| 2.1    ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS .....                   | 5    |
| 2.2    MARCO TEÓRICO .....                                 | 8    |
| 2.2.1    El cultivo de papa.....                           | 8    |
| 2.2.1.1    Origen de la papa .....                         | 8    |
| 2.2.1.2    Taxonomía de la papa.....                       | 8    |
| 2.2.1.3    Descripción botánica de la papa. ....           | 9    |
| 2.2.1.4    Variedades .....                                | 10   |
| 2.2.1.5    Etapas fenológicas del cultivo de papa.....     | 11   |

|          |                                                              |    |
|----------|--------------------------------------------------------------|----|
| 2.2.1.6  | Principales plagas y enfermedades en el cultivo de papa..... | 13 |
| 2.2.1.7  | La papa en el Ecuador .....                                  | 14 |
| 2.2.1.8  | Fertilización edáfica del cultivo de papa .....              | 16 |
| 2.2.1.9  | Fertilización Química .....                                  | 16 |
| 2.2.1.10 | Forma y época de fertilización .....                         | 19 |
| 2.2.2    | Nutrición a base de fósforo .....                            | 19 |
| 2.2.2.1  | Fósforo: Origen y función .....                              | 19 |
| 2.2.2.2  | El fósforo en el suelo .....                                 | 20 |
| 2.2.2.3  | Fosfatos orgánicos .....                                     | 20 |
| 2.2.2.4  | Fosfatos inorgánicos .....                                   | 20 |
| 2.2.2.5  | El Fósforo en el cultivo de papa .....                       | 21 |
| 2.2.3    | Microorganismos en la agricultura .....                      | 21 |
| 2.2.3.1  | Microorganismos solubilizadores de fósforo .....             | 22 |
| 2.2.3.2  | Mecanismos de solubilización de fósforo .....                | 22 |
| 2.2.3.3  | Micorrizas .....                                             | 23 |
| 2.2.3.4  | Importancia de las micorrizas en la agricultura .....        | 24 |
| 2.2.3.5  | Beneficios de las micorrizas .....                           | 24 |
| 2.2.4    | Biofertilizantes y bioestimulantes .....                     | 24 |
| 2.2.4.1  | Safer micorrizas – Micorrizas Arbusculares (MA) .....        | 25 |
| 2.2.4.2  | Fosfotric - Bacterias Solubilizadoras de Fósforo (BSF) ..... | 25 |
| 2.2.4.3  | El Biol .....                                                | 26 |
| III.     | METODOLOGÍA .....                                            | 28 |
| 3.1      | ENFOQUE METODOLÓGICO .....                                   | 28 |
| 3.1.1    | Enfoque .....                                                | 28 |
| 3.1.2    | Tipo de Investigación .....                                  | 28 |
| 3.2      | HIPÓTESIS .....                                              | 29 |
| 3.2.1    | Hipótesis alternativa: .....                                 | 29 |
| 3.2.2    | Hipótesis nula: .....                                        | 29 |
| 3.3      | DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES .....           | 30 |
| 3.4      | MÉTODOS UTILIZADOS .....                                     | 34 |
| 3.4.1    | Localización del experimento .....                           | 34 |

|          |                                                                                        |    |
|----------|----------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.4.2    | Descripción y características del experimento .....                                    | 35 |
| 3.4.3    | Población y muestra de la investigación .....                                          | 36 |
| 3.4.4    | Tratamientos.....                                                                      | 36 |
| 3.4.5    | Variables evaluadas.....                                                               | 37 |
| 3.4.6    | Materiales.....                                                                        | 39 |
| 3.4.7    | Procedimiento .....                                                                    | 40 |
| 3.4.8    | Análisis Estadístico .....                                                             | 43 |
| IV.      | RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....                                                           | 44 |
| 4.1      | RESULTADOS .....                                                                       | 44 |
| 4.1.1    | Análisis de resultados.....                                                            | 44 |
| 4.1.1.1  | Porcentaje de emergencia de plantas a los 21 días post siembra. ....                   | 44 |
| 4.1.1.2  | Número de tallos a los 56 días post siembra.....                                       | 45 |
| 4.1.1.3  | Altura de planta (cm) a los 91 días post siembra.....                                  | 46 |
| 4.1.1.4  | Diámetro de tallo (cm) a los 91 días post siembra.....                                 | 47 |
| 4.1.1.5  | Rendimiento de cosecha en t ha <sup>-1</sup> a los 178 días después de la siembra..... | 48 |
| 4.1.1.6  | Rendimiento de cosecha en t ha <sup>-1</sup> por tratamiento categoría primera.....    | 49 |
| 4.1.1.7  | Número total de tubérculos por planta.....                                             | 50 |
| 4.1.1.8  | Nitrógeno en tubérculos (%).....                                                       | 51 |
| 4.1.1.9  | Fósforo en tubérculos (%) .....                                                        | 52 |
| 4.1.1.10 | Potasio en tubérculos (%) .....                                                        | 53 |
| 4.1.1.11 | Materia Seca en tubérculos (%).....                                                    | 54 |
| 4.1.1.12 | Cenizas en tubérculos (%) .....                                                        | 55 |
| 4.1.1.13 | Nitrógeno en muestras foliares (%) .....                                               | 56 |
| 4.1.1.14 | Fósforo en muestras foliares (%).....                                                  | 57 |
| 4.1.1.15 | Potasio en muestras foliares (%).....                                                  | 58 |
| 4.1.1.16 | Materia seca en muestras foliares (%) .....                                            | 59 |
| 4.1.1.17 | Cenizas en muestras foliares (%).....                                                  | 60 |
| 4.1.1.18 | Relación costo – beneficio.....                                                        | 61 |
| 4.2.     | DISCUSIÓN.....                                                                         | 63 |
| V.       | CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....                                                    | 67 |
| 5.1.     | CONCLUSIONES.....                                                                      | 67 |

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 5.2. RECOMENDACIONES .....                        | 68 |
| VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....              | 69 |
| VII. ANEXOS.....                                  | 79 |
| 7.1 Costo de producción del cultivo de papa ..... | 79 |
| 7.2 Análisis del suelo .....                      | 81 |
| 7.3 Análisis del biol de producción local .....   | 82 |

## ÍNDICE DE TABLAS

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1</b> Clasificación taxonómica de la papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....       | 8  |
| <b>Tabla 2:</b> Variedades de papa sembradas en la provincia del Carchi.....                  | 10 |
| <b>Tabla 3:</b> Características principales de la variedad Superchola.....                    | 11 |
| <b>Tabla 4:</b> Clasificación de tubérculos de papa realizada en la provincia del Carchi..... | 13 |
| <b>Tabla 5:</b> Plagas y enfermedades en el cultivo de papa .....                             | 13 |
| <b>Tabla 6:</b> Superficie, producción y rendimiento nacional de papa en los años 2012-2017 . | 15 |
| <b>Tabla 7:</b> Principales provincias productoras de papa en el periodo 2012- 2017 .....     | 15 |
| <b>Tabla 8:</b> Propiedades químicas de la Urea.....                                          | 17 |
| <b>Tabla 9:</b> Propiedades químicas del Fosfato Diamónico (DAP).....                         | 17 |
| <b>Tabla 10:</b> Propiedades químicas del Muriato de Potasio.....                             | 18 |
| <b>Tabla 11:</b> Recomendaciones de fertilización para papa comercial.....                    | 19 |
| <b>Tabla 12:</b> Características de Safer micorriza .....                                     | 25 |
| <b>Tabla 13:</b> Composición del Fosfotico.....                                               | 26 |
| <b>Tabla 14:</b> Composición bioquímica del biol.....                                         | 27 |
| <b>Tabla 15:</b> Definición y Operacionalización de variables.....                            | 30 |
| <b>Tabla 16:</b> Características del sector y ubicación del experimento.....                  | 34 |
| <b>Tabla 17:</b> Descripción de las características del diseño experimental.....              | 35 |
| <b>Tabla 18:</b> Diseño de tratamientos y descripción de cada uno.....                        | 37 |
| <b>Tabla 19:</b> Representación del análisis de la varianza.....                              | 43 |
| <b>Tabla 20:</b> ADEVA para la emergencia de plantas a los 21 dds.....                        | 44 |
| <b>Tabla 21:</b> ADEVA para el número de tallos a los 56 dds.....                             | 45 |
| <b>Tabla 22:</b> ADEVA de altura de planta (cm) a los 91 dds .....                            | 46 |
| <b>Tabla 23:</b> ADEVA para el diámetro de tallo (cm) a los 91 dds.....                       | 47 |
| <b>Tabla 24:</b> ADEVA del rendimiento del ensayo ( $t\ ha^{-1}$ ) a los 178 dds .....        | 48 |

|                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 25:</b> ADEVA del rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ) categoría primera .....                   | 49 |
| <b>Tabla 26:</b> ADEVA del número total de tubérculos por planta.....                             | 50 |
| <b>Tabla 27:</b> ADEVA del contenido de nitrógeno en tubérculos (%) .....                         | 51 |
| <b>Tabla 28:</b> ADEVA del contenido de fósforo en tubérculos (%).....                            | 52 |
| <b>Tabla 29:</b> ADEVA del contenido de potasio en tubérculos (%).....                            | 53 |
| <b>Tabla 30:</b> ADEVA del contenido de materia seca en tubérculos (%).....                       | 54 |
| <b>Tabla 31:</b> ADEVA del contenido de cenizas en tubérculos (%).....                            | 55 |
| <b>Tabla 32:</b> ADEVA del contenido de nitrógeno en muestras foliares (%).....                   | 56 |
| <b>Tabla 33:</b> ADEVA del contenido de fósforo en muestras foliares (%) .....                    | 57 |
| <b>Tabla 34:</b> ADEVA del contenido de potasio en muestras foliares (%) .....                    | 58 |
| <b>Tabla 35:</b> ADEVA del contenido de materia seca en muestras foliares (%) .....               | 59 |
| <b>Tabla 36:</b> ADEVA del contenido de cenizas en muestras foliares (%) .....                    | 60 |
| <b>Tabla 37:</b> Relación costo - beneficio de cada tratamiento con un precio de \$5 el qq.....   | 61 |
| <b>Tabla 38:</b> Relación costo - beneficio de cada tratamiento con un precio de \$11,17 el qq..  | 62 |
| <b>Tabla 39:</b> Relación costo – beneficio de cada tratamiento con un precio de \$20 el qq ..... | 63 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1:</b> Ubicación geográfica de la finca.....                      | 34 |
| <b>Figura 2:</b> Distribución de tratamientos .....                         | 35 |
| <b>Figura 3:</b> Diseño de la parcela y ubicación de plantas evaluadas..... | 36 |
| <b>Figura 4:</b> Emergencia de plantas (%) a los 20 días post siembra ..... | 45 |
| <b>Figura 5:</b> Número de tallos a los 56 días después de la siembra ..... | 46 |
| <b>Figura 6:</b> Altura de planta a los 91 días post siembra.....           | 47 |
| <b>Figura 7:</b> Diámetro de tallo (cm) a los 91 dds .....                  | 48 |
| <b>Figura 8:</b> Rendimiento del cultivo .....                              | 49 |
| <b>Figura 9:</b> Rendimiento $t\ ha^{-1}$ categoría primera.....            | 50 |
| <b>Figura 10:</b> Número total de tubérculos por planta .....               | 51 |
| <b>Figura 11:</b> Porcentaje de nitrógeno en tubérculos .....               | 52 |
| <b>Figura 12:</b> Porcentaje de fósforo en tubérculos .....                 | 53 |
| <b>Figura 13:</b> Porcentaje de potasio en tubérculos .....                 | 54 |
| <b>Figura 14:</b> Porcentaje de materia seca en tubérculos.....             | 55 |
| <b>Figura 15:</b> Porcentaje de cenizas en tubérculos.....                  | 56 |
| <b>Figura 16:</b> Porcentaje de nitrógeno en muestras foliares.....         | 57 |
| <b>Figura 17:</b> Porcentaje de fósforo en muestras foliares.....           | 58 |

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 18:</b> Porcentaje de potasio en muestras foliares .....                                                       | 59 |
| <b>Figura 19:</b> Porcentaje de materia seca en muestras foliares .....                                                  | 60 |
| <b>Figura 20:</b> Porcentaje de cenizas en muestras foliares .....                                                       | 61 |
| <b>Figuras 21:</b> Elaboración de surcos y siembra de tubérculos.....                                                    | 83 |
| <b>Figuras 22:</b> Aplicación de micorriza y fertilización edáfica.....                                                  | 83 |
| <b>Figuras 23:</b> Control fitosanitario y producto orgánicos utilizados (biol, fosfotíc).....                           | 83 |
| <b>Figuras 24:</b> Labores culturales (deshierba y aporque).....                                                         | 84 |
| <b>Figuras 25:</b> Recolección de datos (diámetro del tallo y altura de planta) .....                                    | 84 |
| <b>Figuras 26:</b> Cultivo en fase de desarrollo y maduración .....                                                      | 84 |
| <b>Figuras 27:</b> Cosecha y clasificación de tubérculos.....                                                            | 85 |
| <b>Figuras 28:</b> Pesaje de tubérculos en la cosecha y pesaje de muestras foliares húmedas en laboratorio.....          | 85 |
| <b>Figuras 29:</b> Determinación de humedad y cenizas en muestras foliares y tubérculos .....                            | 85 |
| <b>Figuras 30:</b> Trituración de muestra seca de tubérculo y muestras foliares secas etiquetadas .....                  | 86 |
| <b>Figuras 31:</b> Determinación de Nitrógeno (método Kjeldahl) y Fósforo (Espectrofotometría UV – VIS).....             | 86 |
| <b>Figuras 32:</b> Digestión ácida de muestras y determinación de Potasio (Espectrofotometría de absorción atómica)..... | 86 |

## RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar las alternativas de biofertilización, sobre el rendimiento en el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L.) variedad Superchola, en condiciones de campo abierto en el sector El Ejido, Montúfar (Carchi, Ecuador). El diseño experimental fue de bloques completamente al azar, con ocho tratamientos y cuatro repeticiones, que incluían fertilización de síntesis química 100% NPK (135, 335, 225 kg ha<sup>-1</sup>) dosis promedio que se emplea en la zona y con reducciones del fósforo (75, 50, 25 %), en combinación con Safer-micorrizas, microorganismos solubilizadores de fósforo (fosfotico) y Biol. Las variables evaluadas fueron: germinación (%), número de tallos, altura de planta (cm), diámetro del tallo (cm), número de tubérculos, peso fresco de tubérculos (t), costos de producción y análisis bromatológicos de hojas y tubérculos. Para el análisis estadístico se empleó el programa Infostat 2014 y para la comparación de las medias se utilizó la prueba de Tukey  $p < 0,05$ . El análisis de resultados mostró que, el tratamiento tres (T3) con 100% NPK + Safer-micorriza presentó el rendimiento más alto con 45,16 t ha<sup>-1</sup>. Se demuestra que la combinación de la fertilización química más Safer-micorrizas es una alternativa viable para complementar y aumentar la eficiencia de dicho fertilizante en el cultivo de papa, estimulando un mejor desarrollo de la planta, solubilización y aprovechamiento de minerales, convirtiéndose en una opción sustentable y perdurable para mejorar las propiedades biológicas del suelo.

**Palabras clave:** *Solanum tuberosum* L., Superchola, biofertilización, bioestimulantes, Safer-micorriza, microorganismos solubilizadores de fósforo.

## ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effect of alternatives of biofertilization on the yield in potato crops (*Solanum tuberosum* L.) variety Superchola, in open field conditions in the sector El Ejido, Montúfar (Carchi, Ecuador). The experimental design was completely randomized blocks, with eight treatments and four repetitions, that included chemical fertilization 100% NPK (135, 335, 225 kg ha<sup>-1</sup>) which is the average dose used in the area, with reductions in phosphorus (75, 50, 25% P), in combination with Safer-mycorrhizae, Phosphorus solubilizing microorganisms (fosfotico) and Biol. The variables evaluated were: germination (%), number of stems, height of plant (cm), stem diameter (cm), number of tubers, fresh weight of tubers (t), production costs and bromatological analysis of leaves and tubers. For the statistical analysis, the program used was Infostat 2014 and for the comparison of means Tukey test was used  $p < 0.05$ . The analysis of the results showed that, T3 with 100% NPK + Safer-mycorrhiza presented the highest yield with 45.16 t ha<sup>-1</sup>. It is demonstrated that the combination of the chemical fertilization plus Safer-mycorrhizas was a viable alternative to complement and increase the efficiency of fertilizers in the potato crop, stimulating a better development of the plant, solubilization and better use of minerals, becoming a sustainable and lasting option for improving the biological properties of the soil.

**Key words:** *Solanum tuberosum* L., Superchola, biofertilization, biostimulants, Safer-Mycorrhiza, phosphorus solubilizing microorganisms.

## INTRODUCCIÓN

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es uno de los alimentos más producidos a nivel mundial, se ubica en quinto lugar después de la caña de azúcar, maíz, trigo y arroz. La Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), informó en el año 2016 que, hubo una producción mundial de 376'826.967 toneladas, 15.247 t más que en el 2015 (FAOSTAT, 2016).

En Ecuador, el cultivo de papa es una de las principales actividades agrícolas de la sierra andina, además este tubérculo se encuentra dentro de los cinco productos más importantes en la dieta diaria de la población (MAG, 2017). En el año 2017 Ecuador produjo 377.243 toneladas con un rendimiento promedio nacional de 12,77 t ha<sup>-1</sup> (INEC, 2017).

En la provincia del Carchi los suelos predominantes son de origen volcánico (Andisoles), donde la fracción humus forma fácilmente complejos con metales como el aluminio (Al), esto limita la posibilidad de coprecipitación de Al con Silicio (Si), por lo tanto, impide la formación de alofana e imogolita y fijan fuertemente el P (Espinosa, 1996).

El fósforo es un elemento químicamente muy reactivo, se encuentra en más de 170 compuestos minerales, que varían grandemente en su solubilidad, por esta razón, es un elemento de poca movilidad y con más problemas de biodisponibilidad de todos los macronutrientes (Silva, 2011).

El cultivo de papa requiere de una alta disponibilidad de fósforo en suelo, para favorecer el buen desarrollo radicular y aéreo en la etapa de establecimiento de las plántulas (Alvarado, Iturriaga, Smyth, Ureña y Portuguez, 2008). Para compensar las necesidades de P en el cultivo, se demanda de elevadas dosis de fertilizantes químicos (Monteros, 2016).

Por este motivo, es necesario evaluar nuevas alternativas de biofertilización en el cultivo de papa en suelos andisoles, que ayuden a disminuir los problemas de retención del P, deterioro de los suelos y costos de producción y su vez mejoren la productividad.

Este trabajo tuvo como objetivo evaluar alternativas de biofertilización a base de micorrizas (Safer micorriza), bacterias solubilizadoras de fósforo (Fosfotic), biol de producción local y la combinación de estos, en la variedad de papa Superchola en condiciones de campo abierto.

## I. PROBLEMA

### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los suelos de la provincia del Carchi en su mayoría son andisoles, éstos presentan características óptimas para el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L.) (Pumisacho y Sherwood, 2002), pero sus inconvenientes más relevantes son la topografía irregular que provoca su erosión y la retención de altas cantidades de fósforo (P) (Alvarado, Iturriaga, Smyth, Ureña y Portuguez, 2008), paradójicamente este elemento se encuentra en altas cantidades en la mayoría de suelos, sin embargo, el 98% tienen una inadecuada suplementación de P disponible para la planta, además, en suelos altamente lavados como los del trópico, el P forma fosfatos de hierro (Fe-P) y aluminio (Al-P), donde la solubilidad es muy baja (Patiño y Sanclemente, 2014).

La FAO (2015) realizó un estudio enfocado al uso de fertilizantes inorgánicos a nivel mundial pronosticando que para el año 2018 habrá un consumo de alrededor de 200,5 millones de toneladas, mientras que, el Banco Mundial (2015) registra que en el Ecuador se consumió un promedio de fertilizantes de 313,623 kg ha<sup>-1</sup> de tierras cultivables; mostrando que el uso de fertilizantes sintéticos crece proporcionalmente con el cultivo de productos agrícolas. No obstante, su uso inadecuado o excesivo puede generar problemas como: infertilidad del suelo, suelos ácidos, reducción de la biodiversidad y contaminación de aguas subterráneas, lo cual afecta la sostenibilidad y productividad de sistemas agrícolas (Bautista, Chavarro, Cáceres y Buitrago, 2017).

Los países más destacados en producción de papa (*Solanum tuberosum* L.) a nivel mundial son: China (26,29%), India (11,62%), Rusia (8,26%), Ucrania (5,77%) y Estados Unidos (5,31%) pero los países con mayor rendimiento en toneladas por hectárea (t ha<sup>-1</sup>) son: Estados Unidos (49,02), Nueva Zelanda (48,98), Alemania (44,42), Dinamarca (42,47) y Países Bajos (41,99). Sin embargo, el Ecuador aporta solo con el 0,112% a la producción global con un rendimiento aproximado de 14,25 t ha<sup>-1</sup> inferior a la media mundial de 19,57 t ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2016). Estos bajos rendimientos son causados por la limitada disponibilidad de nutrientes hacia la planta, el manejo incorrecto del cultivo, entre otros factores.

Según el INEC (2017), a nivel nacional la provincia de Pichincha fue la mayor productora de papa con 101.865 t, seguida de Carchi con 97.389 t con rendimientos de 18,65 y 17,25 t

ha<sup>-1</sup> respectivamente, siendo muy bajo en comparación a países desarrollados, sin embargo, para obtener dichos resultados el agricultor suministró elevadas dosis de fertilizantes químicos con alto contenido de fósforo (MAG, 2018), estos fertilizantes constituyen alrededor del 20,62% del costo total de producción del cultivo (MAGAP, 2014), lo que provoca una mayor inversión, baja rentabilidad y deterioro de los suelos.

La inclusión de nuevas alternativas de fertilización a base de microorganismos benéficos en el cultivo de papa es muy escasa, el poco interés, el tiempo de elaboración, la falta de conocimiento y la supuesta ineficacia de los productos ecológicos han generado que apenas el 2,66% de superficies sembradas a nivel nacional utilizaran insumos orgánicos (INEC, 2016), esto se debe a que los agricultores mantienen criterios tradicionales de fertilización química y manejo del cultivo, haciendo uso inadecuado o excesivo de los mismos (Almeida, 2014), provocando una disminución progresiva de la sustentabilidad del ecosistema.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Escasas alternativas de biofertilización a base de micorrizas, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local, que actúen como enmienda agrícola en las propiedades de los suelos andisoles para mejorar la asimilación de P en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).

## **1.3 JUSTIFICACIÓN**

La inclusión de nuevas alternativas biotecnológicas de fertilización para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) con microorganismos solubilizadores de fósforo (P) y biol, actuarán en los suelos (andisoles) donde se fija el P, por ende, permitirán una mejor disponibilidad de este elemento para la planta y restaurarán el suelo al incrementar la microbiota perdida.

Las micorrizas mejoran el crecimiento vegetal aumentando la captación de fósforo y nitrógeno, además proporciona resistencia a la planta en condiciones adversas (Zhao, YU, Zhang & Guo, 2017), existen bacterias con la capacidad de solubilizar fosfatos del suelo para un mejor aprovechamiento del P en la planta (Patiño y Sanclemente, 2014), al incorporar como fertilizante este tipo de microorganismos benéficos se logra bajar las dosis de fertilizantes de síntesis química al cultivo, lo cual es más rentable y con menor impacto ambiental.

El cultivo de papa se encuentra entre las principales actividades agrícolas de la región interandina, convirtiéndose en el principal ingreso económico para el 46% de agricultores, ocupando un lugar importante en la dieta diaria de la población ecuatoriana (MAG, 2018), razón por la cual es necesario implementar alternativas de fertilización y evaluar su efecto sobre las propiedades químicas y biológicas de los suelos “andisoles” de la región, y a su vez ampliar el conocimiento de nuevas opciones agrícolas que disminuyan las excesivas dosis de agroquímicos, obteniendo un beneficio ambiental tanto para la calidad de los suelos como del cultivo, así como un potencial beneficio económico para los productores.

## **1.4 OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN**

### **1.4.1 Objetivo General**

Determinar el potencial de los biofertilizantes basados en micorrizas, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local como alternativas de fertilización para disminuir el consumo de fertilizantes fosfóricos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).

### **1.4.2 Objetivos Específicos**

- Evaluar el efecto de la biofertilización con micorrizas, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local sobre el rendimiento del cultivo de la papa en condiciones de campo abierto.
- Evaluar los efectos de la biofertilización sobre indicadores químicos y biológicos de la planta y el tubérculo con resultados de laboratorio.
- Evaluar el efecto económico de los tratamientos en estudio.

### **1.4.3 Preguntas de Investigación**

- ¿Cuál es el efecto de la biofertilización con microorganismos solubilizadores de fósforo, micorrizas y biol de producción local sobre el rendimiento del cultivo de la papa en condiciones de campo abierto?
- ¿Cuáles son los efectos de la biofertilización sobre indicadores químicos y biológicos de la planta y el tubérculo, con resultados de laboratorio?
- ¿Cuál es el efecto económico de las alternativas evaluadas en comparación con la fertilización mineral?

## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1 ANTECEDENTES INVESTIGATIVOS

En la investigación “Alternativas de bio-fertilización sobre indicadores morfológicos y productivos de *Solanum tuberosum* L. en Andisoles del Carchi-Ecuador”, realizada por Mora et al. (2018) explican que la aplicación de bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF) y hongos micorrízicos arbusculares (HMA) en el cultivo de papa variedad Superchola bajo condiciones semicontroladas, permiten una eficiente absorción del fósforo hacia la planta, promoviendo su crecimiento y desarrollo. Además, manifiestan que el tratamiento conformado por fertilización química (100% NPK) + Fosfotic (BSF) + Safer micorrizas (HMA) obtuvo el mayor peso en fresco de tubérculos con 636,19 gramos por planta y concluyen que si se reduce la fertilización mineral sin combinar con las alternativas de biofertilización con Fosfotic y Safer micorrizas implica una reducción en la producción.

En la finca Experimental San Francisco de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC) Narváez (2016), estudió: “Evaluación de microorganismos solubilizadores de fósforo, micorrizas y compost, en la productividad del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad Superchola, bajo condiciones semicontroladas”. El autor indica que es factible la implementación de alternativas con microorganismos solubilizadores de fósforo (P), micorrizas y compost, ya que permiten a la planta absorber el P no soluble presente en el suelo. Al analizar estadísticamente el rendimiento del ensayo, bajo una prueba de Tukey al 5% concluye que el tratamiento que consta de: tierra + compost + fosfotico + micorrizas, fue el que generó un mejor rendimiento de 816, 48 gramos por planta.

Asimismo, Almeida (2014) desarrolló una investigación en la parroquia González Suárez, cantón Tulcán, provincia del Carchi acerca del efecto de formulaciones biológicas (micorrizas y activadores biológicos) y formulación química (omega 3, 6, 9 más extracto de algas marinas y silicio) en el aprovechamiento del fósforo no soluble del suelo, por parte del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), donde demostró que la aplicación de formulaciones biológicas tiene un afecto positivo en el rendimiento de tubérculos y absorción de nutrientes. Igualmente, realizó un análisis estadístico bajo la prueba de Tukey al 5% y el mejor rendimiento en la cosecha fue con el tratamiento (T) de activadores biológicos (bacterias lácticas y bacterias fotosintéticas) que alcanzó 55, 6 kg ha<sup>-1</sup>, seguido del T con Omega 3, 6, 9 + Extracto de algas y Silicio con cifras de 46,5 kg ha<sup>-1</sup> y el T de micorrizas (ectomicorrizas)

generó 44,3 kg ha<sup>-1</sup>. El estudio sugiere enfocar trabajos en el incremento de la micro flora del suelo, para una mejor producción y rentabilidad en cuanto a costo/beneficio.

En el estudio de “Los abonos orgánicos en la productividad de papa (*Solanum tuberosum* L.)” realizado por Valverde et al. (2010) se evaluó el efecto de la fertilización orgánica con compost y gallinaza sobre el cultivo de la papa (cultivar INIAP-Fripapa) con los niveles de 5, 10 y 15 t ha<sup>-1</sup>, en comparación con la fertilización química con: 150 N, 200 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 100 K<sub>2</sub>O, 30 S, 15 Mg, kg ha<sup>-1</sup>. Los resultados obtenidos indicaron que la fertilización química alcanzó rendimientos más altos que la orgánica, sin embargo, los abonos orgánicos mejoraron las propiedades químicas y biológicas del suelo, mientras que las propiedades físicas se mantuvieron estables. Concluyen que, al tener mayor rentabilidad en los cultivos mediante fertilización química provoca que la producción de papa orgánica en el país sea limitada.

Según Fernández y Rodríguez (2005) los microorganismos presentes en el suelo permiten la absorción del fósforo, gracias al trabajo simbiótico que éstos realizan con las raíces de las plantas, se han encontrado hongos (micorrízicos) y bacterias (rizobacterias) con efecto benéfico y promotores del crecimiento vegetal, los mismos que han sido empleados en la agricultura con la intención de disminuir los fertilizantes químicos. Las autoras realizaron una investigación acerca de las funciones que cumplen los microorganismos (hongos y bacterias) y concluyen que la aplicación de estos biofertilizantes mejora la solubilización del fósforo retenido en el suelo y lo vuelven disponible para la planta. Esto favorece la nutrición de los cultivos y mejoran su productividad, además, la posibilidad de obtener biofertilizantes basados en estos microorganismos lograría un efecto positivo en las plantas y un impacto ecológico beneficioso al medio ambiente.

En la “Evaluación de alternativas metodológicas para el manejo integrado de suelo en el cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L.) en la provincia del Carchi”, investigación realizada por Bastidas (2003), se evaluó diferentes tipos de fertilización. Éstas fueron humus de lombriz, micorrizas, roca fosfórica y un bioestimulante basado en bacterias del género *Clostridium spp.*, así como combinaciones entre estas alternativas. Los resultados obtenidos indicaron que la fertilización convencional obtuvo altos rendimientos en comparación a todas las alternativas y sus combinaciones, sin embargo, la autora concluye que al aplicar únicamente fertilización química al cultivo incrementa los costos de producción, mientras que las inclusiones de las otras alternativas evaluadas ayudan a su disminución.

A lo largo de los años se han realizado investigaciones a nivel mundial acerca de los beneficios de las micorrizas. Moreno (1988) en su estudio sobre “Inoculación de micorrizas MVA en papa (*Solanum tuberosum* L.) respuesta en el crecimiento y nutrición de plantas inoculadas en invernadero y campo” realizada en Guanajuato México. Para ello se utilizó esquejes de tallos enraizados y plantas nacientes de tubérculos, los ensayos fueron implementados en condiciones semi controladas (invernadero) y a campo abierto, de las tres especies de hongos micorrízicos empleados, solo *Glomus fasciculatum* "E3" sometido a condiciones de invernadero, logró incrementos significativos en el peso de los tubérculos gracias a su infección radicular. Mientras que, a campo abierto, los esquejes de las variedades mariva y tomasa condemayta fueron infectadas con *G. fasciculatum* "E3" en camas con suelo franco – arenoso esterilizado con 15 ppm de fósforo disponible. Dando como resultado que las plantas inoculadas de ambas variedades presentaron incrementos significativos en peso seco total y mejor absorción de nutrientes que las plantas no inoculadas.

## 2.2 MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 El cultivo de papa

#### 2.2.1.1 Origen de la papa

Estudios manifiestan que la familia Solanácea lleva más de 100.000 años en América del sur. Según antecedentes arqueológicos indican que la papa se consumió hace 14.000 años por los primeros humanos que habitaban en estas tierras (Contreras, 2008) y se encontraba principalmente en las zonas altas de los Andes.

Pumisacho y Sherwood (2002) afirman que “la primera crónica conocida que menciona la papa fue escrita por Pedro Cieza de León en 1538. Cieza encontró tubérculos que los indígenas llamaban “papas”, primero en la parte alta del valle del Cuzco, Perú y posteriormente en Quito, Ecuador” (p. 21). Sin embargo, Román y Hurtado (2002) señalan que en 1537 Juan de Castellanos se refirió por primera vez a la papa cultivada en el lago Titicaca cerca a Perú y Bolivia.

La papa evolucionó y se cruzó con otras plantas del mismo género y esta es la razón de su gran variabilidad (Metcalf y Elkins, 1998). Su taxonomía se detalla en la Tabla 1.

#### 2.2.1.2 Taxonomía de la papa

**Tabla 1** Clasificación taxonómica de la papa (*Solanum tuberosum* L.)

|              |                |
|--------------|----------------|
| REINO        | Plantae        |
| DIVISIÓN     | Magnoliophyta  |
| CLASE        | Dicotiledóneas |
| SUBCLASE     | Metaclamideas  |
| ORDEN        | Tubifloras     |
| FAMILIA      | Solanaceae     |
| GÉNERO       | Solanum        |
| ESPECIE      | tuberosum      |
| CLASIFICADOR | Linneo         |

Fuente: Chase & Reveal, 2009.

La papa es una planta herbácea anual que alcanza una altura promedio de un metro y produce tubérculos (FAO, 2008), posee un sistema aéreo (hojas compuestas, inflorescencia, tallos y

fruto) y un sistema subterráneo (raíces, estolones y tubérculos) (Huarte y Capezio, 2013), sus hábitos de crecimiento son: rastrero o erecto, generalmente de tallos gruesos y leñosos con entrenudos cortos (Pumisacho y Sherwood, 2002). Los tubérculos se forman a los 60 días y se desarrollan hasta cuando la planta alcanza su madurez fisiológica: 90 días para variedades precoces, de 110 a 120 para variedades de ciclo intermedio y más de 120 para variedades tardías (Román y Hurtado, 2002), además, la forma y el color de los tubérculos son muy variados, las formas son de cuatro tipos: comprimidas, redondas, ovaladas y largas. El color de la piel varía de amarillo a rosa o morado (Custers, 2015).

### **2.2.1.3 Descripción botánica de la papa.**

La papa pertenece a la familia de las solanáceas. Las especies cultivadas son las Tetraploides ( $2n = 48$ ) que pertenecen a las especies *Solanum tuberosum* y *Solanum andigenum* (Román y Hurtado, 2002).

- Flor: La planta de papa puede llegar a tener entre 7 y 30 flores, éstas tienen un diámetro promedio entre tres a cuatro cm, con cinco pétalos (pentámeras) que al estar unidos por sus bordes, su corola tiene la forma de una estrella, sus sépalos son de variados colores (blanco, amarillo, rojo y púrpura) y la presencia de flores indica el inicio de la tuberización.
- Fruto: Posee dos frutos característicos, fruto botánico es una baya bilocular verdosa, de 15-30 mm de diámetro, la misma que puede albergar 200 semillas. En cambio, el fruto agrícola o tubérculos son tallos subterráneos ensanchados que comienzan a formarse a partir de los estolones.
- Tallo: La planta de papa está constituida por dos tipos de tallos, los aéreos que se originan a partir de yemas presentes en el tubérculo que se utilizó de semilla y pueden alcanzar de 0,60 a 1,20 m de altura, sobre éstos se sostienen las hojas y flores. Mientras que los subterráneos como el estolón, permite el transporte de azúcares, entre otras sustancias desde el follaje hasta el tubérculo y a su vez funciona como órgano de almacenamiento de nutrientes (Faiguenbaum y Zunino, 1998).
- Hojas: Están compuestas con 7 a 9 folíolos (imparipinnadas), es decir, tienen un raquis central y varios folíolos. Cada raquis puede llevar varios pares de folíolos laterales primarios y un folíolo terminal, además, dependiendo de su variedad la hoja presenta tricomas que son mecanismos de defensa contra agentes externos (Inostroza,

Méndez y Sotomayor, 2009), y es el órgano encargado de transformar la energía lumínica en química siendo el alimento de la planta.

- Raíz: Son delgadas, fibrosas y muy ramificadas, no existe una raíz principal y posee muchas raíces adventicias. Su mayor crecimiento lo desarrolla en los primeros 0,20 m de profundidad, extendiéndose lateralmente de 0,30 m hasta 0,60 m. Las raíces laterales fibrosas pueden llegar hasta 1,20 m de profundidad, en suelos francos y profundos (Román y Hurtado, 2002).
- Semilla: Existen dos tipos: el tubérculo (semilla asexual) utilizado para la producción de papa y la fruta o tizbalo contiene la semilla sexual que se usa para mejoramiento genético (Pumisacho y Velásquez, 2009).

#### 2.2.1.4 Variedades

A nivel nacional, el 85% de productores reciclan sus semillas de papa y solamente el 15% de productores utiliza semilla certificada para la siembra. Las variedades más usadas son: Superchola (55%), Única (10%), Leona (8%), Chaucha (6%) y Fripapa (5%), que generan rendimientos promedio de 17, 28, 9, 10 y 19 t ha<sup>-1</sup> respectivamente (Monteros, 2016).

La provincia del Carchi, por lo general, prefiere variedades de piel clara, carne crema y de alto contenido de materia seca (Muñoz y Cruz, 1984), por ello las principales variedades demandadas se aprecian en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Variedades de papa sembradas en la provincia del Carchi

| Variedades   | Porcentajes de siembra | Rendimiento promedio (t ha <sup>-1</sup> ) |
|--------------|------------------------|--------------------------------------------|
| Superchola   | 41%                    | 27,3                                       |
| Capiro       | 29%                    | 18                                         |
| Única        | 20%                    | 25,2                                       |
| Chaucha roja | 3%                     | 15                                         |
| Otras        | 7%                     | -                                          |

Fuente: Flores, Naranjo, Galárraga, Sánchez y Viteri, 2012. Levantamiento de información estudios de demanda de semilla de papa.

Nota: ( - ) sin registro

En Carchi se hace uso mayoritario de la variedad Superchola (41%) gracias a su adaptabilidad, rendimiento y aceptación en el mercado, las características más relevantes de esta variedad se detallan en la Tabla 3.

**Tabla 3:** Características principales de la variedad Superchola

| Descripción                      | Características                                                                                                                                                                                                   |
|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Origen de la variedad</b>     | Fue generada por el Sr. Bastidas, proviene del cruzamiento entre (Curipamba negra x <i>Solanum demissum</i> ) x (Clon resistente con comida amarilla x chola seleccionada) liberada en San Gabriel, Carchi, 1984. |
| <b>Subespecie</b>                | Andígena.                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Clima</b>                     | Templado – frío.                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Altitud de cultivo</b>        | 2.800 a 3.600 msnm.                                                                                                                                                                                               |
| <b>Follaje</b>                   | Frondoso, desarrollo rápido, tallos robustos y fuertes; hojas medianas que cubren bien el terreno.                                                                                                                |
| <b>Maduración</b>                | Semitardía                                                                                                                                                                                                        |
| <b>Rendimiento</b>               | 30 toneladas por hectárea.                                                                                                                                                                                        |
| <b>Contenido de materia seca</b> | 24 %                                                                                                                                                                                                              |
| <b>Periodo de dormancia</b>      | 80 días                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Enfermedades</b>              | Susceptible a lancha ( <i>Phytophthora infestans</i> ), mediamente resistente a roya, ( <i>Puccinia pittieriana</i> ) y tolerante al nematodo del quiste ( <i>Globodera pallida</i> )                             |
| <b>Usos</b>                      | Consumo en fresco: sopas y puré. Consumo para procesamiento: papas fritas en forma de hojuelas (chips) y de tipo francesa.                                                                                        |

Fuente: Pumisacho y Sherwood, 2002; Andrade y Hardy, 1998

### 2.2.1.5 Etapas fenológicas del cultivo de papa

Para Pumisacho y Velásquez (2009) el cultivo de papa atraviesa por diferentes fases o etapas, que van desde el almacenaje del tubérculo hasta la cosecha, durante este periodo vegetativo se necesitan de adecuadas acciones de manejo. A este proceso se conoce como etapas fenológicas; que están divididas en fase vegetativa, fase reproductiva y la maduración.

## **Fase vegetativa I**

- V0 Brotación de semilla

Los tubérculos se encuentran en estado de dormancia, posterior a ello empezarán a emerger las yemas de los tubérculos; dura 2 a 3 meses, luego la papa está apta para sembrarse; los tubérculos deben presentar por lo menos 3 brotes cortos y fuertes que tengan una longitud de 0.5 a 1 cm (Román y Hurtado, 2002).

- V1 Emergencia

En semillas asexuales o tubérculos los brotes pueden emerger desde los 10 a 30 días dependiendo de la variedad y de 8 a 10 días en la semilla sexual. Para estimular su desarrollo en el campo se necesita contar con las condiciones adecuadas de humedad y temperatura en el suelo (Román y Hurtado, 2002).

- V2 Desarrollo

Durante los 50 y 90 días existe un desarrollo del follaje y raíces en forma simultánea, durante este periodo se recomienda fertilizar y realizar el rascadillo.

- V3 Inicio de floración y tuberización

La floración es un indicador de que la semilla empieza a desarrollar estolones o la tuberización, esta etapa inicia a los tres meses y medio y finaliza a los cuatro, por otra parte, es muy importante la existencia de suficiente humedad porque la planta entra en producción, también evitar la contaminación con tizón tardío (*Phytophthora infestan*), por lo que se recomienda realizar los adecuados controles fitosanitarios (Pumisacho y Velásquez, 2009).

## **Fase reproductiva II**

- R4 Fin de floración y tuberización

Todos los botones florales han reventado, en algunas variedades la floración finaliza entre 90 y 120 días, mientras que, en la tuberización, los estolones han formado tubérculos y da paso al engrose del mismo, este periodo fluctúa entre los 137 – 151 días (Pumisacho y Velásquez, 2009).

- R5 Engrose

Los tubérculos se desarrollan hasta llegar a su mayor tamaño, además, acumulan agua, nutrientes y carbohidratos producto de la fotosíntesis (López, 2011), esta etapa va desde los 127 a 151 días.

### Fase de maduración III

- R6 Maduración y cosecha

Existe un cambio periódico del color de las hojas debido a la disminución de la actividad fotosintética, se secan y mueren, mientras que el contenido de materia seca de los tubérculos llega a su mayor acumulación (Bouzo, 2009). Los tubérculos cosechados se clasifican acorde a la Tabla 4.

**Tabla 4:** Clasificación de tubérculos de papa realizada en la provincia del Carchi.

| Denominación        | Peso del tubérculo-semilla (g) |
|---------------------|--------------------------------|
| Primera o gruesa    | Mayor a 101                    |
| Segunda o rojoja    | 51 a 100                       |
| Tercera o rojojilla | 31 a 50                        |
| Cuchi o cuambiaca   | Menor a 30                     |

Fuente: Torres, Montesdeoca y Andrade, 2011

#### 2.2.1.6 Principales plagas y enfermedades en el cultivo de papa

La papa es atacada por insectos masticadores y enfermedades causadas por microorganismos (hongos y bacterias), los mismos que sin un control fitosanitario adecuado pueden acabar con el cultivo en muy poco tiempo y disminuir su rendimiento.

**Tabla 5:** Plagas y enfermedades en el cultivo de papa

| Plagas                            | Enfermedades                     |
|-----------------------------------|----------------------------------|
| Gusano blanco                     | Tizón tardío o lancha            |
| <i>Premnotrypes vorax</i> .       | <i>Phytophthora infestans</i> .  |
| Polillas                          |                                  |
| En Ecuador hay tres especies:     |                                  |
| • <i>Symmetrischema tangolias</i> | Tizón temprano                   |
| • <i>Tecia solanivora</i>         | <i>Alternaria solani</i>         |
| • <i>Phthorimaea operculella</i>  |                                  |
| Pulguilla                         | Rizoctoniasis                    |
| <i>Epitrix spp.</i>               | <i>Rhizoctonia solani</i> .      |
| Trips                             | Sarna polvorienta                |
| <i>Frankliniella tuberosi</i> .   | <i>Spongospora subterranea</i> . |

|                                                        |                                                                                                                                                                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Mosca minadora<br><i>Liriomyza spp.</i>                | La bacteria <i>Pectobacterium</i> spp. (antes llamada <i>Erwinia</i> ).<br>En Ecuador los principales virus son:<br>Virus S de la papa (PVS)<br>Virus X de la papa (PVX)<br>Sin embargo, también se encuentra:<br>Virus (PVA), (PVY), (PYVV), (PLRV) |
| Nematodo del quiste o bolitas<br><i>Globodera spp.</i> |                                                                                                                                                                                                                                                      |

Fuente: Montesdeoca, et al., 2013.

### 2.2.1.7 La papa en el Ecuador

En el Ecuador, la papa se ha cultivado tradicionalmente en la altura (2.000 a 3.600 msnm) donde la temperatura oscila de 6 a 18 °C con una precipitación de 600 a 1.200 mm, sin embargo, este tubérculo ha sido cultivado en ciertos lugares de la costa (Pumisacho y Sherwood, 2002), recientemente el Ministerio de Agricultura y Ganadería ha impulsado el cultivo de papa en la región insular generando resultados alentadores (MAG, 2017).

En la región interandina o sierra se identifican tres principales zonas productoras de papa: al norte se siembra en las provincias de Carchi e Imbabura; al centro, Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar; y al sur, Cañar, Azuay y Loja (Pumisacho y Velásquez, 2009).

Según la Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC) realizadas entre el año 2012 – 2017, Ecuador ha producido 2'249.436 toneladas métricas con un rendimiento promedio de 11,5 t ha<sup>-1</sup>. Los rendimientos obtenidos han incrementado periódicamente, sin embargo, en el año 2017 la superficie cosechada de papa presenta un ligero decrecimiento del 0,35%, de la misma manera bajó su producción alrededor del 10,73% con relación al 2016, donde se produjo a nivel nacional 422.589 t, dichos resultados están detallados en la Tabla 6.

**Tabla 6:** Superficie, producción y rendimiento nacional de papa en los años 2012-2017

| Año       | Superficie (ha) |           | Producción<br>(t) | Rendimiento<br>(t ha <sup>-1</sup> ) |
|-----------|-----------------|-----------|-------------------|--------------------------------------|
|           | Sembrada        | Cosechada |                   |                                      |
| 2012      | 35.770          | 34.320    | 285.100           | 8,3                                  |
| 2013      | 49.371          | 47.302    | 345.922           | 7,3                                  |
| 2014      | 34.014          | 33.208    | 421.061           | 12,7                                 |
| 2015      | 32.037          | 29.703    | 397.521           | 13,4                                 |
| 2016      | 32.742          | 29.635    | 422.589           | 14,3                                 |
| 2017      | 32.188          | 29.532    | 377.243           | 12,8                                 |
| Σ         | 216.122         | 203.700   | 2'249.436         | 68,7                                 |
| $\bar{X}$ | 36.020,33       | 33.950    | 374.906           | 11,5                                 |

Fuente: Información del INEC- ESPAC (2012 – 2017)

Elaborado: Luis Puetate (2018)

Por otra parte, la provincia del Carchi mantuvo el primer lugar en producción del tubérculo a nivel nacional en el periodo 2012-2016 con un rendimiento aproximado de 19,7 t ha<sup>-1</sup>, mientras que, en el 2017, la provincia de Pichincha obtuvo el primer lugar con una producción de 101.865 t que representa el 27% de la producción nacional en dicho año y su rendimiento fue de 18,9 t ha<sup>-1</sup>, como se muestra en la Tabla 7.

**Tabla 7:** Principales provincias productoras de papa en el periodo 2012- 2017

| Año  | 1er lugar | %    | (t ha <sup>-1</sup> ) | 2do lugar  | %    | (t ha <sup>-1</sup> ) | 3er lugar  | %    | (t ha <sup>-1</sup> ) |
|------|-----------|------|-----------------------|------------|------|-----------------------|------------|------|-----------------------|
| 2012 | Carchi    | 28,1 | 17,9                  | Cotopaxi   | 22,7 | 9,7                   | Chimborazo | 17,8 | 5,1                   |
| 2013 | Carchi    | 28,2 | 15,5                  | Chimborazo | 23,3 | 5,4                   | Cotopaxi   | 18,2 | 8,7                   |
| 2014 | Carchi    | 38,1 | 22,4                  | Chimborazo | 20,2 | 13,7                  | Cotopaxi   | 12,9 | 7,9                   |
| 2015 | Carchi    | 36,5 | 21,5                  | Tungurahua | 15,9 | 18,6                  | Cotopaxi   | 11,6 | 9,7                   |
| 2016 | Carchi    | 36,1 | 21,1                  | Chimborazo | 26,9 | 15,2                  | Cotopaxi   | 11,1 | 12,0                  |
| 2017 | Pichincha | 27,0 | 18,9                  | Carchi     | 25,8 | 17,3                  | Tungurahua | 13,9 | 15,7                  |

Fuente: Información obtenida del INEC - ESPAC (2012-2017)

Nota. %: Porcentaje de participación en la producción nacional

t ha<sup>-1</sup>: Rendimiento del cultivo en cada provincia

Elaborado: Luis Puetate (2018)

### **2.2.1.8 Fertilización edáfica del cultivo de papa**

Los suelos agrícolas están en la capacidad de suministrar los nutrientes requeridos por las plantas, sin embargo, sus propiedades físicas, químicas y biológicas hacen que esta capacidad sea muy variable y muchas veces limitada, la planta necesita de un nivel nutricional apropiado y balanceado, por ende, se necesita suministrar fertilizantes. La fertilización de la papa es una práctica generalizada en el país y muy variada en cuanto a fuentes, dosis y épocas de aplicación (Torres, Valverde y Andrade, 2012).

Los elementos como el Nitrógeno (N), Fósforo (P) y Potasio (K) poseen un evidente efecto sobre la producción y una respuesta positiva a la aplicación simultanea de estos (Pérez, Rodríguez y Gómez, 2008), para alcanzar un buen desarrollo radicular y aéreo en la etapa de establecimiento, el cultivo de papa demanda una elevada disponibilidad de P en el suelo, asimismo en la época de mayor crecimiento vegetativo necesita N y para el desarrollo y calidad de tubérculos se requiere K por su activa participación en el transporte de fotosintatos de las hojas (Alvarado et al. 2008).

### **2.2.1.9 Fertilización Química**

#### **Urea (46 - 0 - 0)**

La Urea es uno de los fertilizantes más conocidos, es un sólido granulado que proporciona altas cantidades de Nitrógeno (N), originalmente no contiene amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), pero por efecto de la enzima “ureasa” se hidroliza con rapidez lo que produce amonio y bicarbonato, el pH del suelo aumenta por la reacción de su acidez con los iones de bicarbonato, una vez que la urea se convierte en ( $\text{NH}_4^+$ ) y al nitrificarse es asimilado por las arcillas, la materia orgánica (MO) del suelo y las plantas (Fertinova, 2015). Es ampliamente utilizado por su rápida disponibilidad para la planta y posee propiedades químicas que le hacen compatible con muchos otros agroquímicos. El N es vital para la síntesis de clorofila, por esta razón está presente en el proceso de fotosíntesis y forma parte de la cadena de aminoácidos de las proteínas (QuimiNet, 2008). “El N es considerado como uno de los elementos más importantes en la nutrición de las plantas, la papa puede absorber N en forma nítrica ( $\text{NO}_3^-$ ) y amoniacal ( $\text{NH}_4^+$ )” (Pumisacho y Sherwood, 2002, p. 57).

**Tabla 8:** Propiedades químicas de la Urea

|                                                                |                                    |
|----------------------------------------------------------------|------------------------------------|
| Fórmula química:                                               | $\text{CO}(\text{NH}_2)_2$         |
| Contenido de N:                                                | 46% N.                             |
| pH en solución al 10%:                                         | 7,5 a 10 unidades                  |
| Apariencia:                                                    | Polvo cristalino blanco            |
| Densidad Aparente:                                             | $770 - 809 \text{ kg m}^{-3}$      |
| Solubilidad en agua<br>a 20 °C. (100 g 100 mL <sup>-1</sup> ): | 100 g 100 mL <sup>-1</sup> de agua |

Fuente: Fertinova, 2015

**Fosfato Diamónico (DAP) (18 – 46 – 0)**

Los fertilizantes de fosfato de amonio (DAP de sus siglas en inglés) comenzaron a estar disponibles en la década de 1960 y se convirtió rápidamente en el más popular en esta clase de productos. El DAP es el fertilizante de fósforo (P) más utilizado en el mundo, se considera un complejo químico por contar con dos nutrientes primarios (18 - 46 – 0) en su formulación y es popular debido a su contenido de nutrientes relativamente alto y excelentes propiedades físicas, es una excelente fuente de P y N para la nutrición de las plantas. Es altamente soluble y por lo tanto se disuelve rápidamente en el suelo para liberar fosfato y amonio disponibles en la planta, el amonio es una excelente fuente de N y las bacterias del suelo lo convertirán gradualmente en nitrato (IPNI, 2012).

**Tabla 9:** Propiedades químicas del Fosfato Diamónico (DAP)

|                                                                |                                                               |
|----------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Fórmula química:                                               | $(\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$                                 |
| Composición:                                                   | 18% N<br>46% $\text{P}_2\text{O}_5$ (20% P).                  |
| pH en solución al 10%:                                         | 7.5 a 8                                                       |
| Densidad Aparente ( $\text{Kg m}^{-3}$ ):                      | $955 - 1,040 \text{ kg m}^{-3}$                               |
| Solubilidad en agua<br>a 20 °C. (100 g 100 mL <sup>-1</sup> ): | 58g 100 mL <sup>-1</sup> de agua                              |
| Presentación física:                                           | Gránulos esféricos de color<br>café oscuro, grisáceo o negro. |

Fuente: IPNI, 2012

### **Muriato de Potasio (0 – 0 – 60)**

Dentro de la agricultura, Potasa es un término general usado para denominar una variedad de fertilizantes que incluyen Potasio (K). Antiguamente se utilizaba el término “muriato” para designar sales que contienen cloruro, en la actualidad se emplea el término Cloruro de Potasio (KCl) y es comúnmente la fuente más usada por estar presente en forma de catión monovalente ( $K^+$ ). En la producción mundial más del 90% de potasa es utilizada en la nutrición vegetal. Los fertilizantes potásicos son aplicados para corregir las deficiencias de las plantas, especialmente en suelos donde las cantidades de potasio (K) requeridas por el cultivo son bajas. La humedad del suelo hace que el KCl se disuelva rápidamente y el  $K^+$  es retenido en los sitios de intercambio con carga negativa de las arcillas y la materia orgánica del suelo. Por su parte, el  $Cl^-$  se moverá rápidamente con el agua del suelo (IPNI, 2013).

El K en las plantas es indispensable en los procesos fotosintéticos, en la síntesis de proteínas como también para la descomposición de carbohidratos para producir energía, “El K es un activador de los sistemas enzimáticos que regulan el metabolismo de la planta, como la apertura y cierre de los estomas lo cual contribuye a la resistencia de sequía” (Pumisacho y Sherwood, 2002, p. 64).

**Tabla 10:** Propiedades químicas del Muriato de Potasio

|                                                                |                                                       |
|----------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|
| Fórmula química:                                               | KCl                                                   |
| Grado del fertilizante:                                        | 0 - 0 – 60                                            |
| Contenido de $K_2O$ :                                          | 60 a 63%                                              |
| Contenido de Cl:                                               | 45 a 47%                                              |
| pH en solución al 10%:                                         | Aprox. 7                                              |
| Solubilidad en agua<br>a 20 °C. (100 g 100 mL <sup>-1</sup> ): | 34,4 g 100 mL <sup>-1</sup> de agua                   |
| Presentación física:                                           | Color y tamaño variable va de<br>café rojizo a blanco |

Fuente: IPNI, 2013

El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) manifiesta que, para establecer un cultivo, es fundamental realizar previamente un análisis de suelo con la finalidad de conocer las características o propiedades que posee y adecuar el programa de fertilización necesario de acuerdo a los requerimientos nutricionales de cada cultivo. Por esta

razón se investigaron las cantidades de fertilizantes necesarias para obtener rendimientos favorables en el cultivo de papa que están detallados en la Tabla 11.

**Tabla 11:** Recomendaciones de fertilización para papa comercial

| Análisis de suelo      | N         | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | K <sub>2</sub> O | S       |
|------------------------|-----------|-------------------------------|------------------|---------|
| (kg ha <sup>-1</sup> ) |           |                               |                  |         |
| Bajo                   | 150 - 200 | 300 - 400                     | 100 - 150        | 20 - 30 |
| Medio                  | 100 - 150 | 200 - 300                     | 60 - 100         | 10 - 20 |
| Alto                   | 50 - 100  | 100 - 200                     | 30 - 60          | 0 - 10  |

Fuente: INIAP (2009). Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del callejón interandino. p.17.

#### 2.2.1.10 Forma y época de fertilización

Aplicar al fondo del surco a chorro continuo todo el P, K, S y la mitad del N, cubrir el fertilizante y sembrar; la otra mitad del N aplicar en banda lateral al medio aporque (INIAP, 2009).

### 2.2.2 Nutrición a base de fósforo

#### 2.2.2.1 Fósforo: Origen y función

En el año 1834 J.B. Boussingault inicia sus célebres experiencias de campo en Alsacia y determinó por primera vez la esencialidad del fósforo (P) en la vida vegetal. Posteriormente, en 1840 el químico alemán Justus von Liebig realiza cuantiosos análisis de suelos y plantas corroborando la función del fósforo en la formación de semillas. Por otro lado, J. B. Lawes basándose en los descubrimientos de Liebig realizaba sus propias investigaciones en fertilización a base de fosfatos de rocas, harina de hueso, entre otros. Años más tarde concretó que el fósforo es indispensable en todos los cultivos (Navarro y Navarro, 2003).

Según García, Lovaisa y Ulla (2015) “el fósforo (P) es un elemento esencial para la vida” (p. 2), en el mundo vegetal es un elemento muy importante en la nutrición que permite llevar a cabo las funciones de crecimiento, desarrollo y metabolismo de la planta. Además, es un fundamental constituyente de ácidos nucleicos, fitina, fosfolípidos, nucleótidos, coenzimas y enzimas (Deepshikha, Rajesh & Vineet, 2014).

El P es el macronutriente más eficaz en el crecimiento de las plantas después del Nitrógeno (N) y representa alrededor del 0,2 % del peso seco de la misma (Adavi & Tadayoun, 2014).

Asimismo, su principal función es “contribuir a los procesos de fotosíntesis, respiración, almacenamiento y transferencia de energía, división y crecimiento celular, y transferencia genética” (Pumisacho y Sherwood, 2002, p. 60).

#### **2.2.2.2 El fósforo en el suelo**

Para Fassbender y Bornemisza (1987) en el suelo se encuentra el P en forma de ortofosfato que se deriva del ácido fosfórico ( $\text{H}_3\text{PO}_4$ ). Estos fosfatos a su vez se dividen en orgánicos e inorgánicos. El contenido de fósforo en los suelos es muy inconstante, en áreas templadas fluctúa entre 200 y 800  $\text{mg kg}^{-1}$ , en suelos tropicales puede encontrarse valores extremos de 18  $\text{mg kg}^{-1}$ , mientras que en suelos andisoles registran valores altos de 3300  $\text{mg de P kg}^{-1}$ .

#### **2.2.2.3 Fosfatos orgánicos**

“Los fosfatos de inositol constituyen el mayor grupo de compuestos orgánicos de fósforo en el suelo, estos compuestos contienen aproximadamente una tercera parte del fósforo orgánico” (Afif, 2005, p.14). Existen investigadores que afirman que la fitina puede ser absorbida directamente por la planta, mientras que otros manifiestan que este compuesto fosforado se comporta en el suelo como los fosfatos inorgánicos, formando fitinatos de hierro (Fe) y aluminio (Al) no aprovechables en los suelos ácidos y fitinatos cálcicos insolubles en los alcalinos (Navarro y Navarro, 2003). El P orgánico está asociado al contenido de materia orgánica (MO) ya que esta estimula la actividad microbiana, además la MO se encuentra dominada de cargas negativas y facilita la formación de cationes hidroxilados con Fe y Al, estas combinaciones son complejas e inmovilizan estos iones y dejan libres a los iones fosfatos, de esta manera aumenta la disponibilidad del P en el suelo (Pellegrini, 2017).

#### **2.2.2.4 Fosfatos inorgánicos**

La clase de ion fosfato varía con el pH de la disolución, con un pH del suelo comprendido entre 4 y 10 se presentan tres formas de ortofosfatos  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  y  $\text{PO}_4^{3-}$ . Cuando el pH es bajo, domina la forma monovalente mientras que la forma divalente empieza a dominar en pH superiores a 7 y con un pH 6 – 7 la concentración de los iones en solución es máxima, por lo tanto, si se considera únicamente el pH del suelo, la asimilación del fósforo sería normal a pH bajos, cuando la disolución del suelo presente una acidez notable, ya que la forma  $\text{HPO}_2^{2-}$  es la más asimilable para las plantas (Navarro y Navarro, 2003).

La adsorción del P es un fenómeno que depende del pH, cuando éste es ácido aumentan las cargas positivas de los coloidales, además, los óxidos de Fe e hidróxido de Al poseen un papel fundamental en la retención del fósforo del suelo. Estos minerales tienen carga neta positiva, y cuando el ortofosfato es ligado a través de un enlace Al - O - P, el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  puede ser rápidamente disponible, mientras que en el enlace Al - O con el  $\text{H}_2\text{PO}_4^-$  se forma un anillo de seis elementos, por ende, la desorción es menos factible (Pellegrini, 2017).

#### **2.2.2.5 El Fósforo en el cultivo de papa**

El fósforo es uno de los más importantes elementos requerido por las plantas, está presente en la composición de estructuras macromoleculares como los ácidos nucleicos y fosfolípidos en las biomembranas (Hernández, Forero, Antolines y Serrano, 2012). En el cultivo de papa la concentración de P en raíces y follaje es muy variable, ya que se ha detectado un bajo nivel de P en raíces por los mecanismos activos de absorción de la planta, concentrando 100 veces más P en el xilema y 1000 veces más en la vacuola que en la solución del suelo (Covarrubias, Castillo, Vera, Núñez, Sánchez, Aveldaño y Peña, 2005). El Fósforo permite a la planta mejorar la captación de otros nutrientes, ayuda al crecimiento y desarrollo, proporciona resistencia frente a enfermedades, acelera la madurez, mejora el rendimiento y calidad del cultivo, mientras que su deficiencia en la planta genera enanismo y un color verde azulado en tallos y hojas (CIP, 2017).

#### **2.2.3 Microorganismos en la agricultura**

En el ecosistema existe una amplia gama de interrelaciones entre especies de microorganismos, ya sea sinérgicas, antagónicas, de competencia física y bioquímica, éstos se encuentran influenciados por múltiples y complejos factores bióticos y abióticos (Cano, 2011). La diversidad y el número de microorganismos dependen de los nutrientes exudados por las raíces de las plantas y muchas veces las condiciones del suelo determinan su interacción benéfica, dañina o neutral con la planta (Soroa, Hernández, Soto y Terry, 2009).

Los microorganismos están presentes en los procesos de formación y degradación del suelo, además intervienen en los ciclos biológicos de elementos muy importantes como: Carbono, Nitrógeno, Fósforo, Azufre y Hierro (Soria, 2016). En la actualidad se empezó a mostrar mayor interés por la sostenibilidad agrícola, debido a que un manejo adecuado de los agroecosistemas produce beneficios para el hombre como también al balance ecológico y agroecológico (Ferrera y Alarcón, 2011).

### 2.2.3.1 Microorganismos solubilizadores de fósforo

La disponibilidad del fósforo puede ser facilitada por la acción de algunos hongos y bacterias solubilizadores de fosfatos de calcio, hierro y aluminio (Tandon & Roy, 2004). Los grupos microbianos capaces de solubilizar el fósforo edáfico son varios y entre ellos los de mayor relevancia son los hongos, muchos de los cuales son patógenos como el *Aspergillus*, *Fusarium*, *Sclerotium*. Un segundo grupo lo constituyen los *Actinomycetes* grandes productores de sustancias antibióticas y bacterias como: *Bacillus*, *Flavobacterium* y *Pseudomonas* (Oviedo & Iglesias, 2005).

Las bacterias solubilizadoras de fósforo (PSB, Phosphorus Solubilizing Bacteria), que han sido referenciadas en la literatura de ambos grupos, benefician el crecimiento de la planta porque incrementan el fósforo disponible en el suelo y de esta forma favorecen el crecimiento vegetal (Vassilev et al., 2006). Entre los géneros bacterianos con esta capacidad se encuentran: *Pseudomonas*, *Bacillus*, *Rhizobium*, *Burkholderia*, *Achromobacter*, *Agrobacterium*, *Micrococcus*, *Aerobacter*, *Flavobacterium* y *Erwinia* (Rodríguez y Fraga, 1999).

### 2.2.3.2 Mecanismos de solubilización de fósforo

Existen tres mecanismos más ampliamente aceptados como responsables de la solubilización microbiana del P mineral.

- a) La disociación de los ácidos orgánicos libera protones que reducen el pH del suelo y ayuda a la disolución de los minerales fosfóricos, las reacciones de quelatación en las cuales los componentes aniónicos de los ácidos orgánicos se intercambian por el grupo ortofosfato de los fosfatos de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$  y  $\text{Al}^{3+}$ , liberándolo en la solución de suelo.
- b) Existen microorganismos que pueden solubilizar P sin producir algún tipo de ácidos orgánicos sino a través de la producción de protones durante la asimilación del  $\text{NH}_4^+$ , o resultantes de los procesos respiratorios, que al bajar el pH de la solución del suelo favorece la solubilización de los fosfatos precipitados.
- c) Otro mecanismo es por la producción de ácidos inorgánicos como el ácido nítrico y el ácido sulfúrico que generan las bacterias nitrificantes, en la oxidación de compuestos nitrogenados o del azufre inorgánico, los cuales reaccionan con los fosfatos insolubles tornándolos biodisponibles (Patiño y Sanclemente, 2014).

### 2.2.3.3 Micorrizas

Hasta donde se conoce las infecciones micorrízicas se dieron hace más de 370 millones de años y se dice que son tan antiguas como la historia de las plantas en la Tierra, por ello “es realmente posible que la colonización de la tierra por las plantas y la evolución de toda la flora terrestre haya sido en simbiosis con los hongos micorrizógenos, quienes coevolucionaron hasta lo que son hoy en día” (Fernández, 2003, p.4). La palabra micorriza proviene del latín mico (hongo) y riza (raíz) (Faggioli, Freytes y Galarza, 2008) que significa “hongo de la raíz”. Y se define como la asociación benéfica existente entre la raíz de la planta y el hongo micorrízico (Gutjahr & Parniske, 2013).

Se utilizó por primera vez este término en 1800 para nombrar a los hongos que hacían simbiosis con las raíces de las plantas superiores (Faggioli, Freytes y Galarza, 2008; Adavi & Tadayoun, 2014). No obstante, en 1887 el patólogo forestal alemán Albert Frank reconoció la distinción entre micorriza ecto y endotrófica (Rodríguez, 2015). Aunque ambos tipos proporcionan funciones y beneficios muy similares a sus hospedante, su distinción es muy evidente debido al tipo de hongo implicado.

Las ectomicorrizas a pesar que existen variaciones morfológicas posee tres características principales como: la formación de un manto o vaina de hifas que cubren porciones considerables de raíces laterales, el desarrollo de hifas entre las células de la raíz para formar la red de Hartig, y la hifa que emana del manto y crece en el suelo (Gutiérrez, 2012). De esta manera existe el intercambio de nutrientes y agua entre el hongo y el hospedante. La micorriza proporciona y libera los nutrientes a la planta y esta a su vez provee al hongo carbohidratos y otros productos de la fotosíntesis (Calderón, Acosta, Douds, Reeves & Vigil, 2009).

Sin embargo, las endomicorriza o también llamadas micorrizas arbusculares (MA) se caracterizan por mantener asociaciones de beneficio mutuo entre los hongos (phylum Glomeromycota) y el 80% de raíces de plantas terrestres, incluyendo a cultivos agrícolas más importantes (Adavi & Tadayoun, 2014). Además, las MA colonizan los tejidos radicales durante el periodo de crecimiento activo de la planta (Sosa, Sánchez, Morales y Cruz, 2005). Estas presentan hifas intra o intercelulares también llamados arbúsculos que son hifas ramificadas que promueven el intercambio de nutrientes, además, el micelio extra radical conecta a la raíz con el suelo (Gutiérrez, 2012).

#### **2.2.3.4 Importancia de las micorrizas en la agricultura**

Para mantener una agricultura sostenible es necesario e indispensable la presencia de hongos micorrizógenos, microorganismos benéficos y otros pobladores del suelo, los mismos que pueden ayudar a reducir la aplicación de insumos químicos, lo cual es ventajoso para el ambiente y la salud humana (Blanco y Salas, 1997). Las MA posee un extenso micelio que forma vínculos entre las plantas y el suelo permitiendo la absorción de nutrientes de baja movilidad como el fósforo (P), sin embargo, si el nivel de P es alto la raíz puede absorberlo por si sola lo que reduce o inhibe la asociación simbiótica del hongo. Por otro lado, para una mayor eficiencia de las micorrizas en la agricultura se debe trabajar con hongos nativos del sector (Barrer, 2009).

#### **2.2.3.5 Beneficios de las micorrizas**

Las micorrizas incrementan el volumen de la raíz en las plantas lo que permite una exploración más extendida de la rizosfera (Noda, 2009). Según Usugua, Castañeda, Franco, Gómez y Lopera (2008), las MA estimulan el enraizamiento y crecimiento de las plántulas, además reduce la aplicación externa de fosfatos, aumenta la resistencia de las plantas al ataque de patógenos que afectan la raíz. Por otro lado, Adavi & Tadayoun (2014) afirman que las MA reciben energía y recursos carbónicos de las plantas y éstas a su vez proporcionan la facilidad de absorción de muchos nutrientes inorgánicos tales como: el Fósforo, Zinc, Molibdeno, Cobre y Hierro.

#### **2.2.4 Biofertilizantes y bioestimulantes**

Los biofertilizantes son insumos a base de microorganismos benéficos principalmente bacterias y hongos, éstos incrementan el suministro de nutrientes gracias a su trabajo en los ciclos biogeoquímicos como la fijación del nitrógeno atmosférico, mineralización de compuestos orgánicos, solubilización del fósforo y otros elementos. Además, presentan grandes ventajas como la restauración de los suelos, mejoradores ecofisiológicos, eliminan sustancias xenobióticas generadas por agroquímicos e incrementan la resistencia de la planta a condiciones desfavorables y su productividad (Grageda, Díaz, Peña y Vera, 2012). Por otra parte, los bioestimulantes contienen sustancias orgánicas beneficiosas como fitohormonas, aminoácidos, ácidos húmicos que promueven el desarrollo de las plantas y aumenta la tolerancia al estrés ambiental, el término bioestimulante fue definido por primera vez por Kauffman para su distinción de los fertilizantes (Du Jardin, 2015).

#### 2.2.4.1 Safer micorrizas – Micorrizas Arbusculares (MA)

Es un bioestimulante radicular comercial que contiene esporas, micelio y propágulos (raicillas colonizadas, micelio libre) de micorrizas arbusculares de los géneros *Glomus*, *Acaulospora*, *Scutellospora* y *Entrophospora*, que al establecer una simbiosis con la planta mejora el desarrollo e incrementa su productividad y reduce el uso de fertilizantes en especial los fosforados, convirtiéndose en un biofertilizante muy eficiente y amigable con el medio ambiente. Su inoculación edáfica beneficia a la mayoría de los cultivos de importancia económica al hacerlos más eficientes en la absorción de nutrientes, toma de agua, tolerancia a condiciones de estrés como salinidad, suelos ácidos y/o básicos y compactación, igualmente protege a las raíces contra el ataque de hongos fitopatógenos radiculares y nematodos (AGROBIOLÓGICOS SAFER, 2017).

**Tabla 12:** Características de Safer micorriza

| CARACTERÍSTICA                | COMPOSICIÓN                                                                                                                                                                        |
|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Especies                      | <i>Glomus fasciculatum</i> , <i>Scutellospora heterogama</i> ,<br><i>Glomus mosseae</i> , <i>Glomus manihotis</i> ,<br><i>Acaulospora rugosa</i> y <i>Entrophospora colombiana</i> |
| Sustratos                     | Suelo desinfectado libre de microorganismos patógenos                                                                                                                              |
| pH                            | 5.0 - 6.0                                                                                                                                                                          |
| Humedad gravimétrica          | Máximo 15%                                                                                                                                                                         |
| % Raíces colonizadas          | Mínimo 70%                                                                                                                                                                         |
| Concentración de esporas      | 240 esporas g <sup>-1</sup>                                                                                                                                                        |
| Índice de diversidad promedio | 6                                                                                                                                                                                  |
| Vida útil                     | 1 año, conservado en un ambiente fresco y seco, protegido de los rayos directos del sol.                                                                                           |
| Presentación                  | Bulto por 10 y 50 kg                                                                                                                                                               |

Fuente: (AGROBIOLOGICOS SAFER, 2017)

#### 2.2.4.2 Fosfotic - Bacterias Solubilizadoras de Fósforo (BSF)

Es un biofertilizante compuesto por un complejo de bacterias nativas del Ecuador, con capacidad de solubilizar fósforo retenido en el suelo y convertirlo en fósforo disponible y

asimilable para la planta. Recomendado para biofertilización en cultivos orgánicos y para cultivos convencionales en zonas con alto poder de retención de fósforo. Su aplicación reduce la fertilización fosforada, además, promueve el desarrollo de las plantas y raíces, gracias a la producción de fitohormonas como el ácido indolacético y citoquininas.

**Tabla 13:** Composición del Fosfotíc

| COMPOSICIÓN                          | CONCENTRACIÓN                      |
|--------------------------------------|------------------------------------|
| Ingredientes activos:                |                                    |
| Bacterias solubilizadoras de fósforo | 40%                                |
| Ingrediente inerte                   | 60%                                |
| Contenido UFC                        | $5 \times 10^{12} \text{ mL}^{-1}$ |

Fuente: (AGRODIAGNOSTIC, 2016)

### Dosis

- Cultivos de ciclo corto 1 litro  $\text{ha}^{-1}$  (Aplicar 3 veces en el ciclo, dependiendo las necesidades de P)
- Cultivos de ciclo largo aplicar 1 litro  $\text{ha}^{-1}$  (Aplicar 1 vez al mes) (AGRODIAGNOSTIC, 2016).

#### 2.2.4.3 El Biol

Es un bioestimulante que se obtiene del proceso de descomposición anaeróbica de desechos orgánicos, que ayuda a un mejor al desarrollo de las plantas, mejora el enraizamiento y fortalece la base radicular, ejerce una acción sobre el follaje ampliando la base foliar, mejora la floración y activa el vigor y el poder germinativo de las semillas (Suquilanda, 2017). Además, el biol es una fuente orgánica de fitorreguladores como giberelinas y auxinas, que promueve las actividades fisiológicas del cultivo convirtiéndose así en un potente producto ecológico aumentando significativamente las cosechas (Zúñiga, 2014).

**Tabla 14:** Composición bioquímica del biol

| COMPONENTE       | CANTIDAD  |
|------------------|-----------|
| Sólidos Totales  | 5,6%      |
| Materia Orgánica | 38%       |
| Fibra            | 20%       |
| Nitrógeno        | 1,6%      |
| Fósforo          | 0,2%      |
| Potasio          | 1,5%      |
| Calcio           | 0,2%      |
| Azufre           | 0,2%      |
| Giberelinas      | 9,7 ng/g  |
| Tiaminas         | 9,3 ng/g  |
| Riboflavina      | 83,3 ng/g |

Fuente: (Suquilanda, 2017)

### **Ventajas del biol**

- Los materiales para su elaboración se pueden encontrar con facilidad en la comunidad por ende su costo es bajo.
- Su preparación es fácil y no requiere de una receta específica, los materiales pueden variar.
- Mejora el vigor del cultivo además le permite soportar con mayor eficacia condiciones adversas del clima y al ataque de plagas y enfermedades (INIA, 2008).

### **Dosis**

- Para hortalizas 1 litro de biol por 19 litros de agua.
- Para frutales 2 litros de biol en 18 litros de agua.
- En plantas perennes puede tolerar hasta 3 litros de biol por 17 litros de agua.
- Aplicación directa al suelo 250-500 mL de biol sin diluir.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1 ENFOQUE METODOLÓGICO

##### 3.1.1 Enfoque

**Cuantitativo:** “Enfoque cuantitativo utiliza la recolección de datos para probar hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, con el fin establecer pautas de comportamiento y probar teorías” (Hernández, Fernández y Batista, 2014. p. 37).

En este trabajo investigativo predomina el enfoque cuantitativo, porque fue necesario realizar la recolección de datos en cada una de las variables evaluadas, de acuerdo a sus respectivos tratamientos en el campo, los mismo que fueron sometidos a procesos estadísticos para determinar la alternativa más favorable en este experimento.

##### 3.1.2 Tipo de Investigación

- Bibliográfica

Se recolectó información oportuna y necesaria de diferentes fuentes primarias y secundarias, como: libros, artículos científicos, informes realizados a nivel nacional e internacional. Dicha información ayudó a enriquecer conocimientos para desarrollar la investigación.

- Campo

La investigación se desarrolló en la finca “Lucita” a condiciones de campo abierto además el investigador obtuvo datos in situ de las variables a evaluar.

- Experimental

El investigador implantó un ensayo o experimento con diseño de bloques completamente al azar (DBCA), para diferenciar estadísticamente a los tratamientos se aplicó la prueba de Tukey al 5%, además se tomaron muestras foliares y de tubérculos de cada unidad experimental para su respectivo análisis bromatológico en los laboratorios de la Universidad Politécnica Estatal del Carchi (UPEC).

## **3.2 HIPÓTESIS**

### **3.2.1 Hipótesis alternativa:**

Las alternativas de fertilización para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) con el empleo de micorrizas, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local mejoran la producción.

### **3.2.2 Hipótesis nula:**

Las alternativas de fertilización para el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) con el empleo de micorriza, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local no mejoran la producción.

### 3.3 DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

**Tabla 15:** Definición y Operacionalización de variables

| HIPÓTESIS                                                                                                                                                                                                             | VARIABLES                                                                                                                                                                                                     | DEFINICIÓN                                                                                                                  | DIMENSIONES                                                                                                                                                                                                                                       | INDICADORES:                                                                                             | TÉCNICAS                                                 | INSTRUMENTO                 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------|
| Las Alternativas de fertilización para el cultivo de la papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) con el empleo de micorrizas, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local mejoran la producción. | <b>VARIABLE INDEPENDIENTE</b><br><br>- Biofertilizantes: micorrizas, bacterias solubilizadoras de fósforo<br>- Bioestimulantes: Biol<br>- Fertilizantes químicos: Urea, Fosfato diamónico, Muriato de potasio | Biofertilización con microorganismos solubilizadores de fósforo sobre el rendimiento del cultivo de la papa a campo abierto | Safer micorrizas: es un producto comercial con base en micorrizas arbusculares de los géneros <i>Glomus</i> , <i>Acaulospora</i> , <i>Scutellospora</i> y <i>Entrophospora</i> que ayudan en el desarrollo radicular y productivo de las plantas. | Se pesó 10 g planta <sup>-1</sup> y se realizó la inoculación a los 21 días después de la siembra (dds). | Se inoculó como enmienda agrícola a cada planta de papa  | Balanza electrónica, manual |
|                                                                                                                                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                               |                                                                                                                             | Fosfotíc: complejo de bacterias con capacidad de solubilizar fósforo retenido en el suelo y convertirlo en fósforo disponible y asimilable para la planta.                                                                                        | Se aplicó en drench, a la siembra, a los 21 y 48 dds, en dosis de 5 mL L <sup>-1</sup> .                 | Se asperjó a las plantas de los respectivos tratamientos | Bomba de mochila            |

|                                                                               |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                                                        |                                                                                                                                                  |                                                                 |                                     |
|-------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|-------------------------------------|
|                                                                               |                                                                                                                                                                                        | <p>Biol: Es un bioestimulante vegetal de fuente orgánica de fitorreguladores como giberelinas y auxinas, que promueven las actividades fisiológicas y el desarrollo de las plantas</p> | <p>Se hizo 5 aplicaciones a la planta (55, 70, 83, 98 y 113 dds) en dosis: 100 mL L<sup>-1</sup>.</p>                                            | <p>Se asperjó a las plantas de los respectivos tratamientos</p> | <p>Bomba de mochila</p>             |
| <p><b>VARIABLE DEPENDIENTE</b></p> <p>Productividad en el cultivo de papa</p> | <p>La productividad agrícola se determina como la producción que se obtiene en determinada área y los factores productivos que están relacionados con la eficacia y la eficiencia.</p> | <p>Emergencia</p>                                                                                                                                                                      | <p>A los 21 dds se realizó el conteo de plantas emergidas y su resultado es expresado en porcentaje.</p>                                         | <p>Observación y registro</p>                                   | <p>Libreta de campo</p>             |
|                                                                               |                                                                                                                                                                                        | <p>Número de tallos aéreos</p>                                                                                                                                                         | <p>A los 56 dds se realizó el conteo de tallos aéreos en las plantas muestra (6 plantas) por cada tratamiento.</p>                               | <p>Observación y registro</p>                                   | <p>Libreta de campo</p>             |
|                                                                               |                                                                                                                                                                                        | <p>Diámetro de tallos</p>                                                                                                                                                              | <p>A 91 dds se midió el diámetro de las plantas seleccionadas con un calibrador a 2cm del suelo, el resultado se expresa en centímetros (cm)</p> | <p>Observación/ medición/ registro</p>                          | <p>Libreta de campo, calibrador</p> |

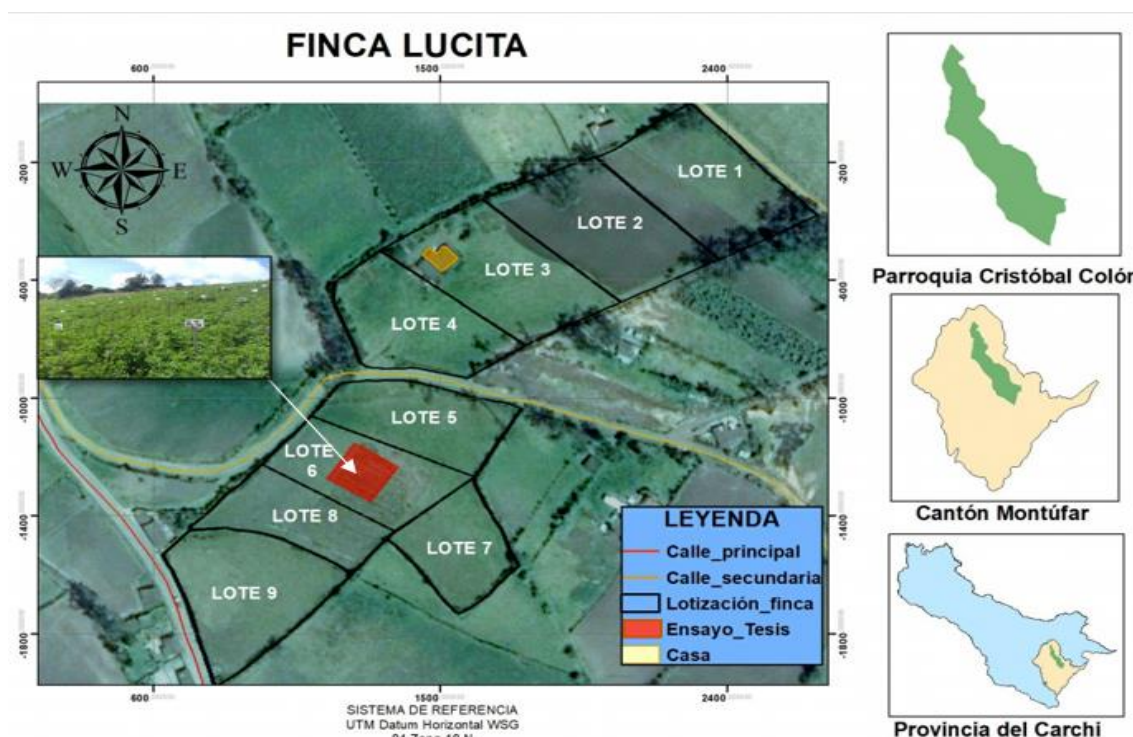
|  |  |  |                                                                                                                                                                                                             |                                                     |                                                  |
|--|--|--|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
|  |  |  | <p>Altura de planta</p> <p>A los 91 dds se midió con un flexómetro el crecimiento de las plantas muestra, desde la base del tallo hasta la yema apical, se reporta en centímetros (cm).</p>                 | <p>Observación/<br/>medición/<br/>registro</p>      | <p>Flexómetro, Libreta de campo, flexómetro</p>  |
|  |  |  | <p>Clasificación de los tubérculos por categoría.</p> <p>A los 178 dds se realizó la categorización de tubérculos (primera, segunda y tercera) de las 6 plantas de cada tratamiento.</p>                    | <p>Observación/<br/>clasificación/<br/>registro</p> | <p>Libreta de campo</p>                          |
|  |  |  | <p>Número de tubérculos por planta</p> <p>En la cosecha, de las 6 plantas muestra de cada tratamiento se contó los tubérculos por categoría y el total de tubérculos obtenidos por planta.</p>              | <p>Observación/<br/>conteo/<br/>registro</p>        | <p>Libreta de campo</p>                          |
|  |  |  | <p>Peso de los tubérculos por planta</p> <p>En la cosecha se pesó los tubérculos (<math>\text{kg planta}^{-1}</math>) por categoría y el total en las 6 plantas de la parcela neta de cada tratamiento.</p> | <p>Observación/<br/>medición/<br/>registro</p>      | <p>Libreta de campo/<br/>balanza electrónica</p> |

|  |  |  |                                                            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |                                                      |                                               |
|--|--|--|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|  |  |  | Análisis de costos de producción                           | Luego de la cosecha se procedió a realizar el análisis de costos de producción de cada tratamiento.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | Registro/<br>Cálculo                                 | Herramienta informática<br>Microsoft Excel    |
|  |  |  | Análisis bromatológicos de muestras foliares y tubérculos. | A los 90 días, se realiza el análisis foliar, con (100 g) de muestra por cada tratamiento, se realizó el análisis y se determinó el contenido de materia seca: cenizas, N, P, K, los resultados se expresan en porcentajes (%).<br>En la cosecha se seleccionaron aleatoriamente tres tubérculos (200 g) de las plantas muestra por cada tratamiento y posteriormente se determinó el contenido de materia seca, cenizas, N, P, K, los resultados se expresan en porcentajes (%). | Técnicas/<br>análisis/<br>determinación/<br>registro | Equipos y material de laboratorio/<br>libreta |

Elaborado por Luis Miguel Puetate (2018)

### 3.4 MÉTODOS UTILIZADOS

#### 3.4.1 Localización del experimento



**Figura 1:** Ubicación geográfica de la finca  
Realizado por Salas, R (2018)

El ensayo fue implementado el 20 de enero del 2018 en la finca Lucita, ubicada en el sector El Ejido, Parroquia Cristóbal Colón, Cantón Montúfar, Provincia del Carchi cuyas características se detallan en la Tabla 16.

**Tabla 16:** Características del sector y ubicación del experimento

| CARACTERÍSTICAS    |                 |
|--------------------|-----------------|
| Temperatura        | 12,7 °C         |
| Precipitación      | 900 a 1200 mm   |
| Altitud            | 2849 msnm       |
| Humedad            | 76%             |
| Longitud           | 77°48'44,35'' O |
| Latitud            | 0°35'57,16'' N  |
| Pendiente del lote | 27%             |

Fuente: Elaborado por Luis Miguel Puetate con datos del INAMHI (2017)

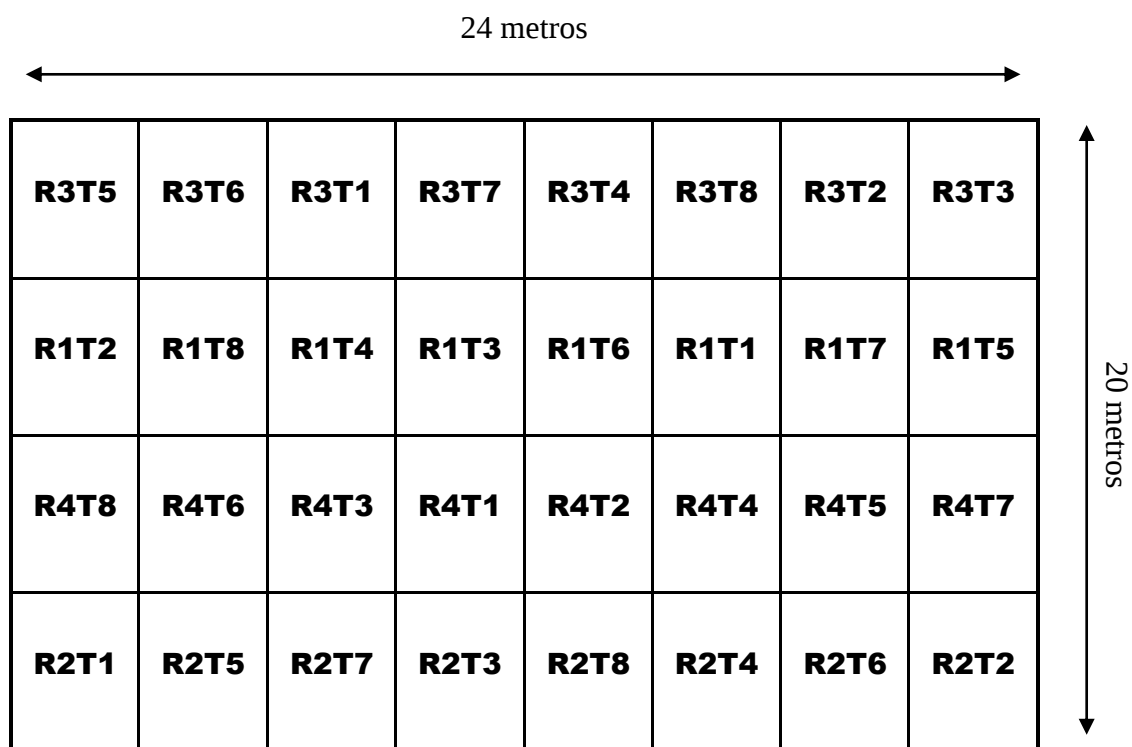
### 3.4.2 Descripción y características del experimento

En la presente investigación se utilizó un diseño de bloques completamente al azar (DBCA), conformado por ocho tratamientos y cuatro repeticiones, dando un total de treinta y dos unidades experimentales, cada unidad experimental consta de treinta plantas de las cuales serán evaluadas seis plantas.

**Tabla 17:** Descripción de las características del diseño experimental.

| Diseño de bloques completo al azar  | Dimensiones                      |
|-------------------------------------|----------------------------------|
| Número de tratamientos              | 8                                |
| Número de repeticiones              | 4                                |
| Número de unidades experimentales   | 32                               |
| Número de plantas / parcela neta    | 6                                |
| Área total del experimento          | 480 m <sup>2</sup> (24 m x 20 m) |
| Área neta experimental              | 15 m <sup>2</sup> (3 m x 5 m)    |
| Distancia entre plantas             | 0,50 m                           |
| Distancia entre surco               | 1 m                              |
| Tubérculos semilla (70 g) por sitio | 1                                |

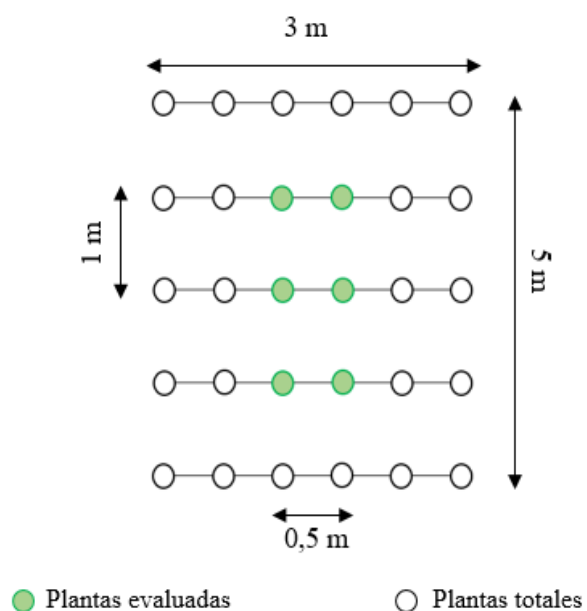
Elaborado por Luis Miguel Puetate (2017)



**Figura 2:** Distribución de tratamientos

### 3.4.3 Población y muestra de la investigación

El diseño experimental implantado contó con una población total de 960 plantas fraccionadas en 32 parcelas. Se eligió una muestra de 6 plantas por parcela o tratamiento dando un total de 192 unidades a evaluar.



**Figura 3:** Diseño de la parcela y ubicación de plantas evaluadas.

### 3.4.4 Tratamientos

El ensayo contó con ocho tratamientos, su composición y descripción se detallan a continuación (Tabla 18.)

**Tabla 18:** Diseño de tratamientos y descripción de cada uno

| Tratamiento | Composición                           | Descripción                                                                                                                                                               |
|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>T1</b>   | 100% NPK                              | 135 kg ha <sup>-1</sup> de Nitrógeno (N) + 335 kg ha <sup>-1</sup> Fósforo (P) + 225 kg ha <sup>-1</sup> de Potasio (K), Dosis promedio que usa el agricultor de la zona. |
| <b>T2</b>   | 100% NPK + FOSFOTIC                   | 135 kg ha <sup>-1</sup> de N + 335 kg ha <sup>-1</sup> P + 225 kg ha <sup>-1</sup> de K + Fosfotic - Complejo de bacterias solubilizadoras de fósforo (BSF).              |
| <b>T3</b>   | 100% NPK + MICORRIZA                  | 135 kg ha <sup>-1</sup> N + 335 kg ha <sup>-1</sup> P + 225 kg ha <sup>-1</sup> de K + 10 g por planta de formulación de Safer micorrizas (endomycorrizas).               |
| <b>T4</b>   | 100% NK, 75% P + FOSFOTIC + MICORRIZA | 135 kg ha <sup>-1</sup> de N + 251,25 kg ha <sup>-1</sup> P + 225 kg ha <sup>-1</sup> K + Fosfotic (BSF) + 10 g de Safer micorrizas.                                      |
| <b>T5</b>   | 100% NK, 50% P                        | 135 kg ha <sup>-1</sup> de N + 167,5 kg ha <sup>-1</sup> P + 225 kg ha <sup>-1</sup> de K                                                                                 |
| <b>T6</b>   | 100% NK, 25% P + MICORRIZA            | 135 kg ha <sup>-1</sup> de N + 83,75 kg ha <sup>-1</sup> P + 225 kg ha <sup>-1</sup> de K + 10 g de Safer micorrizas.                                                     |
| <b>T7</b>   | 100% NK, 75%P + BIOL                  | 135 kg ha <sup>-1</sup> de N + 251,25 kg ha <sup>-1</sup> P + 225 kg ha <sup>-1</sup> de K + Biol de producción local (Elaborado en la finca San Francisco- Huaca).       |
| <b>T8</b>   | BIOL                                  | Biol de producción local (Elaborado en la finca San Francisco- Huaca).                                                                                                    |

Elaborado por Luis Miguel Puetate (2017)

### 3.4.5 Variables evaluadas

#### a) Porcentaje de emergencia de las plantas

A los 21 días después de la siembra (dds), se realizó la observación y se contó las plantas germinadas para determinar el poder germinativo del tubérculo en cada tratamiento, sus resultados son expresados en porcentajes (%).

**b) Conteo de tallos aéreos**

A los 56 dds se observó y se registró el número de tallos principales de las seis plantas que conforman la parcela neta de cada tratamiento del ensayo, y a su vez se coloca una cinta plástica en un tallo seleccionado al azar como identificación para las posteriores evaluaciones.

**c) Diámetro de tallos**

A los 91 dds con la ayuda de un calibrador o pie de rey se procede a medir el diámetro del tallo previamente seleccionado, su medición se hace a dos centímetros del suelo y los resultados se expresan en centímetros (cm).

**d) Altura de planta**

A los 91 después de la siembra con un flexómetro se tomó la altura a las seis plantas que conforman la parcela neta en cada tratamiento, la medida se tomó desde la base del tallo hasta la yema apical y se reportó en centímetros (cm).

**e) Clasificación de tubérculos**

A los 178 días después de la siembra se cosechó, a los tubérculos de las seis plantas muestra de cada tratamiento se categorizó (primera, segunda y tercera) para su posterior registro.

**f) Número de tubérculos**

En la cosecha, de las seis plantas de la parcela neta se realizó el conteo de tubérculos por categoría y el total de tubérculos producidos por planta de cada tratamiento.

**g) Pesaje de tubérculos**

En la cosecha, de las seis plantas muestra de cada parcela se pesaron los tubérculos por categoría y el total de tubérculos obtenidos por planta, para ello se utilizó una balanza electrónica, sus resultados se expresan en kg planta<sup>-1</sup>.

**h) Costos de producción**

Posterior a la cosecha, se realizó el análisis de costos de producción de cada tratamiento, para ello se tomó en cuenta egresos e ingresos durante el periodo de investigación, los datos obtenidos fueron relacionados a una hectárea, de esta manera se determinó el tratamiento más rentable.

### **i) Análisis bromatológicos de tubérculos y hojas**

A los 91 días posteriores a la siembra, en las seis plantas de la parcela neta por cada tratamiento, se recolectaron aproximadamente 100 gramos de muestras foliares del segundo tercio de la planta y posteriormente en los laboratorios de la UPEC se logró determinar los porcentajes (%) de: Materia Seca, Cenizas, Nitrógeno, Fósforo y Potasio presentes en las diferentes muestras.

En la cosecha se tomaron al azar tres tubérculos lo cual es aproximadamente 200 gramos de muestra de cada parcela neta por tratamiento, luego en los laboratorios se determinó los porcentajes (%) de: Materia Seca, Cenizas, Nitrógeno, Fósforo y Potasio presentes en las diferentes muestras.

### **3.4.6 Materiales**

#### **Materiales y equipos de campo**

- Semilla certificada variedad Superchola
- Safer micorrizas
- Fosfotric (Bacterias solubilizadoras de fósforo)
- Fertilizantes químicos (Fosfato diamónico, Urea y Muriato de potasio)
- Fungicidas
- Insecticidas
- Abono orgánico
- Biol de producción local
- Bomba de mochila
- Libreta de campo
- Esferográfico o lápiz, borrador
- Balanza
- Calibrador
- Flexómetro
- Cinta plástica
- Rótulos
- Fundas plásticas
- Piola
- Marcadores
- Estacas
- Costales

#### **De oficina**

- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Computadora
- Flash memory

#### **De laboratorio**

- Balanza analítica
- Estufa
- Mufla
- Equipo Kjeldahl
- Equipo de absorción atómica
- Espectrofotómetro
- Sorbona
- Vortex
- Pipetas automáticas
- Vasos de precipitación
- Matrices erlenmeyers
- Balones aforados
- Tubos de ensayo
- Reactivos: ácido Clorhídrico, nítrico, sulfúrico, ortofosfórico, bórico y perclórico, óxido de lantano, estándares de 1000 ppm

### **3.4.7 Procedimiento**

#### **a) Análisis de suelos**

Un mes antes de la siembra se tomaron muestras de suelo del lote a una profundidad entre 0-20 cm, para su caracterización físico-químico en el laboratorio especializado.

#### **b) Preparación del terreno**

Se empleó maquinaria agrícola, se realizó una arada y rastrada del suelo, luego se hizo el surcado con jornales a azadón a una distancia de un metro entre surco.

#### **c) Instalación del ensayo**

Se estableció el ensayo a campo abierto en un lote inclinado con una superficie de 480 m<sup>2</sup>, se trazaron 32 parcelas experimentales de 3x5 (15 m<sup>2</sup>), se colocaron estacas y piola para delimitar cada tratamiento, la distribución los tratamientos y repeticiones fue al azar.

#### **d) Siembra**

Se utilizó semilla del MAGAP categoría certificada, por lo cual se colocó una semilla por sitio a una distancia de 0,50 metros entre plantas, la misma que fue desinfectada con insecticida biológico (*Beauveria bassiana*) además, se aplicó Trichotic (*Trichoderma*) al surco para control de patógenos del suelo, además, se realizó la inoculación del fosfotico (BSF).

#### **e) Inoculación del biofertilizante (Safer micorriza)**

A los 21 días posteriores a la siembra se realizó la respectiva biofertilización edáfica a los respectivos tratamientos con 10 gramos de safer micorriza por planta la aplicación fue manual y en corona.

#### **f) Inoculación del biofertilizante (Fosfotic)**

A la siembra, a los 21 y 48 días después de la siembra se aplicó en drench las bacterias solubilizadoras de fósforo (Fosfotic), en dosis de 5 mL por litro a los respectivos tratamientos, esto se realizó con una bomba de mochila.

#### **g) Aplicación del Biol (bioestimulante)**

Se asperjó con bomba de mochila a las respectivas parcelas durante la fase vegetativa del cultivo (55, 70, 83, 98, 113 días después de la siembra) en dosis de 100 mL por litro de agua.

#### **h) Fertilización**

En el retape se fertilizó con abono de síntesis química (mezcla física de: Fosfato diamónico, Urea y Muriato de potasio) y se trabajó con una dosis promedio que aplica el agricultor de la zona ( $135 \text{ kg ha}^{-1}$  de Nitrógeno,  $335 \text{ kg ha}^{-1}$  de Fósforo y  $225 \text{ kg ha}^{-1}$  de Potasio) (100% NPK), estas cantidades de fertilizante son el resultado de un estudio desarrollado por la casa comercial de productos agrícolas “AGROMUNDO” y a su vez se aplicó a los respectivos tratamientos con una disminución en el fósforo (75, 50, 25 % de P).

#### **i) Retape**

En esta labor se hizo manualmente con azadón, a los 21 días posteriores a la siembra, esta actividad consiste en tapar con suelo a los primeros brotes del tubérculo y el fertilizante incorporado, para que la planta brote a la superficie con mayor vigor.

#### **j) Deshierba y medio aporque**

A los 48 días después de la siembra se realizó dicha actividad con la ayuda de un azadón, de esta manera se controló el crecimiento de malezas que afectan el desarrollo del cultivo y se agregó suelo al cuello de la planta formando camellones.

#### **k) Aporque**

A los 70 días postreros a la siembra con un azadón se alzó el suelo al surco para sostener a las plantas y proteger estolones en desarrollo.

#### **l) Controles fitosanitarios**

Se realizaron 10 controles fitosanitarios periódicamente de acuerdo a las necesidades del cultivo. Las principales plagas que se controlaron fueron: gusano blanco (*Premnotrypes vorax*), pulguilla (*Epitrix spp.*), mosca minadora (*Liriomyza spp.*).

En cuanto a enfermedades, principalmente se controló: lancha (*Phytophthora infestans*), tizón temprano (*Alternaria solani*).

#### **m) Cosecha**

Dicha labor se efectuó a los 178 días después de la siembra, el cultivo alcanzó su madurez fisiológica y estuvo listo para cosechar. Esta actividad consiste en extraer del suelo los tubérculos con la ayuda de un azadón. Los tubérculos obtenidos se clasificaron en tres categorías: primera, segunda y tercera, con los datos adquiridos se analizó el rendimiento que tuvo el ensayo implantado.

#### **n) Análisis de laboratorio**

Se utilizaron 100 g de muestras foliares y 200 g de tubérculo, se empacó y se etiquetó para trasladar al laboratorio de la UPEC, se pesó con una balanza analítica la muestra húmeda y se puso en la estufa a 60 °C durante el tiempo necesario hasta obtener un peso constante, con este procedimiento se determinó el porcentaje de humedad y materia seca. Para calcular el porcentaje de humedad de la muestra se realiza el siguiente cálculo:

$$\% H = \frac{P_{H+B} - P_{S+B}}{P_{H+B} - P_B} \times 100$$

en dónde:

H: Humedad

$P_{H+B}$ : Peso en gramos de la muestra húmeda más bandeja.

$P_{S+B}$ : Peso en gramos de la muestra seca más bandeja.

$P_B$ : Peso en gramos de la bandeja.

Una vez seca la muestra se procede a triturar en un mortero (foliares) y con un molino manual (tubérculos), todo esto se almacenó en fundas ziploc con su respectivo etiquetado, de esto se pesó 1 g y se colocó en la mufla a 450 °C ± 5 °C hasta que las muestras se transformen en cenizas de coloración blanquecina o gris, con los pesos obtenidos antes y después de la calcinación se determinó el porcentaje de cenizas y materia orgánica (AGROCALIDAD, 2014).

Cálculo para obtener el porcentaje de cenizas

$$\% Cz = \frac{P_{Cz+c} - P_c}{P_M} \times 100$$

En dónde:

$C_z$  = Ceniza

$P_{Cz+c}$  = Peso en gramos de la muestra calcinada más el crisol.

$P_c$  = Peso en gramos del crisol.

$P_M$  = Peso en gramos de la muestra

Se realizó el análisis químico de los principales macronutrientes (N, P, K), para la determinación de nitrógeno (N) en los tratamientos y repeticiones de muestras foliares y tubérculos, se utilizó los protocolos del método de Kjeldahl, los resultados se expresan en porcentaje.

Se digirió las muestras vía húmeda con ácido nítrico ( $\text{HNO}_3$ ) perclórico ( $\text{HClO}_4$ ) con el fin de disgregar compuestos de gran resistencia. Para la cuantificación de fósforo (P) en muestras foliares y tubérculos se consiguió mediante espectrofotometría de absorción molecular (UV – VIS). Mediante la formación de un complejo coloreado “azul de molibdeno” que se forma por la reacción del fósforo con solución sulfomolibdica en presencia de ácido ascórbico, mismo que se mide espectrofotométrica mediante una curva de calibración elaborada con soluciones de fósforo de concentraciones conocidas, los resultados son expresados en porcentaje.

Para la determinación de Potasio (K) en muestras foliares y tubérculos se realizó por espectrofotometría de absorción atómica, los resultados se expresan en porcentaje (AGROCALIDAD, 2014).

### 3.4.8 Análisis Estadístico

Evaluar el efecto de micorriza, microorganismos solubilizadores de fósforo y biol de producción local sobre el rendimiento del cultivo de la papa en condiciones de campo abierto.

Los datos obtenidos a lo largo de esta investigación fueron analizados mediante el programa estadístico InfoStat versión 2014.

#### Esquema del análisis estadístico.

**Tabla 19:** Representación del análisis de la varianza

| Fuente de variación | Fórmula                    | Grados de libertad |
|---------------------|----------------------------|--------------------|
| Total               | $\text{Tr}-1$              | 31                 |
| Tratamientos        | $\text{T}-1$               | 7                  |
| Repeticiones        | $\text{r}-1$               | 3                  |
| Error experimental  | $(\text{T}-1)(\text{r}-1)$ | 21                 |

Elaborado por Luis Miguel Puetate (2017)

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 RESULTADOS

#### 4.1.1 Análisis de resultados.

##### 4.1.1.1 Porcentaje de emergencia de plantas a los 21 días post siembra.

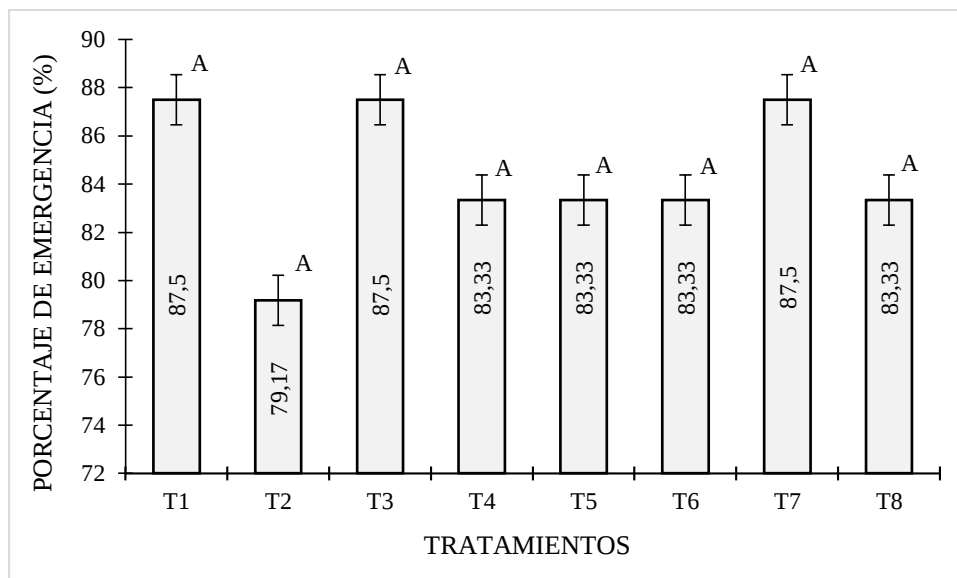
El análisis de varianza (ADEVA) correspondiente a la variable de porcentaje de emergencia (Tabla 20), el valor  $p > 0,9874$  es mayor al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0,05$ ) entre tratamientos e indica que no hubo diferencias significativas entre tratamientos, el coeficiente de variación (CV) para esta variable es de 16,62%. A continuación, se presenta una interpretación gráfica (Figura 4), la misma que fue realizada con los promedios de cada tratamiento.

**Tabla 20:** ADEVA para la emergencia de plantas a los 21 dds

| F.V         | SC      | gl | CM     | F       | p - valor |
|-------------|---------|----|--------|---------|-----------|
| Modelo      | 277,76  | 10 | 27,78  | 0,14    | 0,9985    |
| Tratamiento | 243,05  | 7  | 34,72  | 0,18 ns | 0,9874    |
| Repetición  | 34,72   | 3  | 11,57  | 0,06 ns | 0,9808    |
| Error.      | 4131,62 | 21 | 196,74 |         |           |
| CV:         | 16,62   |    |        |         |           |
| Total       | 4409,38 | 31 |        |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

Al aplicar la prueba de Tukey al 5% entre tratamientos se obtuvo un solo rango (A), Tres tratamientos alcanzaron un porcentaje de 87,50%, el T2 (100% NPK + Fosfotíc) obtuvo un valor de 79,17% esto se debe a las condiciones excesivas de humedad que se presentaron en esa época afectando a las plantas de dicho tratamiento.



**Figura 4:** Emergencia de plantas (%) a los 20 días post siembra

#### 4.1.1.2 Número de tallos a los 56 días post siembra.

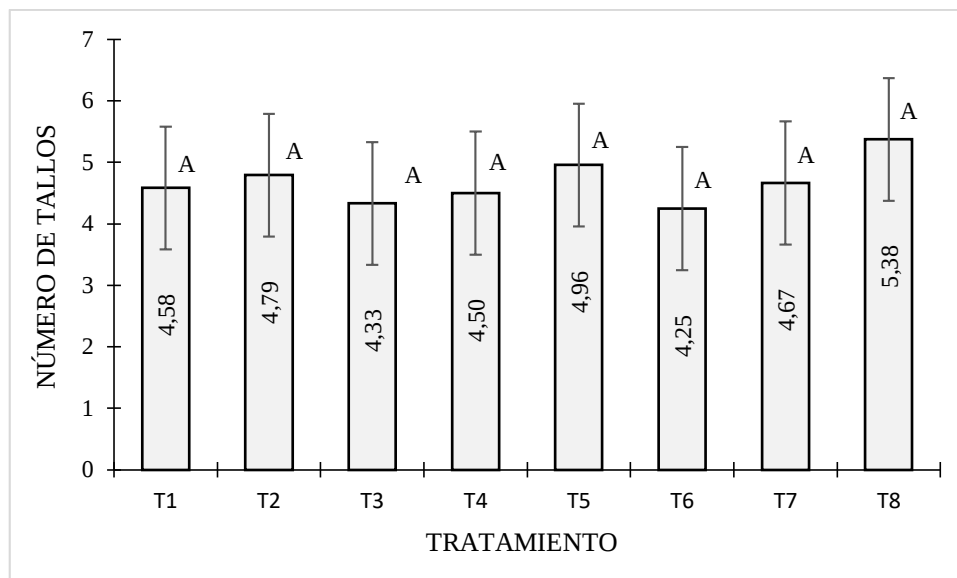
Al analizar el ADEVA correspondiente (Tabla 21) el valor  $p > 0,827$  es mayor al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0,05$ ) entre tratamientos, por tanto, se determinó que no existen diferencias significativas, por ello es necesaria una interpretación gráfica (Figura 5).

**Tabla 21:** ADEVA para el número de tallos a los 56 dds

| F.V         | SC    | gl | CM   | F       | p – valor |
|-------------|-------|----|------|---------|-----------|
| Modelo      | 11,97 | 10 | 1,20 | 1,21    | 0,3422    |
| Tratamiento | 3,68  | 7  | 0,53 | 0,53 ns | 0,8027    |
| Repetición  | 8,29  | 3  | 2,76 | 2,78 ns | 0,0661    |
| Error.      | 20,86 | 21 | 0,99 |         |           |
| CV:         | 21,28 |    |      |         |           |
| Total       | 32,83 | 31 |      |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

El tratamiento T8 (Biol) alcanzó el mayor número de tallos con un valor promedio de 5,4 tallos por planta, por otra parte, los tratamientos 3 y 6 obtuvieron el menor promedio de 4,3 tallos por planta



**Figura 5:** Número de tallos a los 56 días después de la siembra

#### 4.1.1.3 Altura de planta (cm) a los 91 días post siembra

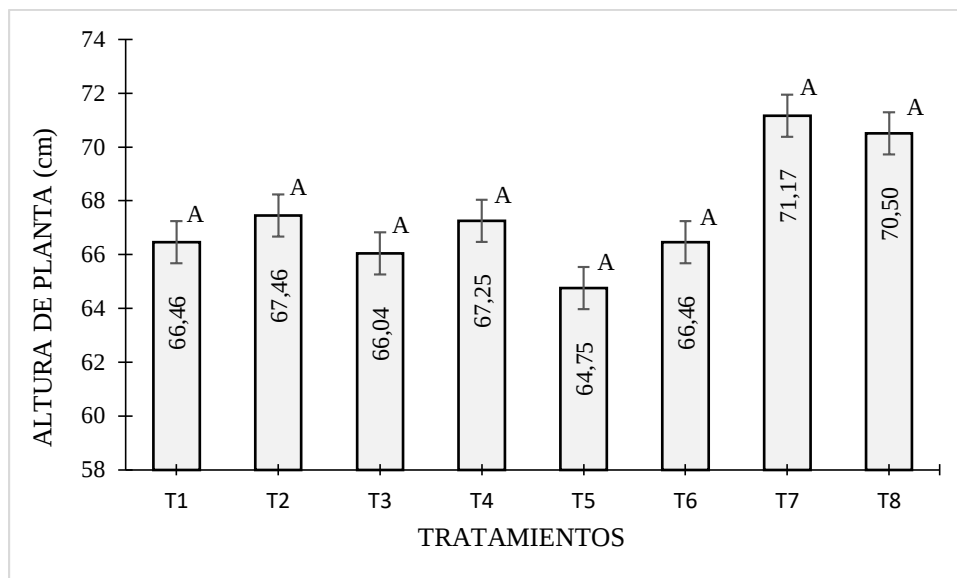
Una vez realizado el ADEVA (Tabla 22) para altura de planta se concluye que no existe diferencias estadísticas entre tratamientos, por ende, se procede a su interpretación gráfica (Figura 6).

**Tabla 22:** ADEVA de altura de planta (cm) a los 91 dds

| F.V         | SC     | gl | CM    | F       | p - valor |
|-------------|--------|----|-------|---------|-----------|
| Modelo      | 150,10 | 10 | 15,01 | 0,55    | 0,8356    |
| Tratamiento | 137,38 | 7  | 19,63 | 0,72 ns | 0,6579    |
| Repetición  | 12 ,72 | 3  | 4,24  | 0,16 ns | 0,9252    |
| Error.      | 573,91 | 21 | 27,33 |         |           |
| CV:         | 7,74   |    |       |         |           |
| Total       | 724,01 | 31 |       |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

Al realizar la interpretación gráfica de la altura de planta se observó que el tratamiento T7 (100%NK 75%P + Biol) alcanzó el valor más alto con un promedio de 71,17 cm, seguido por el T8 (Biol) con 70,50 cm, sin embargo, la menor altura la presentó el T5 (100% NK 50%P) con 64,75 cm.



**Figura 6:** Altura de planta a los 91 días post siembra

#### 4.1.1.4 Diámetro de tallo (cm) a los 91 días post siembra.

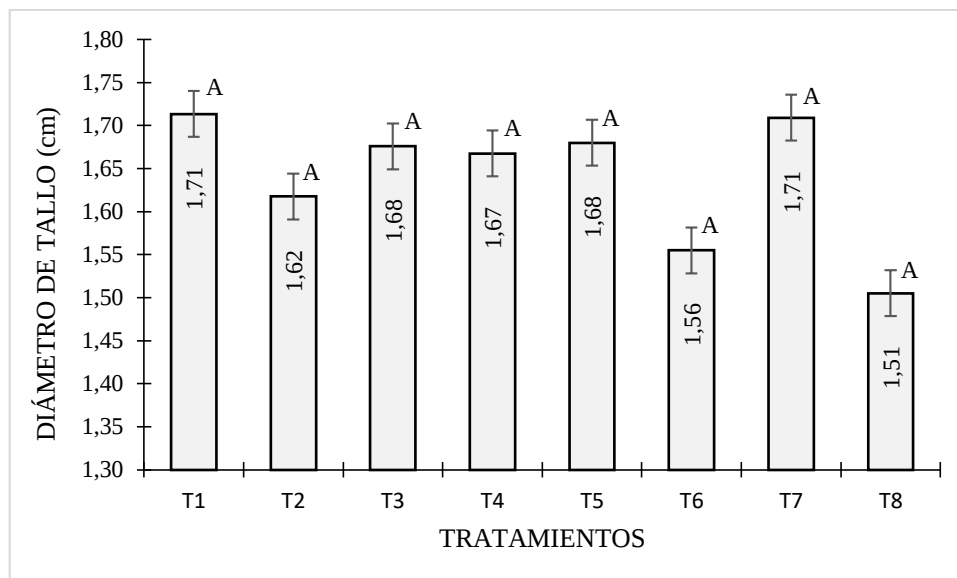
Al analizar el ADEVA (Tabla 23) correspondiente al diámetro de tallo se determina que no existen diferencias significativas. Su interpretación gráfica de detalla en la Figura 7.

**Tabla 23:** ADEVA para el diámetro de tallo (cm) a los 91 dds

| F.V         | SC   | gl | CM   | F       | p - valor |
|-------------|------|----|------|---------|-----------|
| Modelo      | 0,25 | 10 | 0,03 | 2,44    | 0,0410    |
| Tratamiento | 0,16 | 7  | 0,02 | 2,24 ns | 0,0717    |
| Repetición  | 0,09 | 3  | 0,03 | 2,89 *  | 0,0104    |
| Error.      | 0,22 | 21 | 0,01 |         |           |
| CV:         | 6,18 |    |      |         |           |
| Total       | 0,47 | 31 |      |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

En cuanto al diámetro del tallo los tratamientos que alcanzaron el valor promedio más alto fueron el T1 (100% NPK) y T7 (100%NK 75%P + Biol) con 1,71 cm, mientras que el T8 (Biol) obtuvo el menor promedio al registrar un valor de 1,51 cm.



**Figura 7:** Diámetro de tallo (cm) a los 91 dds

#### 4.1.1.5 Rendimiento de cosecha en $t\ ha^{-1}$ a los 178 días después de la siembra

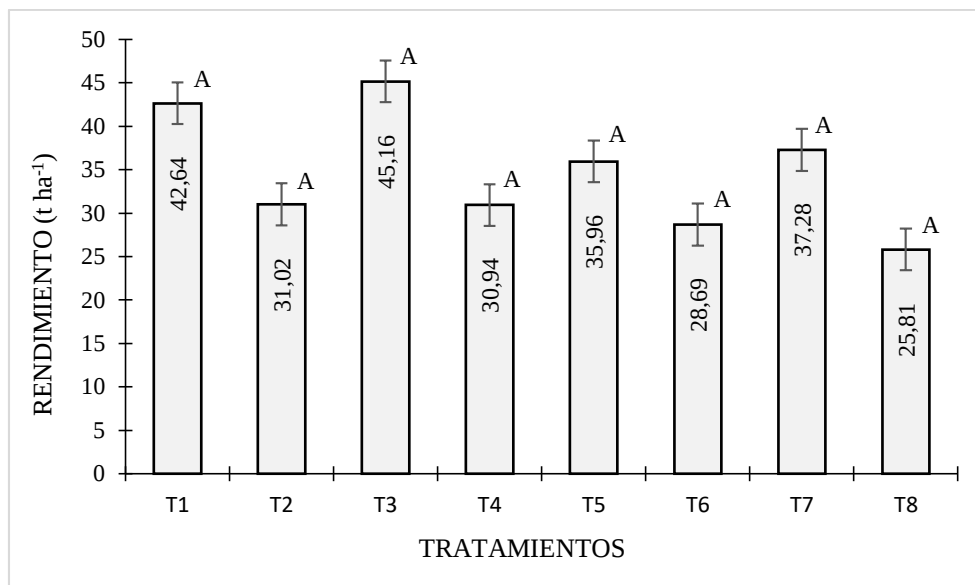
El ADEVA muestra que no existen diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Tabla 24). En la Figura 8 se analiza gráficamente el rendimiento.

**Tabla 24:** ADEVA del rendimiento del ensayo ( $t\ ha^{-1}$ ) a los 178 dds

| F.V         | SC      | gl | CM     | F       | p - valor |
|-------------|---------|----|--------|---------|-----------|
| Modelo      | 1428,09 | 10 | 142,81 | 1,67    | 0,1557    |
| Tratamiento | 1294,72 | 7  | 184,96 | 2,16 ns | 0,0816    |
| Repetición  | 133,37  | 3  | 44,46  | 0,52 ns | 0,6740    |
| Error.      | 1799,79 | 21 | 85,70  |         |           |
| CV:         | 26,69   |    |        |         |           |
| Total       | 3227,88 | 31 |        |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

El tratamiento que generó el mayor rendimiento en  $t\ ha^{-1}$  fue el T3 (100%NPK + Safer Micorriza) con  $45,16\ t\ ha^{-1}$ , seguido del T1 (100% NPK) con  $42,64\ t\ ha^{-1}$  mientras que el rendimiento más bajo lo obtuvo el T8 (Biol) con  $25,81\ t\ ha^{-1}$ .



**Figura 8:** Rendimiento del cultivo

#### 4.1.1.6 Rendimiento de cosecha en t ha<sup>-1</sup> por tratamiento categoría primera.

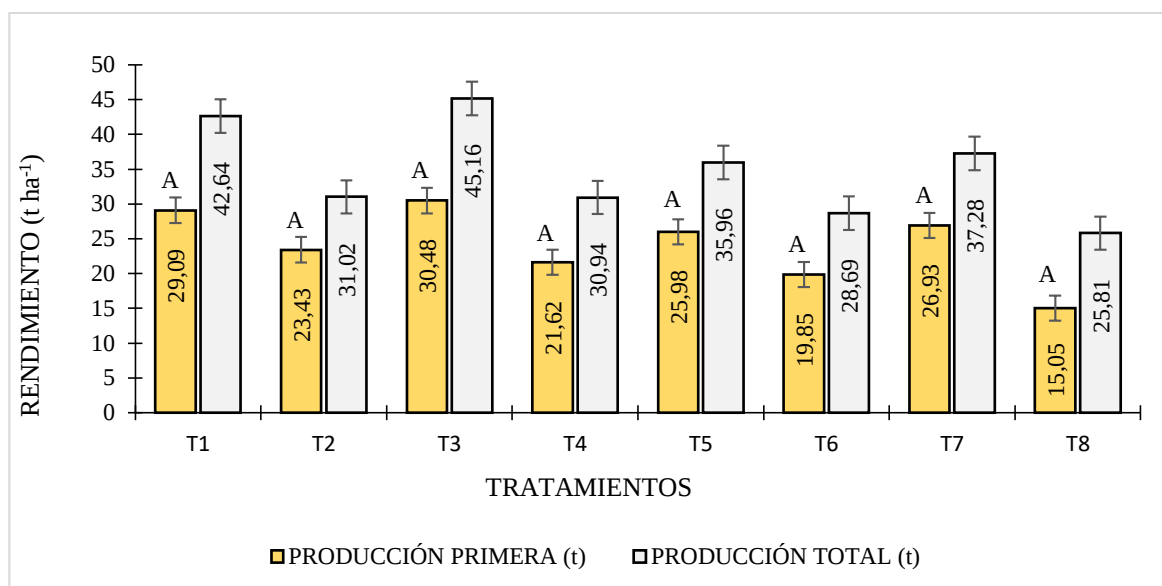
El Análisis de varianza correspondiente al rendimiento de cosecha t ha<sup>-1</sup> categoría primera (Tabla 25), detalla que no existe diferencias estadísticas significativas entre tratamientos. En la Figura 9 se representa gráficamente.

**Tabla 25:** ADEVA del rendimiento (t ha<sup>-1</sup>) categoría primera

| F.V         | SC      | gl | CM     | F       | p - valor |
|-------------|---------|----|--------|---------|-----------|
| Modelo      | 873,88  | 10 | 87,39  | 1,45    | 0,2261    |
| Tratamiento | 734,75  | 7  | 104,96 | 1,74 ns | 0,1530    |
| Repetición  | 139,12  | 3  | 46,37  | 0,77 ns | 0,5236    |
| Error.      | 1264,56 | 21 | 60,22  |         |           |
| CV:         | 32,26   |    |        |         |           |
| Total       | 2138,43 | 31 |        |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

El tratamiento más sobresaliente fue el T3 (100% NPK + Safer Micorriza) con 30,48 t ha<sup>-1</sup>, seguida de T1 (100% NPK) mientras que el valor más bajo presentó el T8 (Biol) con 15,05 t ha<sup>-1</sup>.



**Figura 9:** Rendimiento t ha<sup>-1</sup> categoría primera

#### 4.1.1.7 Número total de tubérculos por planta

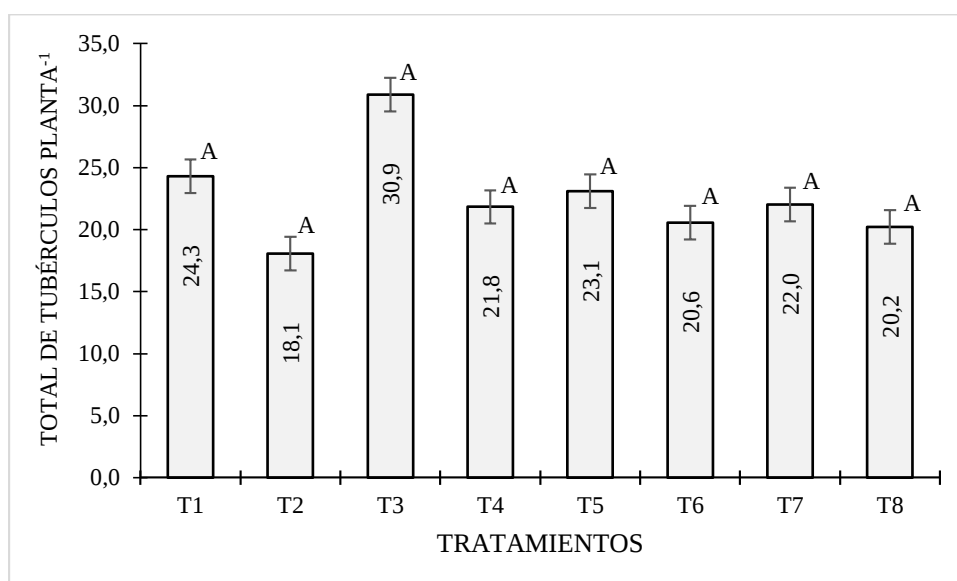
Al analizar el ADEVA (Tabla 26) correspondiente al número total de tubérculos, se determina que no existen diferencias significativas. En la Figura 10 se representa gráficamente.

**Tabla 26:** ADEVA del número total de tubérculos por planta

| F.V         | SC      | gl | CM    | F       | p - valor |
|-------------|---------|----|-------|---------|-----------|
| Modelo      | 424,39  | 10 | 42,44 | 1,32    | 0,2850    |
| Tratamiento | 411,88  | 7  | 58,84 | 1,82 ns | 0,1354    |
| Repetición  | 12,50   | 3  | 4,17  | 0,13 ns | 0,9417    |
| Error.      | 677,65  | 21 | 32,27 |         |           |
| CV:         | 25,12   |    |       |         |           |
| Total       | 1102,04 | 31 |       |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

El tratamiento que generó mayor número de tubérculos fue el T3 (100% NPK + Safer Micorriza) con un promedio de 30,9 tubérculos por planta, seguido del T1 (100% NPK) con 24,3 tubérculos por planta, mientras que el menor número de tubérculos por planta lo obtuvo el T2 (100%NPK + Fosfotíc) con 18,01.



**Figura 10:** Número total de tubérculos por planta

#### 4.1.1.8 Nitrógeno en tubérculos (%)

Al analizar el ADEVA correspondiente al contenido de nitrógeno en tubérculos (Tabla 27) el valor  $p < 0,0009$  es menor al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0,05$ ) entre tratamientos, por tanto, se determinó que existen diferencias significativas, el coeficiente de variación es de 10,17%. A continuación, se presenta una interpretación gráfica (Figura 11)

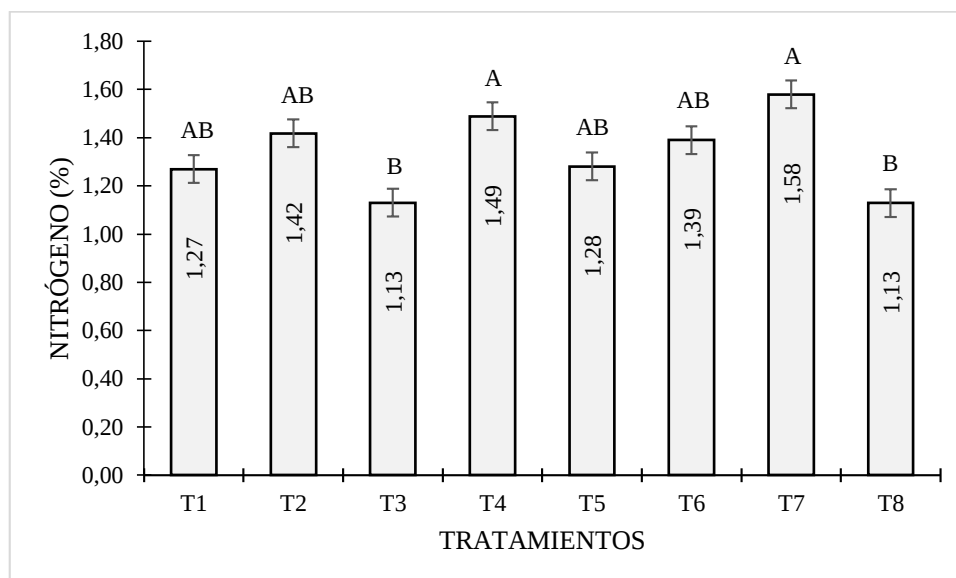
**Tabla 27:** ADEVA del contenido de nitrógeno en tubérculos (%)

| F.V         | SC    | gl | CM   | F       | p - valor |
|-------------|-------|----|------|---------|-----------|
| Modelo      | 0,76  | 10 | 0,08 | 4,13    | 0,0030    |
| Tratamiento | 0,74  | 7  | 0,11 | 5,70 ** | 0,0009    |
| Repetición  | 0,03  | 3  | 0,01 | 0,47 ns | 0,7035    |
| Error.      | 0,39  | 21 | 0,02 |         |           |
| CV:         | 10,17 |    |      |         |           |
| Total       | 1,15  | 31 |      |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

Al aplicar la prueba de Tukey al 5% se obtuvo dos rangos: los tratamientos T7 (100%NK 75%P + Biol) y T4 (100%NK 75%P + Fosfotric + Safer Micorriza) con valores de 1,58% y 1,49% respectivamente, se ubican en el rango “A”, mientras que T3 (100% NPK +

Micorriza) y T8 (Biol) registraron un valor menor de 1,13% ubicándose en el rango “B”, los otros tratamientos se ubicaron en rangos intermedios.



**Figura 11:** Porcentaje de nitrógeno en tubérculos

#### 4.1.1.9 Fósforo en tubérculos (%)

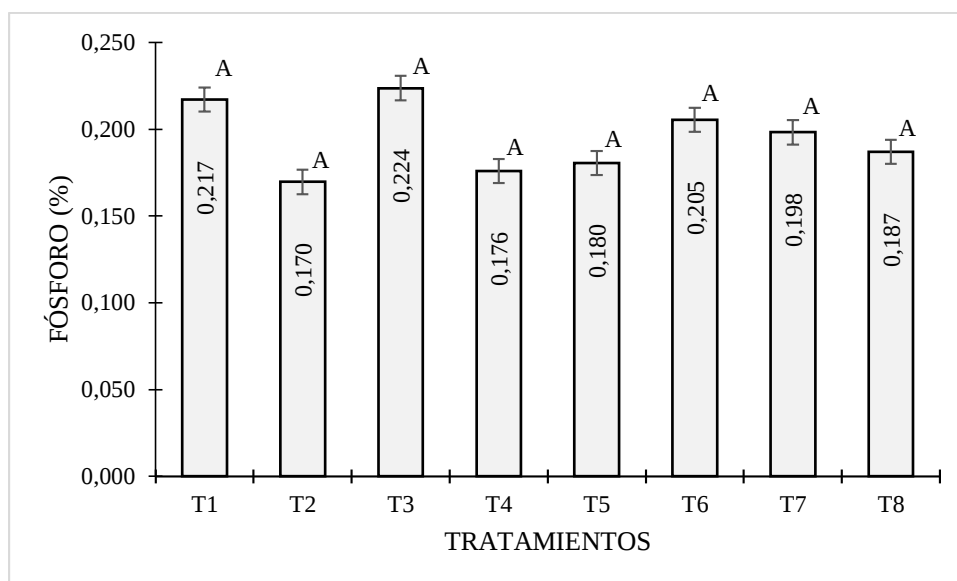
En el ADEVA (Tabla 28) se observa que no existe diferencias estadísticas entre tratamientos. El coeficiente de variación para esta variable fue de 21,18%. En la Figura 12 se presenta una interpretación gráfica.

**Tabla 28:** ADEVA del contenido de fósforo en tubérculos (%)

| F.V         | SC    | gl | CM      | F       | p - valor |
|-------------|-------|----|---------|---------|-----------|
| Modelo      | 0,02  | 10 | 2,0E-03 | 1,20    | 0,3478    |
| Tratamiento | 0,01  | 7  | 1,5E-03 | 0,90 ns | 0,5221    |
| Repetición  | 0,01  | 3  | 3,2E-03 | 1,88 *  | 0,1645    |
| Error.      | 0,04  | 21 | 1,7E-03 |         |           |
| CV:         | 21,18 |    |         |         |           |
| Total       | 0,06  | 31 |         |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

Al revisar la prueba de Tukey al 5%, se observó que no se manifiestan contrastes entre los tratamientos indicando un solo rango A. El tratamiento T3 (100% NPK + Safer Micorriza) registró un valor de 0,224% mientras que el T8 (Biol) obtuvo 0,187%.



**Figura 12:** Porcentaje de fósforo en tubérculos

#### 4.1.1.10 Potasio en tubérculos (%)

En el ADEVA (Tabla 29) se observa que no existe diferencias estadísticas entre tratamientos.

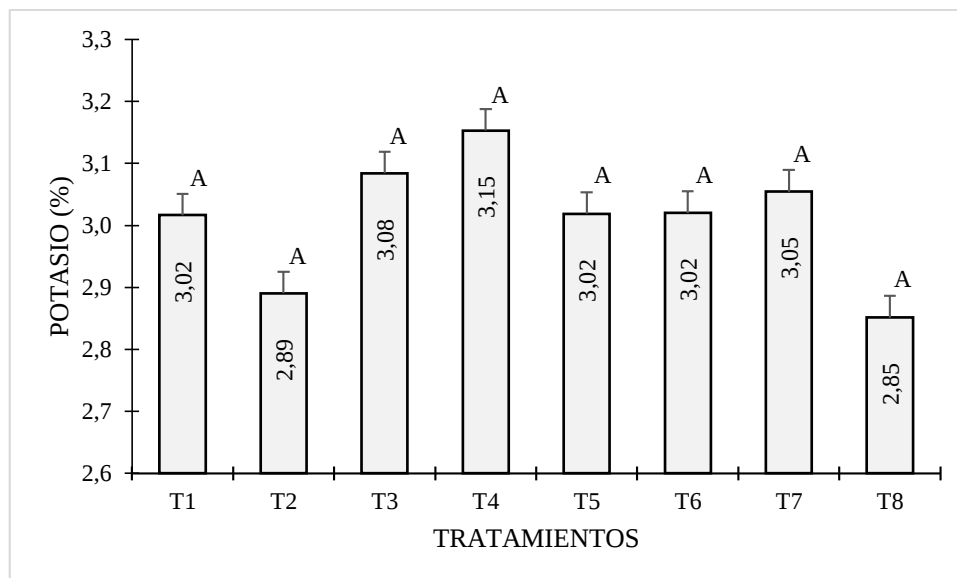
El coeficiente de variación para esta variable fue de 9,73%.

**Tabla 29:** ADEVA del contenido de potasio en tubérculos (%)

| F.V         | SC   | gl | CM   | F       | p - valor |
|-------------|------|----|------|---------|-----------|
| Modelo      | 0,53 | 10 | 0,05 | 0,62    | 0,7793    |
| Tratamiento | 0,27 | 7  | 0,04 | 0,45 ns | 0,8558    |
| Repetición  | 0,26 | 3  | 0,09 | 1,01 ns | 0,4081    |
| Error.      | 1,80 | 21 | 0,09 |         |           |
| CV:         | 9,73 |    |      |         |           |
| Total       | 2,34 | 31 |      |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

El tratamiento que alcanzó el valor más alto fue el T4 (100%NK 75 P + Fosfotric + Micorriza) con 3,15% mientras que el T8 (Biol) con 2,85% es el más bajo. Por otra parte, al emplear la prueba de Tukey generó únicamente un rango “A”.



**Figura 13:** Porcentaje de potasio en tubérculos

#### 4.1.1.11 Materia Seca en tubérculos (%)

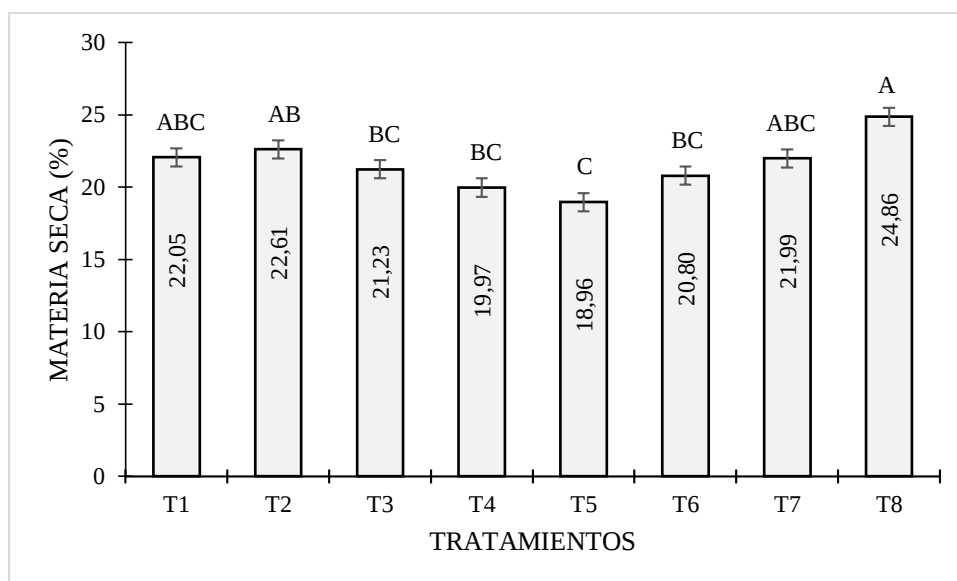
Al analizar el ADEVA correspondiente al contenido de materia seca en tubérculos (Tabla 30) el valor  $p < 0,0003$  es menor al nivel de significación de la prueba ( $\alpha = 0,05$ ) entre tratamientos, por tanto, se determinó que existen diferencias significativas, el coeficiente de variación es de 6,43%.

**Tabla 30:** ADEVA del contenido de materia seca en tubérculos (%)

| F.V         | SC     | gl | CM    | F       | p - valor |
|-------------|--------|----|-------|---------|-----------|
| Modelo      | 109,08 | 10 | 10,91 | 5,67    | 0,0004    |
| Tratamiento | 89,69  | 7  | 12,81 | 6,66 ** | 0,0003    |
| Repetición  | 19,39  | 3  | 6,46  | 3,36 *  | 0,0381    |
| Error.      | 40,40  | 21 | 1,92  |         |           |
| CV:         | 6,43   |    |       |         |           |
| Total       | 149,48 | 31 |       |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

Al aplicar la prueba de Tukey al 5% se obtuvo 3 rangos: el tratamiento T8 (Biol) registró 24,86% de materia seca y se ubican en el rango “A”, mientras que T5 (100% NK 50%P) obtuvo el valor más bajo con 1,13% de materia seca que lo sitúa en el rango “C”, los otros tratamientos se ubicaron en rangos intermedios.



**Figura 14:** Porcentaje de materia seca en tubérculos

#### 4.1.1.12 Cenizas en tubérculos (%)

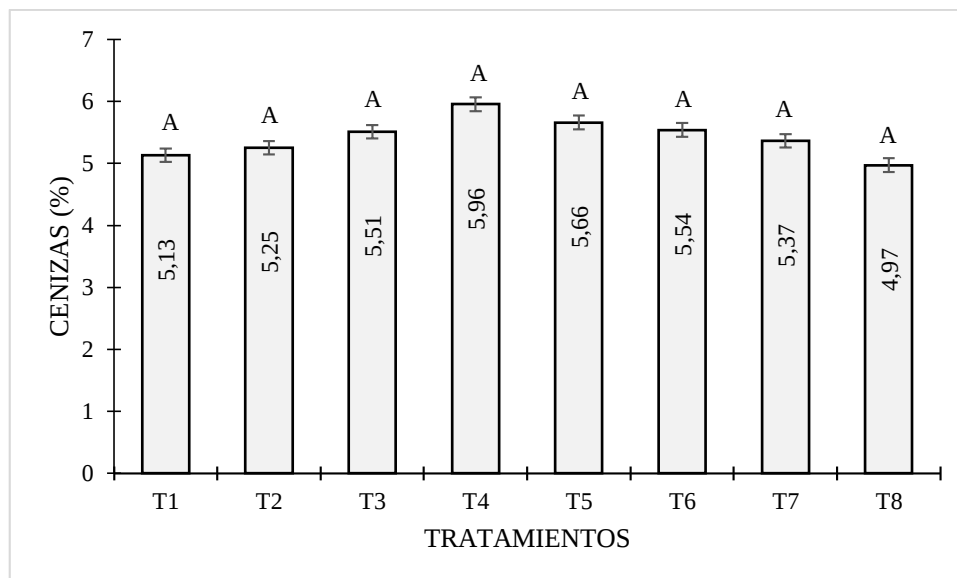
En el ADEVA correspondiente a la variable cenizas en tubérculos (Tabla 31) detalla que no existe diferencias estadísticas, el contenido de variación para esta variable es de 12,45%.

**Tabla 31:** ADEVA del contenido de cenizas en tubérculos (%)

| F.V         | SC    | gl | CM   | F       | p - valor |
|-------------|-------|----|------|---------|-----------|
| Modelo      | 4,72  | 10 | 0,47 | 1,03    | 0,4501    |
| Tratamiento | 2,73  | 7  | 0,39 | 0,86 ns | 0,5555    |
| Repetición  | 1,98  | 3  | 0,66 | 1,45 ns | 0,2569    |
| Error.      | 9,58  | 21 | 0,46 |         |           |
| CV:         | 12,45 |    |      |         |           |
| Total       | 14,30 | 31 |      |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

La prueba de Tukey al 5% permite estimar únicamente un rango “A”, el tratamiento T4 (100%NK 75%P + Fosfotic + Safer Micorriza) registró el valor más alto con 5,96 % de cenizas en el tubérculo y T8 (BIOL) fue el tratamiento que obtuvo el valor más bajo con 4,97%.



**Figura 15:** Porcentaje de cenizas en tubérculos

#### 4.1.1.13 Nitrógeno en muestras foliares (%)

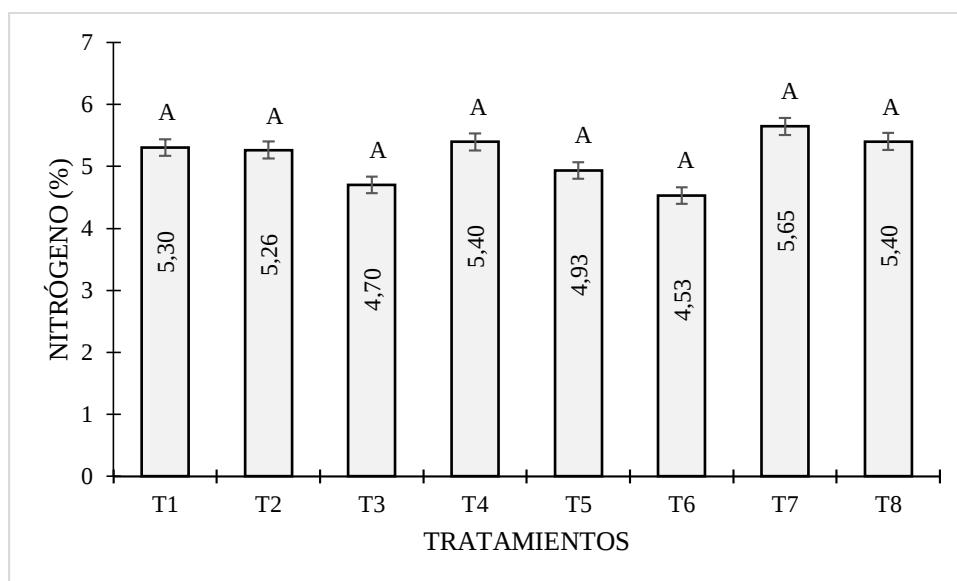
El ADEVA de la variable nitrógeno en muestra foliar (Tabla 32), señala que no existe diferencias estadísticas, el coeficiente de variación para esta variable es de 11,23%.

**Tabla 32:** ADEVA del contenido de nitrógeno en muestras foliares (%)

| F.V         | SC    | gl | CM   | F       | p - valor |
|-------------|-------|----|------|---------|-----------|
| Modelo      | 5,91  | 10 | 0,59 | 1,77    | 0,1301    |
| Tratamiento | 4,14  | 7  | 0,59 | 1,77 ns | 0,1463    |
| Repetición  | 1,76  | 3  | 0,59 | 1,76 ns | 0,1856    |
| Error.      | 7,01  | 21 | 0,33 |         |           |
| CV:         | 11,23 |    |      |         |           |
| Total       | 12,92 | 31 |      |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

El tratamiento que alcanzó el valor más alto fue el T7 (100%NK 75%P + Biol) con 5,65% de nitrógeno en la hoja mientras que el T6 (100% NK 25%P + Safer Micorriza) con 4,53% es el más bajo. Por otra parte, al emplear la prueba de Tukey generó únicamente un rango “A”.



**Figura 16:** Porcentaje de nitrógeno en muestras foliares

#### 4.1.1.14 Fósforo en muestras foliares (%)

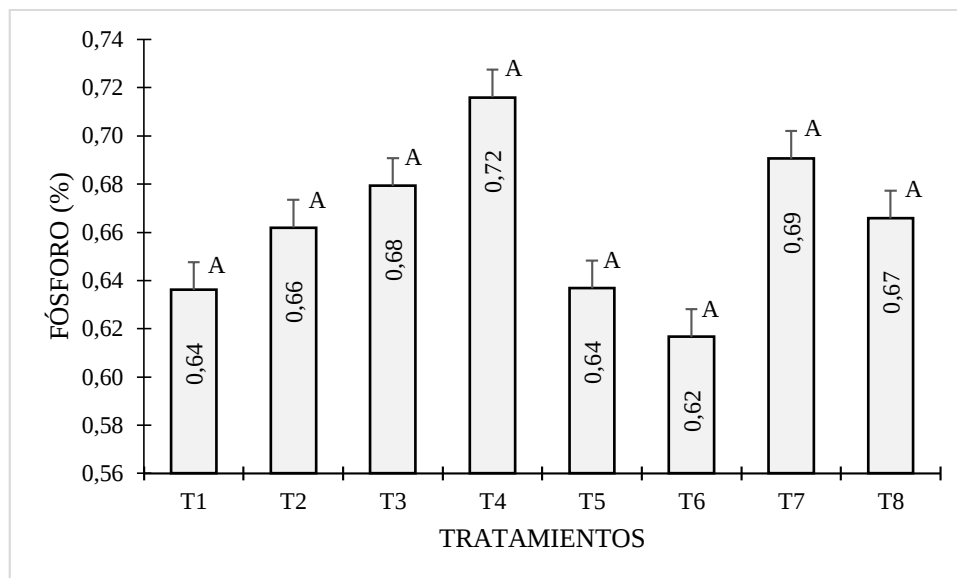
El Análisis de varianza (Tabla 33) concerniente a la variable contenido de fósforo en muestra foliar manifiesta que no existe diferencia estadística entre tratamientos, el coeficiente de variación para esta variable es de 11,95%.

**Tabla 33:** ADEVA del contenido de fósforo en muestras foliares (%)

| F.V         | SC    | Gl | CM      | F       | p - valor |
|-------------|-------|----|---------|---------|-----------|
| Modelo      | 0,04  | 10 | 3,8E-03 | 0,61    | 0,7921    |
| Tratamiento | 0,03  | 7  | 4,5E-03 | 0,72 ns | 0,6586    |
| Repetición  | 0,01  | 3  | 2,2E-03 | 0,34 ns | 0,7936    |
| Error.      | 0,13  | 21 | 0,01    |         |           |
| CV:         | 11,95 |    |         |         |           |
| Total       | 0,17  | 31 |         |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

Se realizó la prueba de Tukey al 5% y se obtuvo solo un rango “A”: el tratamiento T4 (100%NK 75%P + Fosfotric + Safer Micorriza) registró 0,72% de fósforo en la hoja, mientras que el T6 (100% NK 25%P + Safer Micorriza) presentó el menor valor con 0,62%.



**Figura 17:** Porcentaje de fósforo en muestras foliares

#### 4.1.1.15 Potasio en muestras foliares (%)

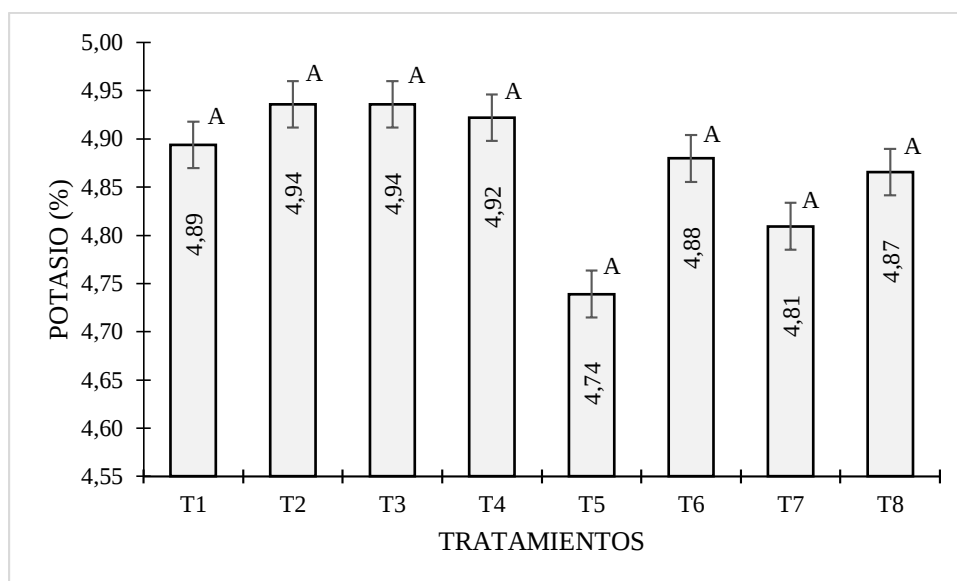
El Análisis de varianza (Tabla 34) referente a la variable contenido de potasio en muestra foliar muestra que no existe diferencia estadística entre tratamientos, el coeficiente de variación para esta variable es de 4,11%.

**Tabla 34:** ADEVA del contenido de potasio en muestras foliares (%)

| F.V         | SC   | Gl | CM   | F       | p - valor |
|-------------|------|----|------|---------|-----------|
| Modelo      | 0,16 | 10 | 0,02 | 0,41    | 0,9277    |
| Tratamiento | 0,14 | 7  | 0,02 | 0,48 ns | 0,8352    |
| Repetición  | 0,03 | 3  | 0,01 | 0,23 ns | 0,8754    |
| Error.      | 0,84 | 21 | 0,04 |         |           |
| CV:         | 4,11 |    |      |         |           |
| Total       | 1,01 | 31 |      |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

La prueba de Tukey al 5% permite estimar únicamente un rango “A”, los tratamientos T2 (100%NPK + Fosfotic) y T3 (100%NPK + Safer Micorriza) registraron los valores más altos con 4,94% de potasio en el tubérculo mientras que el T5 (100%NK 50%P) fue el tratamiento que obtuvo el valor más bajo con 4,74% de K.



**Figura 18:** Porcentaje de potasio en muestras foliares

#### 4.1.1.16 Materia seca en muestras foliares (%)

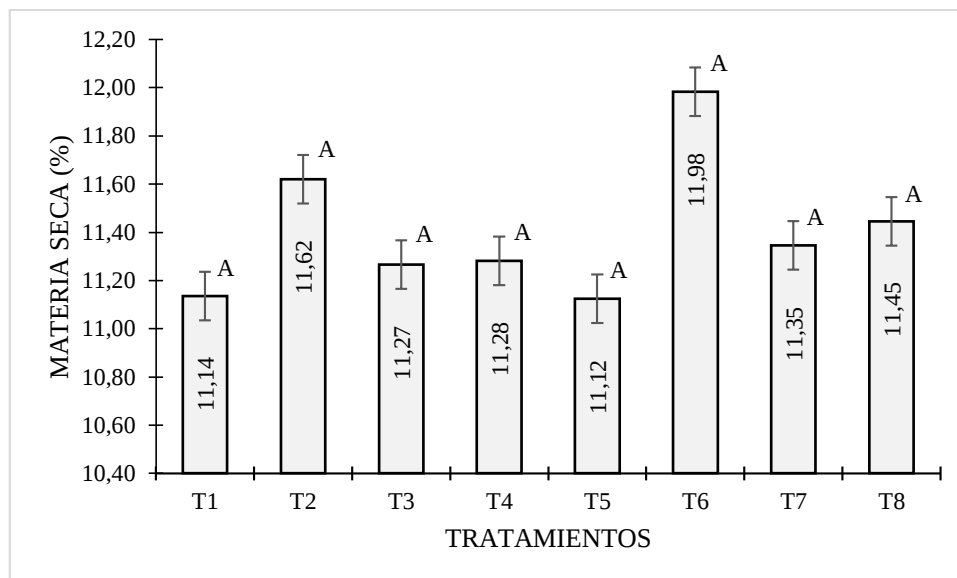
En el ADEVA de la de materia seca en foliares (Tabla 35), se determina que existe no existe diferencias significativas entre los tratamientos como también en las repeticiones, el coeficiente de variación es de 7,97%.

**Tabla 35:** ADEVA del contenido de materia seca en muestras foliares (%)

| F.V         | SC    | Gl | CM   | F       | p - valor |
|-------------|-------|----|------|---------|-----------|
| Modelo      | 5,01  | 10 | 0,50 | 0,61    | 0,7905    |
| Tratamiento | 2,29  | 7  | 0,33 | 0,40 ns | 0,8941    |
| Repetición  | 2,72  | 3  | 0,91 | 1,10 ns | 0,3709    |
| Error.      | 17,32 | 21 | 0,82 |         |           |
| CV:         | 7,97  |    |      |         |           |
| Total       | 22,33 | 31 |      |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

Una vez realizada la prueba de Tukey al 5% se determina que existe un solo rango “A” donde el tratamiento T6 (100%NK 25%P + Safer Micorriza) registró un valor superior a los demás de 11,98% de materia y el valor más bajo lo registró el T5 (100%NK 50%P) con 11,12% de MS.



**Figura 19:** Porcentaje de materia seca en muestras foliares

#### 4.1.1.17 Cenizas en muestras foliares (%)

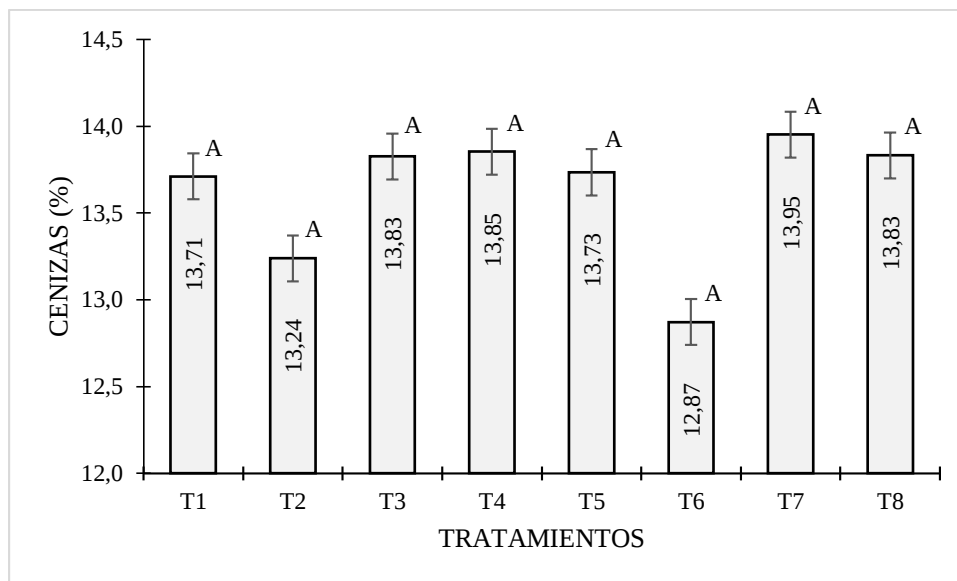
Después de haber desarrollado el ADEVA (Tabla 36) para la variable cenizas en muestras foliares, define que no existe diferencias significativas tanto en tratamientos como en repeticiones, el coeficiente de variación es de 6,76%.

**Tabla 36:** ADEVA del contenido de cenizas en muestras foliares (%)

| F.V         | SC    | Gl | CM   | F       | p - valor |
|-------------|-------|----|------|---------|-----------|
| Modelo      | 6,97  | 10 | 0,70 | 0,82    | 0,6123    |
| Tratamiento | 3,91  | 7  | 0,56 | 0,66 ns | 0,7040    |
| Repetición  | 3,06  | 3  | 1,02 | 1,20 ns | 0,3326    |
| Error.      | 17,82 | 21 | 0,85 |         |           |
| CV:         | 6,76  |    |      |         |           |
| Total       | 24,79 | 31 |      |         |           |

ns= No significativo; \* = Significativo; \*\* = Altamente significativo

La aplicación de la prueba de Tukey al 5% puntualiza un solo rango “A”, donde se destaca el tratamiento T7 (100% NK 75%P + Biol) con 13,95% de cenizas en la parte foliar y el valor más bajo lo generó el T6 (100%NK 25%P + Safer Micorriza) con 12,87%.



**Figura 20:** Porcentaje de cenizas en muestras foliares

#### 4.1.1.18 Relación costo – beneficio

En la Tabla 37 se muestra el análisis económico, en el cual se detallan: costos de producción de los ocho tratamientos que están relacionados a quintales por hectárea (qq ha<sup>-1</sup>), el precio de venta de la producción, la utilidad neta por tratamiento y el costo beneficio. Para este análisis se consideró un precio mínimo promedio de 5 dólares por quintal (precio al cual se vendió el producto). El tratamiento que mayor pérdida generó es el T8 (Biol), ya que obtuvo un bajo rendimiento que no retribuye su inversión.

**Tabla 37:** Relación costo - beneficio de cada tratamiento con un precio de \$5 el qq

| Tratamientos | Costo de producción/<br>tratamiento | Producción<br>qq ha <sup>-1</sup> | Venta (\$) | Utilidad<br>neta (\$) | Costo/<br>beneficio (\$) |
|--------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------|--------------------------|
| T1           | 5.161,46                            | 938,21                            | 4.691,05   | -470,41               | -0,09                    |
| T2           | 5.054,87                            | 682,43                            | 3.412,15   | -1642,72              | -0,32                    |
| T3           | 5.332,77                            | 993,58                            | 4.967,90   | -364,87               | -0,07                    |
| T4           | 5.095,17                            | 680,69                            | 3.403,45   | -1691,72              | -0,33                    |
| T5           | 4.880,40                            | 791,16                            | 3.955,80   | -924,60               | -0,19                    |
| T6           | 4.828,97                            | 631,28                            | 3.156,35   | -1672,62              | -0,35                    |
| T7           | 5.381,70                            | 820,32                            | 4.101,55   | -1280,15              | -0,24                    |
| T8           | 4.595,83                            | 567,84                            | 2.839,20   | -1756,63              | -0,38                    |

En la Tabla 38 se detalla el análisis económico por tratamientos con un precio promedio de 11,17 dólares, valor obtenido de la base de datos del Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA), considerando los registros desde el 5 de enero al 31 de agosto del 2018 del precio semanal del quintal en el mercado de San Gabriel – Carchi, (MAG,2018). En esta tabla se observa que el tratamiento T3 (100%NPK + Safer Micorriza), muestra una relación costo/beneficio de 1,08 dólares, esto indica que, por cada dólar invertido se obtiene un beneficio de 0,08 dólares, seguido del T1 (100% NPK) que alcanzó un costo- beneficio de 1,03 dólares, es decir se gana 0,03 por unidad invertida, mientras que la rentabilidad más baja la obtuvo el T8 (Biol), cuyo costo- beneficio es de 0,38 dólares.

**Tabla 38:** Relación costo - beneficio de cada tratamiento con un precio de \$11,17 el qq

| Tratamientos | Costo de producción/<br>tratamiento | Producción<br>qq ha <sup>-1</sup> | Venta (\$) | Utilidad<br>neta (\$) | Costo/<br>beneficio (\$) |
|--------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------|--------------------------|
| T1           | 5.161,46                            | 938,21                            | 10.479,81  | 5318,35               | 1,03                     |
| T2           | 5.054,87                            | 682,43                            | 7.622,74   | 2567,88               | 0,51                     |
| T3           | 5.332,77                            | 993,58                            | 11.098,29  | 5765,52               | 1,08                     |
| T4           | 5.095,17                            | 680,69                            | 7.603,31   | 2508,14               | 0,49                     |
| T5           | 4.880,40                            | 791,16                            | 8.837,26   | 3956,86               | 0,81                     |
| T6           | 4.828,97                            | 631,28                            | 7.051,29   | 2222,32               | 0,46                     |
| T7           | 5.381,70                            | 820,32                            | 9.162,86   | 3781,16               | 0,70                     |
| T8           | 4.595,83                            | 567,84                            | 6.342,77   | 1746,95               | 0,38                     |

En la Tabla 39 se detalla el análisis económico por tratamientos, para ello se ha considerado un precio promedio alto de 20 dólares, ya que existen temporadas donde el precio del quintal supera los \$20 dinamizando la economía local. Como se evidencia a continuación, todos los tratamientos generaron rentabilidad independientemente de la producción, sin embargo, los que obtienen mayor utilidad fueron el T3 (100% NPK + Safer Micorriza) con \$2,73, T1 (100% NPK) con \$2,64, T5 (100% NK 50%P) con \$2,24 es decir que por cada dólar invertido existe una ganancia de \$1,73, \$1,64 y \$1,24 respectivamente. Por otra parte, el T8 (Biol) fue el tratamiento con la menor rentabilidad, sin embargo, por cada dólar invertido se obtiene un beneficio de 0,65 dólares.

**Tabla 39:** Relación costo – beneficio de cada tratamiento con un precio de \$20 el qq

| Tratamientos | Costo de producción/<br>tratamiento | Producción<br>qq ha <sup>-1</sup> | Venta (\$) | Utilidad<br>neta (\$) | Costo/<br>beneficio (\$) |
|--------------|-------------------------------------|-----------------------------------|------------|-----------------------|--------------------------|
| T1           | 5.161,46                            | 938,21                            | 18.764,20  | 13.602,74             | 2,64                     |
| T2           | 5.054,87                            | 682,43                            | 13.648,60  | 8.593,73              | 1,70                     |
| T3           | 5.332,77                            | 993,58                            | 19.871,60  | 14.538,83             | 2,73                     |
| T4           | 5.095,17                            | 680,69                            | 13.613,80  | 8.518,63              | 1,67                     |
| T5           | 4.880,40                            | 791,16                            | 15.823,20  | 10.942,80             | 2,24                     |
| T6           | 4.828,97                            | 631,28                            | 12.625,40  | 7.796,43              | 1,61                     |
| T7           | 5.381,70                            | 820,32                            | 16.406,20  | 11.024,50             | 2,05                     |
| T8           | 4.595,83                            | 567,84                            | 11.356,80  | 6.760,97              | 1,47                     |

## 4.2. DISCUSIÓN

El porcentaje de emergencia a los 20 días después de la siembra no mostró diferencias estadísticamente significativas, sin embargo, el tratamiento T1 (100% NPK), T3 (100% NPK + Safer Micorriza) y T7 (100% NK 75%P + Biol) obtuvieron mayor poder germinativo. Estos resultados se deben principalmente a la nutrición que tuvieron estos tratamientos, tales como fertilización química, en combinación con micorriza y biol.

El mayor número de tallos lo registró el tratamiento T8 (Biol) que alcanzó un promedio de 5, 38 tallos por planta, Para Warnars y Oppenoorth (2014), el biol posee un alto contenido de Nitrógeno, mejorando así su la relación con el Carbono en los procesos de transformación de la materia orgánica, además, Suquilanda (2017) manifiesta que este bioestimulante promueve las actividades fisiológicas y desarrollo de las plantas gracias al ácido giberélico.

Los valores registrados en altura de planta, indican que los tratamientos donde se empleó el bioestimulante “Biol” alcanzaron valores superiores a los demás, el T7 (100%NK 75% P + Biol) con 71,17 cm, seguida del T8 (Biol) con 70,50 cm, esto se debe a que el Biol contiene hormonas vegetales como las giberelinas y auxinas que estimulan el crecimiento de las plantas (Basaure, 2006), las giberelinas regulan un amplio y variado conjunto de procesos fisiológicos durante todo el periodo de desarrollo y, a su vez son factores hormonales determinantes en el control de la elongación del tallo en las plantas gracias a que activa la división y elongación celular (Azcón y Talón, 2013). Sin embargo, el T7 al ser una

combinación de fertilización química más biol, permite una mayor disponibilidad de nutrientes, razón por la cual evidenció un tamaño superior al T8 que tiene únicamente biol.

El porcentaje de nitrógeno (N) encontrado en las hojas indican que el T7 (100% NK 75% P + Biol) con un promedio de 5,65 % de N, acumuló la mayor cantidad de este elemento en la parte foliar de la planta, seguido del T8 (Biol) y T4 (100% NPK + Safer Micorriza + Fosfotíc) con 5,40%, estos valores permiten afianzar lo presentado por Pumisacho y Sherwood (2002) al decir que la fertilización de síntesis química rica en N (Urea) es muy soluble en agua y en suelos húmedos, por ende este elemento estuvo en mayor disponibilidad para la planta. Sumado a esto, el biol al estar compuesto por heces de animales posee un elevado contenido de N (Suquilanda, 2017), el T7 es una alternativa favorable y económica en la fertilización de papa, a pesar de estar reducida en un 25% el contenido de fósforo, su combinación con el biol permitió mayor desarrollo y producción de hojas, órgano indispensable para el proceso de fotosíntesis.

La acumulación de materia seca (MS) en tubérculos fue significativa ( $p \leq 0,05$ ), se puede evidenciar que la MS mantuvo una relación con la producción de tallos, el T8 (Biol) registró un promedio de 5,38 tallos por planta lo que implica una mayor producción de follaje, Beukema y Van Der Zaag (1999) mencionan que el porcentaje de MS depende de la variedad o material genético de la papa también de su fenología y fisiología, la capacidad de ésta para realizar los procesos de translocación de las hojas hacia los tubérculos, etc. El T8 (Biol) en sus tubérculos alcanzó un promedio de 24,86% de MS, confirmando lo dicho por Andrade y Hardy (1998) que la variedad Superchola presenta un alto contenido de MS en la papa alrededor de 24%.

En lo que respecta al contenido de fósforo (P) en el tubérculo, el T3 (100% NPK + Safer Micorriza) obtuvo la mayor acumulación con 0,72% de P, seguido del T7 (100% NK + 75% P) con 0,69%, se ha demostrado que las micorrizas permiten la absorción de macro y micro elementos esenciales principalmente el P, éste juega un papel significativo en varias actividades fisiológicas y bioquímicas como la fotosíntesis (Adavi & Tadayoun, 2014), además, el biol al producir mayor follaje aumenta los procesos fotosintéticos, provocando un mayor transporte del P dentro de la planta (Munera y Meza, sf.).

El rendimiento del cultivo fue superior en el T3 (100% NPK + Safer Micorriza) con 45,16 t ha<sup>-1</sup>, seguida del T1 (100% NPK) con 42,64 t ha<sup>-1</sup>, el rendimiento generado en el T3 fue

gracias a la actividad simbiótica de los hongos micorrízicos arbusculares (Safer micorriza) con la raíz, las hifas extra radicales son más eficientes que las raíces en la absorción de nutrientes, debido a su estructura extremadamente larga y fina, pueden explorar volúmenes de suelo intangible para las estructuras radicales de las plantas (González, 2014), estimulando la captación de agua y nutrientes (P, N, K, Ca, Mg, Cu, Fe y Zn) (Arafat, et al., 2016), la disponibilidad de agua es indispensable en las etapa de estolonización, inicio de la formación y crecimiento de tubérculos (FAO, 2008), por esta razón se obtuvo tubérculos más grandes con un promedio de 78,77% de humedad. Por otro lado, los resultados del T1, dosis promedio que utiliza el agricultor de la zona, confirma que los fertilizantes de síntesis química son de alta solubilidad y aportan nutrientes a la planta oportunamente favoreciendo el rendimiento de papa (Valverde, Alvarado, Torres, Quishpe y Parra, 2011). Además, se puede argumentar de acuerdo a los datos obtenidos, que la combinación de microorganismos y bioestimulantes, conjuntamente con la fertilización química potencializan la eficiencia de solubilización y disponibilidad de nutrientes a la planta y pueden lograr una reducción periódica en el suministro edáfico de fertilizantes sintéticos, lo cual es más rentable para el agricultor y una alternativa más amigable con el ambiente.

El número de tubérculos fue superior en el T3 (100% NPK + Safer Micorriza) con un promedio de 30,9 tubérculos por planta, seguido del T1 (100% NPK) con 24,3, confirmando lo dicho por Pumisacho y Sherwood (2002), que el fósforo es esencial en procesos fisicoquímicos además promueve la rápida formación de tubérculos, desarrollo de tejidos que forman los puntos de crecimiento de la planta, de igual forma el potasio es vital para la fotosíntesis, especialmente en la síntesis de proteínas. Los análisis bromatológicos indican que las cantidades de macronutrientes en hojas y tubérculos son más altas en los tratamientos que presentan microorganismos y bioestimulante, que en los tratamientos compuestos únicamente de fertilizante químico.

Al determinar el contenido de cenizas en tubérculos se encontró que el T4 (100%NPK + Micorriza + Fosfotric) registró un promedio de 5,96%, superior al T1 que únicamente se conforma de fertilización química, el contenido de cenizas indica el total de minerales o componentes inorgánicos específicos presentes en una muestra, esto se relaciona con diversos estudios, que manifiestan que los microorganismos con potencial biofertilizante han demostrado poseer diversos mecanismos de acción para solubilizar nutrientes del suelo y por ende complementar los requerimientos de las plantas (Restrepo, Pineda y Ríos, 2017). Sin embargo, el T4 a pesar de tener un porcentaje alto de cenizas no logró obtener un rendimiento

superior a los demás, las causas pueden ser diversas, una de ellas puede ser las propiedades fisicoquímicas del suelo en el que se trabajó.

En cuanto al beneficio económico de cada tratamiento investigado, el T3 (100% NPK + Safer Micorriza) generó mayor rentabilidad, seguido del T1 (100% NPK), dichos resultados están estrechamente relacionados entre precio y rendimiento de la papa categoría primera (gruesa), que es la más comercializada en el país. Por varios factores el precio del qq de papa en el mercado es muy inconstante. Al analizar el costo- beneficio por tratamientos se puede deducir que, si el precio del qq de papa está por debajo de los \$5 en el mercado, genera cuantiosas pérdidas al productor, también se realizó una proyección en el costo del qq a \$11,17 (precio promedio del qq enero – agosto 2018), en el cual los tratamientos T3 y T1 son los únicos que presentan una rentabilidad mínima, pero existe ocasiones en la cual el precio del qq alcanza o supera los \$20 (dependiendo de la calidad del producto y la variedad), época muy beneficiosa para los productores, ya que llegan a obtener grandes ganancias. Con resultados obtenidos en este estudio se puede decir que para lograr \$1 de costo/beneficio por cada dólar invertido con la alternativa de biofertilización (100% NPK + Safer Micorriza) el costo del qq de papa debe estar alrededor de los \$14,65.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Según los análisis realizados en esta investigación las nuevas alternativas de biofertilización pueden constituir opciones viables en el cultivo de papa variedad Superchola, ya que promueve un mejor desarrollo foliar, solubilización y aprovechamiento de minerales, convirtiéndose en una opción sustentable y perdurable de las propiedades biológicas del suelo.
- La alternativa de biofertilización a base de micorrizas arbusculares T3 (100% NPK + Safer Micorriza) registró el mayor rendimiento productivo con 45,16 t ha<sup>-1</sup>, seguido del T1 (100% NPK) con 42,64 t ha<sup>-1</sup>, no obstante, el T8 (Biol) fue el que presentó menor rendimiento con 25,81 t ha<sup>-1</sup>, que son superiores a las producciones analizadas a nivel nacional.
- El tratamiento T3 (100% NPK + Safer Micorrizas) presentó una concentración de fósforo en tubérculos de 0,224% superior a los otros tratamientos evaluados, lo que comprueba que la inoculación de micorrizas permitió la absorción de dicho elemento.
- Al realizar el análisis estadístico a las variables evaluadas se observó que no presentan diferencias significativas debido a las favorables condiciones suelo donde se implantó el ensayo.
- En cuanto al análisis económico por tratamiento, el T3 (100% NPK + Safer Micorrizas) es el que genera un rendimiento superior por ende mayor rentabilidad, independientemente del precio al cual se encuentre en el mercado.

## **5.2. RECOMENDACIONES**

De acuerdo con los resultados y conclusiones obtenidas en esta investigación se recomienda:

- Dar a conocer a los agricultores el potencial de estas alternativas de biofertilización (micorrizas, microorganismos solubilizadores de fosfatos y biol) para mejorar la nutrición, el rendimiento y calidad del tubérculo en el cultivo de papa e incrementar la microbiota perdida del suelo.
- Continuar y extender el estudio de la interacción de microorganismos solubilizadores de fosfatos, micorrizas y otros bioestimulantes en otras variedades de papa y cultivos de mayor importancia económica de la zona, además, analizar los cambios que presenta el suelo a un corto, mediano y largo plazo.
- Incentivar a los agricultores a optar por alternativas de biofertilización ya que con un uso adecuado pueden disminuir costos de producción; además son amigables con el ambiente y ayudan a la sostenibilidad del suelo agrícola.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adavi, Z. & Tadayoun, M. (2014). *Effect of mycorrhiza application on plant growth and yield in potato production under field conditions*. Iranian Journal of Plant Physiology 4 (3), 1087- 1093.
- Afif, E. (2005). *Dinámica del fósforo en suelos cálcicos de áreas mediterráneas: trabajo experimental*. Universidad de Oviedo. Asturias, España. ISBN: 84-8317-479-0
- AGROBIOLÓGICOS SAFER. (2017). *Safer micorrizas- Micorrizas Arbusculares*. Obtenido de: <http://safer.com.co/producto/micorrizas/>
- AGROCALIDAD. (2014). *Procedimiento específico de ensayo, determinación de cenizas y materia orgánica en muestras foliares*. Ecuador.
- AGRODIAGNOSTIC. (2016). *Bacterias solubilizadoras de fósforo (Fosfotíc)*. Obtenido de: <http://www.agrodiagnostic.com.ec/productos>
- Almeida, J. (2014). *Efecto de formulaciones biológicas (micorrizas y activadores biológicos) y formulación química (omega 3, 6, 9 más extracto de algas marinas y silicio) en el aprovechamiento del fósforo no soluble del suelo, por parte del cultivo de papa (Solanum tuberosum. L) variedad Superchola* (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Tulcán.
- Alvarado, A., Iturriaga, I., Smyth, J., Ureña, J. y Portuguese, E. (2008). *Efecto de la fertilización con fósforo sobre el rendimiento y la absorción de nutrimentos de la papa en un andisol de Juan Viñas, costa rica*. Agronomía Costarricense 33(1): 45-61. ISSN:0377-9424
- Andrade, H. y Hardy, B. (1998). *Variedades de papa cultivadas en el Ecuador*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Proyecto Fortipapa. Quito-Ecuador. ISBN 01154.
- Arafat, et al. (2016). *Arbuscular mycorrhizal symbiosis and abiotic stress in plantas: a review*. Korean Society of Plant Biologists. DOI 10.1007/s12374-016-0237-7
- Azcón, J. y Talón, M. (2013). *Fundamentos de fisiología vegetal*. 2da ed. Madrid: McGraw-Hill-Interamericana de España, S.L. ISBN: 978-84-481-9293-8

- Banco Mundial. (2015). *Consumo de fertilizantes*. Obtenido de [https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS?locations=EC&name\\_desc=true&view=chart](https://datos.bancomundial.org/indicador/AG.CON.FERT.ZS?locations=EC&name_desc=true&view=chart)
- Barrer, S. (2009). *El uso de hongos micorrízicos arbusculares como una alternativa para la agricultura*. Bucaramanga - Colombia. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v7n1/v7n1a14.pdf>
- Basaure, P. (2006). *Abono líquido*. Obtenido de: <http://www.cepac.org.bo/moduloscafe/.../Conf%20Biofermentadores.pdf>
- Bastidas, S. (2003). *Evaluación de alternativas metodológicas para el Manejo Integrado de Suelo en el cultivo de la papa en la provincia del Carchi*. (Tesis de pregrado). Pontifica Universidad Católica del Ecuador. Sede Ibarra. PUCE-SI. Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.
- Bautista, D., Chavarro, C., Cáceres, J. y Buitrago, S. (2017). *Efecto de la fertilización edáfica en el crecimiento y desarrollo de Phaseolus vulgaris cv. ICA Cerinza*. Revista Colombiana De Ciencias Hortícolas. 122-132. doi.org/10.17584/rcch.2017v11i1.5496
- Blanco, F. y Salas, E. (1997). *Micorrizas en la agricultura: contexto mundial e investigación realizada en Costa Rica*. Obtenido de: <http://www.exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/Micorrizas%20y%20nutricion%20mineral.pdf>
- Bouzo, C. (2009). *El Cultivo de la Papa en Argentina*, Curso: Cultivos Intensivos II. Buenos Aires, Argentina. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/319813507/cultivo-de-papa-en-argentina-pdf>
- Calderón, F., Acosta, V., Douds, D., Reeves, J. & Vigil, M. (2009). *Mid-Infrared and Near Infrared Spectral Properties of Mycorrhizal and Non-Mycorrhizal Root Cultures*. Journal of Applied Spectroscopy. 63(5)494-500.
- Cano, M. (2011). *Interacción de microorganismos benéficos en plantas: micorrizas, trichoderma spp. y pseudomonas spp.* Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A. 14(2): 15 – 31. Colombia.

- CIP. (2017). *Funciones y deficiencias de los nutrientes en el cultivo de papa*. Obtenido de: <https://cipotato.org/papaenecuador/2017/10/17/funciones-y-deficiencias-de-los-nutrientes-en-el-cultivo-de-papa/>
- Contreras, A. (2008). *Historia y origen de la papa cultivada–influencia de la papa nativa de América en el mejoramiento de la especie a nivel mundial*. XXIII Congreso de la Asociación Latinoamericana de la Papa. Mar del Plata, Argentina.
- Covarrubias, J., Castillo, S., Vera, J., Núñez, R., Sánchez, P., Aveldaño, R. y Peña, J. (2005). *Absorción y eficiencia de uso de fósforo en papa cultivar alpha con <sup>32</sup>P*. obtenido de: [https://www.researchgate.net/publication/28081783\\_Absorcion\\_y\\_eficiencia\\_de\\_uso\\_de\\_fosforo\\_en\\_papa\\_cultivar\\_alpha\\_con\\_32P](https://www.researchgate.net/publication/28081783_Absorcion_y_eficiencia_de_uso_de_fosforo_en_papa_cultivar_alpha_con_32P)
- Custers, J. (2015). *Identifying the gene involved in the shape of potato tubers*. Master's thesis, Laboratory of Plant Breeding, Wageningen University and Research Institute, Wageningen, The Netherlands.
- Chase, M. & Reveal, J. (2009). *A phylogenetic classification of the land plants to accompany APG III*. Botanical Journal of the Linnean Society. 161: 122-127. DOI: 10.1111 / j.1095-8339.2009.01002.x
- Deepshikha, T., Rajesh, K. & Vineet, S. (2014). *Phosphate solubilising microorganisms: role in phosphorus nutrition of crop plants- a review*. University of Horticulture and Forestry. India. DOI:10.5958/0976-0741.2014.00903.9
- Du Jardin, P. (2015). *Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation*. Gembloux Agro-Bio Tech. University of Liège. Bélgica. DOI: 10.1016/j.scienta.2015.09.021
- Espinosa, J. (1996). *Fijación de fósforo en suelos derivados de ceniza volcánica*. Instituto de la Potasa y el Fósforo (INPOFOS). Obtenido de: [http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/38921268FCAAF25785258012006AE333/\\$FILE/Art%201.pdf](http://www.ipni.net/publication/ia-lahp.nsf/0/38921268FCAAF25785258012006AE333/$FILE/Art%201.pdf)
- Faggioli, V., Freytes G. y Galarza, C. (2008). *Las micorrizas en trigo y su relación con la absorción de fósforo del suelo*. INTA. Estación Experimental Agropecuaria Marco Juárez. Argentina.

- Faiguenbaum, H., y Zunino, P. (1998). *Biología de Cultivos Anuales*. Pontificia Universidad Católica de Chile.
- FAO. (2008). *Año Internacional de la papa*. Obtenido de: <http://www.fao.org/potato-2008/es/lapapa/index.html>
- FAO. (2015). *El uso de fertilizantes sobrepasará los 200 millones de toneladas en 2018*. Obtenido de: <http://www.fao.org/news/story/es/item/277654/icode/>
- FAOSTAT. (2016). *Base de datos cultivos*. Obtenido de: <http://www.fao.org/faostat/es/#data/QC>
- Fassbender, H. y Bornemisza, E. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 5ta.ed. Costa Rica: IICA.
- Fernández, F. (2003). *Factibilidad biológica de la micorrización "in vitro" de Papa, Solanum tuberosum*. Informe científico final. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana- Cuba. Obtenido de: <https://www.researchgate.net/publication/273136907>
- Fernández, M. y Rodríguez, H. (2005). *El papel de la solubilización de fósforo en los biofertilizantes microbianos*. Instituto Cubano de Investigaciones de los Derivados de la Caña de Azúcar (ICIDCA), vol. XXXIX, núm. 3, pp. 27-34. La Habana, Cuba
- Ferrera, R, y Alarcón, A. (2011). *La microbiología del suelo en la agricultura sostenible* Ciencia Ergo Sum, vol. 8, núm. 2, Universidad Autónoma del Estado de México Toluca, México. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/pdf/104/10402108.pdf>
- Fertinova. (2015). *Ficha técnica de la Urea 46 - 0 – 0*. Agroproductos México. Obtenido de: <http://www.fertinova.mx/sites/default/files/FICHA%20UREA.pdf>
- Flores, R.,Naranjo, H., Galárraga, J., Sánchez, M. y Viteri, S. (2012). *Estudio de la demanda de semilla de papa de calidad en Ecuador*. Documento de trabajo- Ecuador. No. 1. Proyecto “Fortalecimiento de la innovación agrícola pro pobre para la seguridad alimentaria en la región andina- IssAndes”. OFIAGRO, Centro Internacional de la Papa. Quito.

- García, R., Lovaisa, N. y Ulla, E. (2015). *Aislamiento y caracterización de bacterias solubilizadoras de fosfatos del Noroeste Argentino y su efecto en la promoción de crecimiento en maíz (Zea mays L.)* Universidad Nacional de Tucumán. Argentina. ISSN 0080-2069
- González, P. (2014). *Manejo efectivo de la simbiosis micorrízica arbuscular vía inoculación y la fertilización mineral en pastos del género Brachiaria*. (Tesis doctoral). Universidad Agraria de la Habana “Fructuoso Rodríguez Pérez”. Mayabeque - Cuba
- Grageda, O., Díaz, A., Peña, J. y Vera, J. (2012). *Impacto de los biofertilizantes en la agricultura*. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Vol.3.
- Gutiérrez, G. (2012). *Interacción planta-hongos micorrízicos arbusculares Plant-arbuscular mycorrhizal fungi interactions*. Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. UNAM. México.
- Gutjahr, C. & Parniske, M. (2013). *Cell and Developmental Biology of Arbuscular Mycorrhiza Symbiosis*. University of Munich. Germany. 29:593–617.
- Hernández, M., Forero, F., Antolines, D. y Serrano, C. (2012). *Respuesta agroeconómica del cultivo de papa Solanum tuberosum L, bajo diferentes fuentes de fósforo, en Villapinzón, Cundinamarca*. Ciencia y Agricultura. Colombia. ISSN 0122-8420
- Hernández, R., Fernández, C. y Batista, P. (2014). *Metodología de la investigación*. 6ta ed. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores
- Huarte, M. y Capezio, S. (2013). *Cultivo de papa*. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA). Argentina.
- INEC. (2016). *Información Ambiental en la Agricultura 2016*. Obtenido de: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas\\_Ambientales/Informacion\\_ambiental\\_en\\_la\\_agricultura/2016/PRESENTACION\\_AGRO\\_AMBIENTE\\_2016.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Encuestas_Ambientales/Informacion_ambiental_en_la_agricultura/2016/PRESENTACION_AGRO_AMBIENTE_2016.pdf)
- INEC. (2017). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*. Obtenido de: [http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac\\_2017/Presentacion\\_Principales\\_Resultados\\_ESPAC\\_2017.pdf](http://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac_2017/Presentacion_Principales_Resultados_ESPAC_2017.pdf)

- INIA. (2008). *Producción y uso del biol*. Instituto Nacional De Investigación Agraria (INIA). Lima- Perú. ISBN: 978-9972-44-020-5.
- INIAP (2009). *Guía de recomendaciones de fertilización para los principales cultivos del callejón interandino*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias.p.17. E.E. Santa Catalina. Quito – Ecuador.
- Inostroza, J., Méndez, P. y Sotomayor, T. (2009). *Botánica y morfología de la papa*. Instituto de Investigación Agropecuarias (INIA), Temuco, Chile
- IPNI. (2012). *Nutrient source specific - Diammonium Phosphate*. International Plant Nutrition Institute (IPNI). Georgia. USA. Obtenido de: [https://www.ipni.net/publication/nss.nsf/0/66D92CC07C016FA7852579AF00766CBD/\\$FILE/NSS-17%20Diammonium%20Phosphate.pdf](https://www.ipni.net/publication/nss.nsf/0/66D92CC07C016FA7852579AF00766CBD/$FILE/NSS-17%20Diammonium%20Phosphate.pdf)
- IPNI. (2013). *Fuentes de Nutrientes Específicos - Cloruro de potasio*. Documento traducido por el IPNI Latinoamérica. Obtenido de: [http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/A48F7C5B42D2D6BF85257BBA0059A849/\\$FILE/NSS-ES-03.pdf](http://www.ipni.net/publication/nss-es.nsf/0/A48F7C5B42D2D6BF85257BBA0059A849/$FILE/NSS-ES-03.pdf)
- López, H. (2011). *Crecimiento de la planta de papa, cosecha y post cosecha*. Seminario papa. Innova Chile Corfo. Petorca – Chile. Obtenido de: <https://es.slideshare.net/viamese/seminario-papa-la-ligua-diciembre-2011>
- MAG. (2017). *En Galápagos fortalecen la producción de papa*. Obtenido de: <https://www.agricultura.gob.ec/en-galapagos-fortalecen-la-produccion-de-papa/>
- MAG. (2018). *Informe de rendimientos de papa en el ecuador 2017*. Obtenido de: [http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento\\_papa\\_2017.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento_papa_2017.pdf)
- MAG (2018). *Reporte de precios por mercados en un determinado periodo de tiempo*. Sistema de Información Pública Agropecuaria (SIPA). Obtenido de: <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/precios-mayoristas>
- MAGAP. (2014). *Boletín situacional papa 2014*. Obtenido de: <http://sinagap.agricultura.gob.ec/phocadownloadpap/cultivo/2014/kboletin-situacional-de-papa-2014-actualizado.pdf>

- Metcalfe, D. y Elkins D. (1998). *Producción de Cosechas: fundamentos y prácticas*. Traducido por María Teresa Martínez Utrilla. México: LIMUSA.
- Monteros, A. (2016). *Rendimientos de papa en el Ecuador primer ciclo 2016*. Obtenido de: [http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento\\_papa\\_2016.pdf](http://sipa.agricultura.gob.ec/descargas/estudios/rendimientos/papa/rendimiento_papa_2016.pdf)
- Montesdeoca, F., Panchi, N., Navarrete, I., Pallo, E., Yumisaca, F., Taipe, A., Espinoza, S. y Andrade, J. (2013). *Guía fotográfica de las principales plagas del cultivo de papa en Ecuador*. INIAP- CIP. Quito- Ecuador. doi: 10.4160/978-92-9060-423-5
- Mora, S., Aguila, E. González, Y., Balarezo, L. y Benavides, H. (2018). Alternativas de bio-fertilización sobre indicadores morfológicos y productivos de *Solanum tuberosum* L.en Andisoles del Carchi – Ecuador. Universidad Central “Marta Abreu” de las Villas. Revista Centro Agrícola. ISSN papel: 0253-5785 ISSN on line: 2072-2001
- Moreno, P. (1998). *Inoculación de micorrizas MVA en papa (Solanum Tuberosum) respuesta en el crecimiento y nutrición de plantas inoculadas en invernadero y en campo*. Latinoamérica. México Distrito Federal.
- Munera, G. y Meza, D. (sf.). *El fósforo elemento indispensable para la vida vegetal*. Universidad Tecnológica de Pereira. Colombia.
- Muñoz, F. y Cruz, L. (1984). *Manual del cultivo de papa*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quito - Ecuador. Obtenido de: <http://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/807/4/iniapscm5.pdf>
- Narváez, F. (2016). *“Evaluación de microorganismos solubilizadores de fósforo, micorrizas y compost, en la productividad del cultivo de papa (Solanum tuberosum L.), bajo condiciones semicontroladas, Carchi – Ecuador”*. Superchola (Tesis de pregrado). Universidad Politécnica Estatal del Carchi. Tulcán.
- Navarro, G. y Navarro, S. (2003). *Química Agrícola el suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal*. 2da. ed. Madrid: Mundi-Prensa.
- Noda, Y. (2009). *Las Micorrizas: Una alternativa de fertilización ecológica en los pastos*. Pastos y Forrajes. Cuba. ISSN 0864-0394

- Oviedo, M., & Iglesias, M. (2005). *Utilización de bacterias solubilizadoras de fósforo*. Argentina: Universidad Nacional Del Noreste.
- Patiño, C. y Sanclemente, O. (2014). *Los microorganismos solubilizadores de fósforo (MSF): una alternativa biotecnológica para una agricultura sostenible*. Universidad Nacional de Colombia. Vol. 10 No.2. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/pdf/2654/265433711018.pdf>
- Pellegrini, A. (2017). *Fósforo en el suelo*. Obtenido de: <http://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/mod/resource/view.php?id=22475>
- Pérez, L., Rodríguez, L. y Gómez, M. (2008). *Efecto del fraccionamiento de la fertilización con N, P, K y Mg y la aplicación de los micronutrientes B, Mn y Zn en el rendimiento y calidad de papa criolla (Solanum phureja) variedad Criolla Colombia*. Agronomía Colombiana. vol 26. 477-485. Bogotá-Colombia. ISSN: 0120-9965
- Pumisacho, M. y Sherwood, S. (2002). *El cultivo de la papa en Ecuador*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) –Centro Internacional de la Papa (CIP). Quito- Ecuador. Obtenido de: <http://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Pumisacho, M. y Velásquez, J. (2009). *Manual del cultivo de papa para pequeños productores*. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, (INIAP) – Estación experimental Santa Catalina -Programa Nacional de Raíces y Tubérculos rubro papa. Quito – Ecuador.
- QuimiNet. (2008). *El uso de la urea como fertilizante*. Obtenido de: <https://www.quiminet.com/articulos/el-uso-de-la-urea-como-fertilizante-31411.htm>
- Restrepo S., Pineda, E. y Ríos, L. (2017). Mecanismos de acción de hongos y bacterias empleados como biofertilizantes en suelos agrícolas una revisión sistemática. *Corpoica Cienc Tecnol Agropecuaria*. 18 (2):335-351. DOI: [http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num2\\_art:635](http://dx.doi.org/10.21930/rcta.vol18_num2_art:635)
- Román, M. y Hurtado, G. (2002). *Guía técnica para el cultivo de papa*. Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal (CENTA). El Salvador.

- Rodríguez, H.; Fraga, R. (1999). "*Phosphate solubilizing bacteria and their role in plant growth promotion.*" *Biotechnology Advances* 17: 319–339.
- Rodríguez, Y. (2015). *Aspectos relacionados con las bases bioquímicas de la simbiosis micorrízica arbuscular*. Departamento de biofertilizantes y nutrición de las plantas. Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas. La Habana, Cuba. Vol, 26. N°1.
- Silva, M. (2011). *Adsorción y desorción de fósforo en suelos del área central de la región Papeana*. (Tesis doctoral). Universidad Nacional de Córdoba. Argentina.
- Soria, M. (2016). *¿Por qué son importantes los microorganismos del suelo para la agricultura?*. Química viva. Buenos Aires – Argentina. Obtenido de: <http://www.redalyc.org/html/863/863475900002/>
- Soroa, M., Hernández, A., Soto, F. y Terry, A. (2009). *Identificación de algunas especies de microorganismos benéficos en la rizosfera de gerbera y su efecto en la productividad*. Universidad de La Habana. Cuba. ISSN 2007-4034
- Sosa, T., Sánchez, J., Morales, E. y Cruz, F. (2005). *Interacción micorrizas arbusculares – Trichoderma harzianum (Moniliaceae) y efectos sobre el crecimiento de Brachiria decubens (Poaceae)*. Acta Biológica Colombiana. Obtenido de: <http://www.scielo.org.co/pdf/abc/v11n1/v11n1a04.pdf>
- Suquilanda, M. (2017). *Manejo agroecológico de suelos*. ed.1<sup>era</sup>. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Pesca (MAGAP). Quito – Ecuador.
- Tandon, L. & Roy, R. (2004). *Integrated Nutrient Management – A glossary of terms*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), Nueva Delhi. Obtenido de [http://www.fao.org/ag/agl/agll/ipns/index\\_es.jsp?term=p070](http://www.fao.org/ag/agl/agll/ipns/index_es.jsp?term=p070)
- Torres, L., Montesdeoca, F. y Andrade J. (2011). *Cosecha y poscosecha*. Centro Internacional de la papa (CIP)- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quito - Ecuador. Obtenido de: <https://cipotato.org/es/latinoamerica/informacion/inventario-de-tecnologias/cosecha-y-poscosecha/>

- Torres, L., Valverde, F. y Andrade, J. (2012). *Manejo de fertilizantes*. Centro Internacional de la papa (CIP)- Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quito- Ecuador.
- Usugua, C., Castañeda, D., Franco, A., Gómez, F. y Lopera, C. (2008). *Efecto de la micorrización y la fertilización en la acumulación de biomasa en plantas de banano (musa aaa cv. gran enano) (musaceae)*. Medellín 61(1):4269-4278.
- Valverde, F., Alvarado, S., Torres, C., Quishpe, J. y Parra, R. (2011). *Los abonos orgánicos en la productividad de papa (Solanum tuberosum L.)*. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias. EE. Santa Catalina. Quito – Ecuador.
- Valverde F., C. Torres, J., Rivadeneira, R., Parra, Y., Cartagena, y S. Alvarado. (2010). *Efecto de la aplicación de abonos orgánicos en la productividad de papa (Solanum tuberosum L.) cultivar INIAP-fripapa, en Cotopaxi y Tungurahua*. Memorias del XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Santo Domingo, Ecuador.
- Vassilev, N., Vassileva, M. & Nikolaeva, I. (2006). "Simultaneous P-solubilizing and biocontrol activity of microorganisms: potentials and future trends." Appl Microbiol Biotechnol 71: 137–144.
- Warnars, L. y Oppenoorth, H. (2014). *Estudio sobre el biol, sus usos y resultados*. Obtenido de:[https://knowledge.hivos.org/sites/default/files/publications/estudio\\_sobre\\_el\\_biol\\_sus\\_usos\\_y\\_resultados.pdf](https://knowledge.hivos.org/sites/default/files/publications/estudio_sobre_el_biol_sus_usos_y_resultados.pdf)
- Zhao, Y., Yu, H., Zhang, T. & Guo, J. (2017). *Mycorrhizal colonization of chenopods and its influencing factors in different saline habitats, China*. Institute of Grassland Science. 9(1), 1. doi:10.1007/s40333-016-0027-6.
- Zúñiga, J. (2014). *Aplicación de dosis de biol para la brotación de tubérculos de papa (Solanum Tuberosum l.) Var. Fripapa*. (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato. Tungurahua.

## VII. ANEXOS

### 7.1 Costo de producción del cultivo de papa

| COSTOS DE PRODUCCIÓN POR HECTÁREA             |          |                  |                                                    |                |       |
|-----------------------------------------------|----------|------------------|----------------------------------------------------|----------------|-------|
| <b>CULTIVO:</b> Papa, variedad Superchola     |          |                  | <b>SISTEMA:</b> Semitecnificado                    |                |       |
| <b>PROVINCIA:</b> Carchi                      |          |                  | <b>CANTÓN:</b> Montúfar ,Cristóbal Colón, El Ejido |                |       |
| <b>RESPONSABLE:</b> Luis Miguel Puetate Mejía |          |                  | <b>FECHA:</b> 08 / 10 / 2018                       |                |       |
| CONCEPTO                                      | CANTIDAD | UNIDAD DE MEDIDA | PRECIO UNITARIO                                    | TOTAL          | %     |
| <b>1.- COSTOS DIRECTOS</b>                    |          |                  |                                                    |                |       |
| <b>Mano de Obra:</b>                          |          |                  |                                                    |                |       |
| Surcado                                       | 10       | Jornal           | 13                                                 | 130,00         |       |
| Siembra/fertilización                         | 10       | Jornal           | 13                                                 | 130,00         |       |
| Deshierbas/aporque                            | 10       | Jornal           | 13                                                 | 130,00         |       |
| Fumigación                                    | 10       | Jornal           | 15                                                 | 150,00         |       |
| Cosecha/acarreo                               | 30       | Jornal           | 13                                                 | 390,00         |       |
|                                               |          |                  |                                                    | <b>930,00</b>  | 16,43 |
| <b>SEMILLA</b>                                |          |                  |                                                    |                |       |
| Variedad Superchola                           | 2244,32  | kg               | 0,64                                               | <b>1436,36</b> | 25,37 |
| <b>FERTILIZANTES</b>                          |          |                  |                                                    |                |       |
| DAP (18-46-0)                                 | 728,26   | kg               | 0,62                                               | 451,52         |       |
| Muriato de potasio (0-0-60)                   | 375      | kg               | 0,5                                                | 187,50         |       |
| Urea (46-0-0)                                 | 8,52     | kg               | 0,4                                                | 3,41           |       |
| Fosfotíc                                      | 2        | L                | 18                                                 | 36,00          |       |
| Micorrizas                                    | 200      | kg               | 0,6                                                | 120,00         |       |
| Compost                                       | 1200     | kg               | 0,15                                               | 180,00         |       |
| Biol                                          | 170      | L                | 2                                                  | 340,00         |       |
| Extracto de algas                             | 5        | L                | 4,9                                                | 24,50          |       |
| Menorel                                       | 1500     | g                | 0,007                                              | 10,50          |       |
| Agrostemin                                    | 2000     | g                | 0,013                                              | 26,00          |       |
| Biosolar                                      | 2        | L                | 12                                                 | 24,00          |       |
| Calcio Boro                                   | 2        | L                | 10,4                                               | 20,80          |       |
| Fosfó Potásico                                | 3        | L                | 10,8                                               | 32,40          |       |
|                                               |          |                  |                                                    | <b>1456,63</b> | 25,73 |
| <b>FITOSANITARIOS</b>                         |          |                  |                                                    |                |       |
| Insecticida ( <i>Beauveria bassiana</i> )     | 1000     | g                | 0,014                                              | 14,00          |       |
| Engeo (Lambdacialotrina + Tiametoxam)         | 1        | L                | 84,5                                               | 84,50          |       |
| Agrin 25 (Cypermctrina)                       | 2        | L                | 8,5                                                | 17,00          |       |
| Deltaclor (Clorpyrifos + Xylene)              | 2        | L                | 13                                                 | 26,00          |       |
| Trichotic ( <i>Trichoderma</i> )              | 2        | L                | 15                                                 | 30,00          |       |
| Promess (Propamocarb Clorhidratado)           | 500      | mL               | 0,0136                                             | 6,80           |       |
| Euro (Dimetomorf + Mancozeb)                  | 5        | kg               | 9,5                                                | 47,50          |       |
| Curalanha (Cymoxanil + Mancozeb)              | 8        | kg               | 4,3                                                | 34,40          |       |
| Cosan (Azufre)                                | 8        | kg               | 4,5                                                | 36,00          |       |
| Fijafi                                        | 300      | mL               | 0,018                                              | 5,40           |       |
|                                               |          |                  |                                                    | <b>301,60</b>  | 5,33  |

|                                             |       |          |       |                |        |
|---------------------------------------------|-------|----------|-------|----------------|--------|
| <b>MAQUINARIA/EQUIPOS/MATERIALES</b>        |       |          |       |                |        |
| Análisis suelo                              | 1     | análisis | 27,85 | 27,85          |        |
| Arada/rastra/surcado                        | 6     | hora     | 25    | 150,00         |        |
| <b>POSCOSECHA</b>                           |       |          |       |                |        |
| Paja plástica                               | 1     | Rollo    | 5     | 5,00           |        |
| Empaques                                    | 938,2 | qq       | 0,2   | 187,64         |        |
| Transporte                                  | 938,2 | qq       | 0,3   | 281,46         |        |
|                                             |       |          |       | <b>651,96</b>  | 11,52  |
| <b>I.- SUBTOTAL COSTOS DIRECTOS</b>         |       |          |       | <b>4776,55</b> |        |
| <b>II.- SUBTOTAL COSTOS INDIRECTOS</b>      |       |          |       |                |        |
| Administración/asistencia téc. (10%)        |       |          |       | 477,65         |        |
| Costo Financiero (12% anual por 6 meses)    |       |          |       | 286,59         |        |
| Renta de la tierra (20 USD ha/mes- 6 meses) | 6     | MESES    | 20    | 120,00         |        |
|                                             |       |          |       | <b>884,25</b>  | 15,62  |
| <b>TOTAL COSTOS DE PRODUCCION (\$/Ha.)</b>  |       |          |       | <b>5660,80</b> | 100,00 |
| Rendimiento (qq)                            |       |          |       | 938,21         |        |
| Precio unitario (\$/qq)                     |       |          |       | 5,00           |        |
| Ingreso Bruto ( Total (\$)                  |       |          |       | 4691,05        |        |
| Utilidad Neta Total (\$)                    |       |          |       | -969,74        |        |
| Relación:Beneficio/Costo(B/C)               |       |          |       | -0,17          |        |
| Rentabilidad (%)                            |       |          |       | -17,13         |        |
| Costo de producción por unidad (\$/qq)      |       |          |       | 6,03           |        |

Realizado por Luis Miguel Puetate (2018)

## 7.2 Análisis del suelo



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI  
FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES  
ESCUELA DE AGROPECUARIA  
LABORATORIO DE SUELOS, FOLIARES Y AGUAS  
TULCÁN - ECUADOR



### REPORTE DE ANÁLISIS DE SUELOS

#### DATOS DEL PROPIETARIO

Nombre: Luis Miguel Puetate M.  
Dirección: El Ejido, Montúfar  
Ciudad: San Gabriel  
Teléfono: 0939694425  
e-mail: luis\_puetate147@hotmail.com

#### DATOS DE LA PROPIEDAD

Nombre: Finca Lucita  
Provincia: Carchi  
Cantón: Montúfar  
Parroquia: Cristóbal Colón

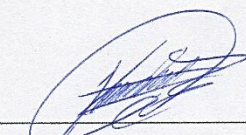
#### DATOS DEL LOTE

Cultivo Actual: Papa  
Cultivo Anterior: Haba  
Superficie: 5000 m<sup>2</sup>

#### PARA USO DEL LABORATORIO

Nº Muestra Lab.: SFA 18361 - 18400  
Fecha de muestreo: 14/12/2017  
Fecha de ingreso: 15/12/2017  
Fecha de salida: 19/01/2018

| Nutriente | Valor  | Unidad             |
|-----------|--------|--------------------|
| N         | 0,17   | %                  |
| P         | 19,06  | ppm                |
| K         | 64,70  | ppm                |
| Ca        | 235,93 | ppm                |
| Mg        | 34,13  | ppm                |
| Fe        | 469,28 | ppm                |
| Cu        | 3,24   | ppm                |
| Zn        | 4,28   | ppm                |
| pH        | 5,26   | ácido              |
| CE        | 107,74 | μS/cm <sup>2</sup> |
| Humedad   | 21,84  | %                  |
| MO        | 3,33   | ppm                |

  
RESPONSABLE DE LABORATORIO



### 7.3 Análisis del biol de producción local

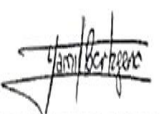
|                                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                                                                                |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|  | <p>ESTACIÓN EXPERIMENTAL "SANTA CATALINA"</p> <p>DEPARTAMENTO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS</p> <p>LABORATORIO DE ANÁLISIS DE SUELOS, PLANTAS Y AGUAS</p> <p>Panamericana sur Km. 1. Apartado 17-01-340</p> <p>Teléfono: 3007284. Email: laboratorio.dmsa@iniap.gob.ec</p> <p>Mejía -Ecuador</p> |  |
|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

#### REPORTE DE ANÁLISIS DE ABONOS ORGÁNICOS

|                                                                                                                                                     |                                                                                                                                                                   |                                                                                                                                                                                           |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p><b>DATOS DEL PROPIETARIO</b></p> <p>Nombre : UPEC - Ing. Ramiro Mora</p> <p>Dirección : Huaca</p> <p>Ciudad :</p> <p>Teléfono :</p> <p>Fax :</p> | <p><b>DATOS DE LA PROPIEDAD</b></p> <p>Nombre : San Francisco</p> <p>Provincia : Carchi</p> <p>Cantón : Huaca</p> <p>Parroquia : La Calera</p> <p>Ubicación :</p> | <p><b>PARA USO DEL LABORATORIO</b></p> <p>No. Muestra Lab. : 1197-1206</p> <p>Fecha de Muestreo : 23/10/2018</p> <p>Fecha de Ingreso : 26/10/2018</p> <p>Fecha de Salida : 31/10/2018</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

| No. Muestra Lab. | Identificación de la muestra | g/100 ml |      |      |      |      |   |       | mg/l |    |    |    |    |      |       |
|------------------|------------------------------|----------|------|------|------|------|---|-------|------|----|----|----|----|------|-------|
|                  |                              | N Total  | P    | K    | Ca   | Mg   | S | M.O.  | B    | Zn | Cu | Fe | Mn | pH   | C/N   |
| 1197             | Emas 1 - M1                  | 0.03     | 0.01 | 0.09 | 0.08 | 0.03 |   | 0.71  |      |    |    |    |    | 3.87 | 13.73 |
| 1198             | Amas 2 - M2                  | 0.08     | 0.01 | 0.42 | 0.15 | 0.05 |   | 3.09  |      |    |    |    |    | 3.84 | 22.40 |
| 1199             | Emas 3 - M3                  | 0.13     | 0.01 | 0.01 | 0.06 | 0.02 |   | 0.34  |      |    |    |    |    | 3.45 | 1.50  |
| 1200             | Biol - M4                    | 0.09     | 0.01 | 0.04 | 0.09 | 0.04 |   | 0.64  |      |    |    |    |    | 7.31 | 4.12  |
| 1201             | Humus líquido - M5           | 0.03     | 0.01 | 0.31 | 0.08 | 0.03 |   | 0.19  |      |    |    |    |    | 7.80 | 3.67  |
| 1202             | Humus - M6                   | 1.37     | 0.71 | 1.88 | 1.42 | 0.40 |   | 43.65 |      |    |    |    |    | 8.72 | 18.48 |
| 1203             | Vermicompost - M7            | 0.62     | 0.24 | 0.72 | 0.63 | 0.25 |   | 16.44 |      |    |    |    |    | 8.35 | 15.38 |
| 1204             | Micorrizas - M8              | 0.64     | 0.19 | 0.21 | 0.70 | 0.22 |   | 18.02 |      |    |    |    |    | 7.12 | 16.33 |
| 1205             | Compost - M9                 | 0.58     | 0.24 | 0.41 | 0.63 | 0.24 |   | 17.29 |      |    |    |    |    | 7.95 | 17.29 |
| 1206             | Suelo micorrizado - M9       | 0.46     | 0.20 | 0.20 | 0.70 | 0.25 |   | 13.06 |      |    |    |    |    | 6.93 | 16.47 |

| Unidades                                                   | Método               |
|------------------------------------------------------------|----------------------|
| g/100 ml : gramos/100 mili litros = % : porcentaje         | pH : Potenciométrico |
| mg/l : miligramos/litro = ppm : partes por millón.         | C.E: Conductimétrico |
| dS/m : deciSiemens/metro = mmhos/cm : milimhos/centimetro. | M.O.: Calcinación.   |

  
 RESPONSABLE DEL LABORATORIO

  
 LABORATORISTA



**Figuras 21:** Elaboración de surcos y siembra de tubérculos



**Figuras 22:** Aplicación de micorriza y fertilización edáfica



**Figuras 23:** Control fitosanitario y producto orgánicos utilizados (biol, fosfotic)



**Figuras 24:** Labores culturales (deshierba y aporque)



**Figuras 25:** Recolección de datos (diámetro del tallo y altura de planta)



**Figuras 26:** Cultivo en fase de desarrollo y maduración



**Figuras 27:** Cosecha y clasificación de tubérculos



**Figuras 28:** Pesaje de tubérculos en la cosecha y pesaje de muestras foliares húmedas en laboratorio



**Figuras 29:** Determinación de humedad y cenizas en muestras foliares y tubérculos



**Figuras 30:** Trituración de muestra seca de tubérculo y muestras foliares secas etiquetadas



**Figuras 31:** Determinación de Nitrógeno (método Kjeldahl) y Fósforo (Espectrofotometría UV – VIS)



**Figuras 32:** Digestión ácida de muestras y determinación de Potasio (Espectrofotometría de absorción atómica)