

# UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI



FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERÍA EN DESARROLLO INTEGRAL AGROPECUARIO

**Tema: “Evaluación de alternativas de fertilizantes comerciales para mejorar la productividad en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Variedad Superchola, en Guamá Bajo – Carchi - Ecuador”**

Trabajo de Integración Curricular previo a la obtención del  
título de Ingeniero en Desarrollo Integral Agropecuario

AUTOR: Cushicagua Andagoya Christian David

TUTOR: MSc. Mora Quilismal Segundo Ramiro, PhD.

Tulcán, 2026.

## CERTIFICADO DEL TUTOR

Certifico que el estudiante Cushicagua Andagoya Christian David con el número de cédula 1003823083 ha desarrollado el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación de alternativas de fertilizantes comerciales para mejorar la productividad en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Variedad Superchola, en Guamá Bajo – Carchi - Ecuador"

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

---

MSc. Mora Quilismal Segundo Ramiro, PhD.

**TUTOR**

Tulcán, abril de 2026

## AUTORÍA DE TRABAJO

El presente Trabajo de Integración Curricular constituye un requisito previo para la obtención del título de Ingeniero en la Carrera de ingeniería en desarrollo integral agropecuaria de la Facultad de Industrias Agropecuarias y Ciencias Ambientales

Yo, Cushicagua Andagoya Christian David con cédula de identidad número 1003823083 declaro que la investigación es absolutamente original, auténtica, personal y los resultados y conclusiones a los que he llegado son de mi absoluta responsabilidad.



---

Cushicagua Andagoya Christian David

**AUTOR**

Tulcán, abril de 2026

## ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR

Yo Cushicagua Andagoya Christian David declaro ser autora de los criterios emitidos en el Trabajo de Integración Curricular: "Evaluación de alternativas de fertilizantes comerciales para mejorar la productividad en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Variedad Superchola, en Guamá Bajo – Carchi - Ecuador." y eximo expresamente a la Universidad Politécnica Estatal del Carchi y a sus representantes de posibles reclamos o acciones legales.



---

Cushicagua Andagoya Christian David

**AUTOR**

Tulcán, abril de 2026

## **AGRADECIMIENTO**

Primeramente, doy gracias a Dios, en quien siempre he confiado que me guiará por el camino correcto para poder salir adelante y lograr terminar mis estudios.

Con amor a mi madre por brindarme el apoyo incondicional en todos los sentidos y así poder lograr una gran meta y llegar a ser un profesional.

Gracias a mis compañeros, amigos y docentes que me brindaron sus conocimientos y los buenos consejos que me impulsaron a culminar con mis estudios.

Cushicagua Andagoya Christian David

## DEDICATORIA

Quiero dedicar con mucho amor:

A mis hijos (Hernán Darío y Juan Pablo) quienes son el motivo principal de siempre querer superarme y ser mejor persona.

A mi madre quien sin dudarlo me apoyo tanto emocionalmente como económicamente hasta el final para así cumplir con mi meta de ser un profesional.

A mis hermanos les dedico y les demuestro que con perseverancia y esfuerzo se logra no una sino todas las metas que nos proponemos.

Cushicagua Andagoya Christian David

## ÍNDICE

<b>RESUMEN</b> .....	11
<b>ABSTRACT</b> .....	12
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	13
<b>I. EL PROBLEMA</b> .....	15
<b>1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b> .....	15
<b>1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b> .....	15
<b>1.3. JUSTIFICACIÓN</b> .....	16
<b>1.4. OBJETIVOS Y PREGUNTAS DE INVESTIGACIÓN</b> .....	17
1.4.1. Objetivo General .....	17
1.4.2. Objetivos Específicos .....	17
1.4.3. Preguntas de Investigación .....	17
<b>II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA</b> .....	18
<b>2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN</b> .....	18
<b>2.2. MARCO TEÓRICO</b> .....	19
2.2.1 Generalidades del cultivo.....	19
2.2.2 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de papa.....	22
2.2.3 Plagas y enfermedades del cultivo de papa en Ecuador .....	23
2.2.4 Importancia del cultivo de papa en el Ecuador .....	23
2.2.5 Manejo del cultivo de papa.....	24
2.2.6 Fertilizantes .....	26
<b>III. METODOLOGÍA</b> .....	31
<b>3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO</b> .....	31
3.1.1. Enfoque .....	31
3.1.2. Tipo de Investigación.....	31
<b>3.2. HIPÓTESIS</b> .....	31
<b>3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES</b> .....	32

<b>3.3.1. Definición de las variables</b> .....	32
3.3.2. Operacionalización de las variables.....	33
<b>3.4. MÉTODOS UTILIZADOS</b> .....	34
3.4.1. Área de estudio .....	34
3.4.2. Tratamientos del diseño experimental.....	34
3.4.3. Características del diseño experimental .....	35
3.4.4. Distribución y características del experimento .....	35
3.4.5. Población y muestra de la investigación .....	36
3.4.6. Procedimientos .....	37
3.4.7. Variables evaluadas.....	37
<b>3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b> .....	39
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	40
<b>4.1. RESULTADOS</b> .....	40
4.1.1. Altura de planta.....	40
4.1.2. Diámetro de tallo .....	41
4.1.3. Número de tallos.....	43
4.1.4. Número de tubérculos.....	45
4.1.5. Peso de tubérculo por categoría.....	47
4.1.6. Rendimiento .....	48
4.1.7. Análisis costo - beneficio.....	50
<b>4.2. DISCUSIÓN</b> .....	52
<b>V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	55
<b>5.1. CONCLUSIONES</b> .....	55
<b>5.2. RECOMENDACIONES</b> .....	56
<b>VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	57
<b>VII. ANEXOS</b> .....	63

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Taxonomía del cultivo de papa .....	19
Tabla 2. Etapas fenológicas del cultivo de papa variedad Superchola .....	22
Tabla 3. Principales enfermedades y plagas del cultivo de papa .....	23
Tabla 4. Composición nutricional de la papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L.) .....	24
Tabla 5. Recomendaciones de fertilización para el cultivo de la papa comercial en Ecuador.....	27
Tabla 6. Composición química del fertilizante 10-30-10.....	28
Tabla 7. Composición química del fertilizante 8-20-20.....	29
Tabla 8. Composición química del fertilizante papa siembra .....	29
Tabla 9. Composición química del fertilizante papa aporque .....	30
Tabla 10. Operacionalización de variables .....	33
Tabla 11. Tratamientos del experimento .....	35
Tabla 12. Características del experimento .....	35
Tabla 13. Análisis de varianza para la altura de planta (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)	40
Tabla 14. Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta .....	41
Tabla 15. Análisis de varianza para el diámetro de tallo (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días) .....	42
Tabla 16. Prueba de Tukey al 5% para diámetro de tallo.....	43
Tabla 17. Análisis de varianza para el número de tallos (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)	44
Tabla 18. Prueba de Tukey al 5% para el número de tallos.....	45
Tabla 19. Análisis de varianza para el número de tubérculos por categorías.....	46
Tabla 20. Prueba de Tukey al 5% para el número de tubérculos.....	47
Tabla 21. Análisis de varianza el peso de tubérculo por categoría .....	47
Tabla 22. Prueba de Tukey al 5% para el peso de tubérculo por categoría .....	48
Tabla 23. Análisis de varianza para el rendimiento .....	49
Tabla 24. Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento .....	50
Tabla 25. Análisis costo/beneficio por ha para el cultivo de papa Superchola .....	51

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Morfología de la planta de papa .....	20
Figura 2. Ubicación del experimento .....	34

Figura 3. Distribución del ensayo.....	36
Figura 4. Parcela neta.....	36
Figura 5. Delimitación y preparación del terreno.....	65
Figura 6. Semilla de papa.....	65
Figura 7. Fertilizante MixPac papa siembra.....	65
Figura 8. Fertilizante MixPac papa aporque .....	65
Figura 9. Toma de datos Altura de planta .....	65
Figura 10. Toma de datos Rendimiento del cultivo .....	65

### ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Acta de sustentación de predefensa de TIC .....	63
Anexo 2. Certificado del Abstract por parte de idiomas .....	64
Anexo 3. Procedimiento experimental.....	65

## RESUMEN

El estudio se llevó a cabo en la comunidad Guama, perteneciente a la parroquia Tulcán, cantón Tulcán, provincia del Carchi, Ecuador, ubicado a una altitud de 3.015 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas geográficas 0.766667° N y -77.7667° O. La zona presenta una temperatura promedio entre 10 y 14 °C, una precipitación anual de 500 a 1000 mm y suelos de origen volcánico, clasificados como andisoles, con texturas que varían de franco-arenosa a franco-arcillosa. La investigación tuvo como propósito evaluar distintas alternativas de fertilización edáfica para incrementar la productividad del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola. Se utilizó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con un arreglo factorial 3 × 2, conformando seis tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos incluyeron combinaciones de fertilizantes comerciales (10-30-10), (8-20-20), (12-30-10 + micronutrientes) y (16-0-25) + micronutrientes, aplicados en diferentes momentos del ciclo del cultivo. Las variables evaluadas fueron el crecimiento morfológico de las plantas, la calidad del tubérculo semilla, el rendimiento y la relación costo-beneficio. El análisis estadístico se realizó en RStudio mediante la prueba de Tukey al 5 %. Los mejores resultados en desarrollo y rendimiento se obtuvieron con el tratamiento T5 (12-30-10) + (16-0-25) mientras que el tratamiento T2 (fertilización fraccionada con 10-30-10 + 8-20-20) presentó la mayor rentabilidad económica, alcanzando una relación beneficio/costo (B/C) de 2.49, evidenciando su eficiencia productiva y económica.

**Palabras Claves:** Rendimiento, fertilización edáfica, costo beneficio

## ABSTRACT

The study was conducted in the Guama community, which belongs to the Tulcán, canton, Carchi province, Ecuador, located at an altitude of 3,015 meters above sea level, with geographic coordinates 0.766667° N and -77.7667° W. The area has an average temperature of 10 to 14 °C, an annual precipitation of 500 to 1,000 mm, and volcanic soils classified as Andisols, with textures ranging from sandy loam to clay loam. The research aimed to evaluate different soil fertilization alternatives to increase the productivity of the potato crop (*Solanum tuberosum* L.) variety Superchola. A randomized complete block design (RCBD) with a 3 × 2 factorial structure was used, resulting in six treatments and four replicates. The treatments included combinations of commercial fertilizers (10-30-10), (8-20-20), (12-30-10 + micronutrients), and (16-0-25 + micronutrients), applied at different times during the crop cycle. The evaluated variables were plant morphological growth, seed tuber quality, yield, and cost-benefit ratio. Statistical analysis was performed in RStudio using Tukey's test at the 5% significance level. The best development and yield results were obtained with treatment T5 (MixPac Seeding + MixPac Hilling), while treatment T2 (split fertilization with 10-30-10 + 8-20-20) exhibited the highest economic profitability, achieving a benefit–cost ratio (B/C) of 2.49, demonstrating its productive. The best development and yield results were obtained with treatment T5 (MixPac Seeding + MixPac Hilling), while treatment T2 (split fertilization with 10-30-10 + 8-20-20) exhibited the highest economic profitability, achieving a benefit–cost ratio (B/C) of 2.49, demonstrating its productive and economic efficiency.

**Keywords:** Yield, soil fertilization, cost-benefit.

## INTRODUCCIÓN

A escala global, la papa ha formado parte fundamental de la alimentación humana desde tiempos prehispánicos. En el año 2016, la producción de este tubérculo registró su mayor volumen, alcanzando 422 millones de toneladas, concentradas principalmente en países líderes en el cultivo como China, Rusia, Ucrania, Estados Unidos, Alemania, entre otros.

En Ecuador, el cultivo de papa constituye una de las actividades agrícolas más relevantes debido a su impacto económico, social y productivo. Este tubérculo cubre alrededor del 60 % de la demanda alimentaria nacional. Cabe señalar que, con el paso del tiempo, las prácticas de manejo de este cultivo han mejorado de manera significativa, lo que ha permitido un notable incremento en los rendimientos por hectárea (Basantes et al., 2020).

El uso adecuado de fertilizantes es crucial para optimizar los recursos en la agricultura moderna, donde los fertilizantes complejos, como el 15-15-15, 19-04-19 y 10-30-10, ofrecen diferentes combinaciones de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Estos nutrientes son esenciales para el desarrollo vegetativo y reproductivo de la planta, siendo necesarios para procesos como la fotosíntesis, la floración, y la acumulación de materia seca (Marschner, 2012).

En la actualidad, para mejorar la absorción de nutrientes en el suelo y reducir el uso de productos químicos, la agricultura ha estado orientada hacia un manejo más razonable, haciendo uso de los recursos que la misma naturaleza ofrece, como el manejo integrado utilizando biofertilizantes, manteniendo un equilibrio biológico y físico-químico en el suelo, disminuir los daños ocasionados por patógenos y mejorar el desarrollo vegetativo de los cultivos (Castillo et al., 2016).

Según Alonso (2002), la fertilización en papa busca alcanzar niveles de producción óptimos, lo cual exige un manejo técnico de la nutrición del cultivo. La papa se desarrolla mejor en suelos ligeros, arenosos o limosos, son favorables por su permeabilidad, presentan baja capacidad de retención de nutrientes, especialmente de nitratos, que se pierden fácilmente por lixiviación y limitan la absorción de nitrógeno. Este problema, sumado al uso inadecuado de fertilizantes por falta de conocimiento, repercute en bajos rendimientos y poca rentabilidad para

el agricultor. De ahí la importancia de establecer dosis óptimas y épocas adecuadas de aplicación, ajustadas a las fases fenológicas del cultivo, con el fin de garantizar un suministro balanceado de nutrientes. Una estrategia de fertilización racional permite optimizar recursos económicos y agrícolas, asegurando un desarrollo equilibrado y sostenible del cultivo de papa.

## **I. EL PROBLEMA**

### **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El suelo, recurso vital y no renovable, sufre un deterioro progresivo por la pérdida de nutrientes y la acumulación de elementos tóxicos, lo que disminuye su productividad y contamina fuentes hídricas, llegando incluso al abandono de tierras (Pereira et al., 2020). Dicho desgaste se intensifica por prácticas como la agricultura en laderas, el sobrepastoreo, la deforestación y el aumento poblacional (Thomas et al., 2018).

En Ecuador, la papa ha sido por milenios un cultivo prioritario, ocupando actualmente alrededor de 66.000 hectáreas sembradas al año. Sin embargo, el monocultivo ha acelerado la degradación edáfica. Esta situación ha convertido el deterioro de suelos en uno de los problemas ambientales más graves del país (Pumisacho y Sherwood, 2002).

Con el fin de compensar la baja disponibilidad de fósforo, muchos agricultores han recurrido al uso excesivo de fertilizantes químicos, desconociendo sus efectos negativos. Si bien inicialmente incrementan el rendimiento, a largo plazo disminuyen la materia orgánica y conducen a la esterilidad del suelo (Alemán de la Torre, 2016).

Este manejo inadecuado genera impactos ambientales severos, como la contaminación del agua (García & Rosales, 2018), la emisión de gases de efecto invernadero (González & Camacho, 2017) y el deterioro de la calidad del suelo, reflejado en acidificación, salinización, reducción del pH y alteraciones de la microbiota edáfica (Rodríguez et al., 2019).

### **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El desconocimiento de alternativas de fertilización comercial y el uso inadecuado de abonos químicos ha bajado la productividad de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la provincia del Carchi, y el resto de país.

### 1.3. JUSTIFICACIÓN

La papa (*Solanum tuberosum*L.) constituye un cultivo estratégico en Ecuador por su relevancia social y económica. En 2023 se registraron 19.836 hectáreas cultivadas, alcanzando una producción de 262.038 toneladas métricas y un rendimiento promedio nacional de 13,21 t/ha. La provincia del Carchi sobresalió con 21,7 Tha<sup>-1</sup> en 5.113 hectáreas. Este rubro sustenta a más de 88.000 agricultores y beneficia a unas 250.000 personas vinculadas a la cadena productiva. Además, genera cerca de 3,5 millones de jornales y alrededor de 70 millones de dólares en ingresos, consolidándose como pilar de la economía rural (Cuesta, 2022).

La aplicación correcta y dosis adecuada de agroquímicos, no solo fortalece la salud del suelo, sino que también reduce de manera notable los costos de producción. Esta disminución en el gasto de insumos permite a los agricultores una mejor gestión de sus recursos, promoviendo un ciclo productivo más sostenible y rentable.

Para obtener un buen rendimiento del cultivo se debe aplicar fertilizantes en cada ciclo, por ello, se ha incrementado significativamente la dosis de fertilizantes sintéticos por unidad de superficie. Sin embargo, con dosis técnicas y épocas de aplicación de estos se puede reducir costos de producción y disminuir la contaminación del suelo (FAO, 2017).

La investigación se centra en la evaluación de alternativas de fertilizantes comerciales para mejorar la productividad en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Variedad Súperchola, con el objetivo de realizar un manejo técnico y uso racional en la dosificación y modos de aplicación de fertilizantes químicos y la optimización de la productividad. En Ecuador, el cultivo de papa desempeña un papel clave. En 2020, la superficie sembrada alcanzó 25,924 hectáreas, concentrándose la mayor producción en la provincia de Carchi, que registró 18.800 toneladas métricas, equivalentes al 45.97% de la producción nacional (Cuesta, 2022).

La presente investigación se justifica por la necesidad de optimizar las prácticas de fertilización en la provincia del Carchi, donde el uso adecuado de insumos favorece tanto el rendimiento del cultivo como la calidad del producto, promoviendo sistemas agrícolas sostenibles.

A nivel global, la nutrición en papa con fertilización comercial ha sido ampliamente estudiada, evidenciando que el manejo equilibrado de nutrientes esenciales como

nitrógeno, fósforo y potasio permite incrementar la productividad y mejorar las características de los tubérculos (Alvarez, 2020).

Además, la investigación pretende generar conocimiento técnico-científico que pueda ser replicado en otras zonas agrícolas de características similares, aportando así a la eficiencia en el manejo de cultivos de papa en zonas de altura (Rodríguez et. al. 2020).

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

##### 1.4.1. Objetivo General

Evaluar alternativas de fertilizantes comerciales para mejorar la productividad en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) Variedad Superchola, en Guamá Bajo – Carchi – Ecuador.

##### 1.4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el tratamiento que ofrece los mejores resultados en el desarrollo fisiológico del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).
- Analizar la influencia de las alternativas en estudio en la productividad y rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.).
- Realizar el análisis económico de los tratamientos en estudio.

##### 1.4.3. Preguntas de Investigación

- ¿Cuál tratamiento ofrece los mejores resultados en el desarrollo fisiológico del cultivo de papa?
- ¿Qué tratamiento tiene influencia en la productividad y rendimiento del cultivo de papa?
- ¿Cuál tratamiento en estudio, tiene el mejor Costo beneficio?

## II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

### 2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

La variedad de papa Superchola ha sido ampliamente estudiada en el Ecuador debido a su importancia económica y alimentaria, especialmente en provincias de la Sierra como Carchi, Tungurahua y Chimborazo. Diversas investigaciones se han orientado a mejorar las prácticas de fertilización para incrementar rendimiento, calidad y eficiencia en el uso de nutrientes.

Arroyo Terán (2015), en un estudio realizado en la Estación Experimental Santa Catalina del INIAP, planteó como objetivo identificar las prioridades de fertilización en la variedad Superchola cultivada en andisoles de la Sierra. Sus resultados demostraron que el nitrógeno, fósforo y potasio son los nutrientes más determinantes, recomendando un manejo focalizado de estos elementos para mejorar la productividad.

Por su parte, Bravo Cofre (2015), también desde el INIAP en la provincia del Carchi, evaluó el manejo de nutrientes por sitio específico en tres localidades. El estudio evidenció que las recomendaciones de fertilización ajustadas a cada zona agroecológica aumentan de manera significativa el rendimiento y la eficiencia del uso de fertilizantes, frente a prácticas generalizadas.

En un trabajo más reciente, Chamorro (2022), en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y publicado en la revista Siembra, analizó la dinámica de absorción de nutrientes en Superchola para la producción de semilla prebásica. El autor identificó las curvas de absorción y momentos críticos de demanda, lo que permitió proponer un calendario de fertilización adaptado a la fenología del cultivo.

De igual forma, Valenzuela Coba (2023), en la Universidad Técnica de Ambato, evaluó el efecto de dos fuentes de calcio en el rendimiento de la papa Superchola. El estudio determinó que la aplicación de calcio no solo incrementó el rendimiento comercial, sino que también mejoró la calidad de los tubérculos y su resistencia en poscosecha.

Espín Villamarín (2024), en la Universidad Técnica de Cotopaxi, evaluó la aplicación de un fertilizante foliar en tres dosis, encontrando que la dosis intermedia permitió un equilibrio entre rendimiento y costos, constituyéndose en una alternativa eficiente para los agricultores.

Finalmente, Gaibor (2024), en una investigación publicada a través de SENESCYT en SciELO, analizó la eficiencia de uso del nitrógeno en la variedad Superchola. Sus hallazgos mostraron que el fraccionamiento de las aplicaciones de nitrógeno mejora la absorción del cultivo, reduce pérdidas y aumenta la rentabilidad del sistema productivo.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1 Generalidades del cultivo

#### 2.2.1.1 Origen del cultivo

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es una especie herbácea dicotiledónea originaria de Sudamérica, domesticada en la región andina hace unos 8000 años. Presenta un sistema aéreo de porte erecto o semierecto, dependiendo del cultivar, y un sistema subterráneo rizomatoso del que se desarrollan los tubérculos (Márquez-Vasallo, 2020). La primera referencia escrita sobre este cultivo la realizó Pedro Cieza de León en 1538. Durante sus recorridos halló tubérculos denominados “papas” por los pueblos originarios, primero en el valle del Cuzco, Perú, y posteriormente en Quito, Ecuador. El Lago Titicaca, situado entre Perú y Bolivia, se reconoce como el principal centro de domesticación y diversificación de este cultivo (Pumisacho y Sherwood, 2002)

#### 2.2.1.2 Taxonomía y Morfología de la papa

La Clasificación taxonómica de la papa se detalla en la tabla 1.

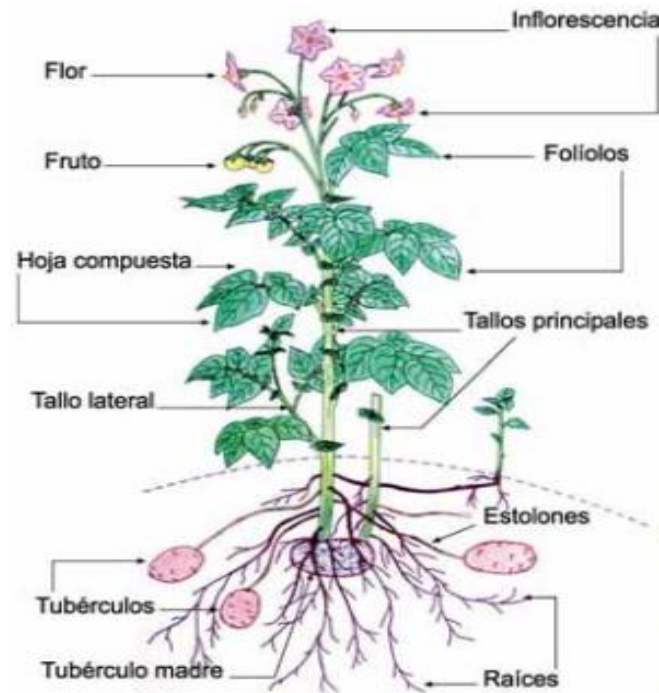
**Tabla 1.** Taxonomía del cultivo de papa

<b>Categoría</b>	<b>Nombre</b>
Reino	Plantae
División	Magnoliophyta
Clase	Angiospermae
Orden	Tubiflorales
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum tuberosum</i> L

**Fuente:** (Laguna, 2019)

### 2.2.1.3 Morfología de la planta de papa

La papa es una planta herbácea que consta de varias partes:



**Figura 1.** Morfología de la planta de papa

**Fuente:** ( Inostroza et al., s.f.)

Descripción morfológica de la papa:

- Raíces: Presenta raíces adventicias cuando nace a partir de tubérculos, primero aparecen en la base de cada brote y después encima de los nudos en la parte subterránea de cada tallo.
- Tallo: Presenta tallos circulares en el corte transversal, de coloración verde con pigmentación rojiza o morada. Cuando la planta nace de un tubérculo semilla, presenta varios tallos principales y laterales.
- Estolones: Son tallos que nacen horizontalmente de las yemas de los tallos principales que se encuentran debajo del suelo. Estos se transforman a tubérculos, incrementando su tamaño en la parte terminal.
- Tubérculos: Son tallos transformados que poseen dos extremos: el basal (ligado al estolón) y apical (extremo expuesto). Este órgano está compuesto por ojos o nudos distribuidos en forma de espiral y cada ojo contiene varias yemas de donde nacen nuevos tallos principales, laterales o estolones.
- Brotes: Nacen de las yemas de los ojos de los tubérculos sembrados y dan origen a una nueva planta.

- Hojas: Son hojas compuestas, debido a que poseen varios pares de folíolos laterales primarios, folíolos secundarios pequeños y un folíolo terminal.
- Flor: Presenta una inflorescencia cimosa, es decir, el pedúnculo está dividido en dos ramas, las cuales se subdividen en otras dos denominados pedicelos. Las flores son bisexuales y están formadas por: cáliz, corola, estambres y pistilo.
- Fruto: Es una baya esférica de color verde que puede contener 200 semillas dependiendo la variedad (Inostroza et al., s.f.)

#### 2.2.1.4 Variedad Superchola

Esta variedad es el resultado de un mejoramiento genético del cultivo de papa realizado por el investigador Germán Rodrigo Bastidas Vaca después de 20000 cruzamientos. En el año de 1984, la "Superchola" salió al mercado de forma gratuita para que la mayoría de los productores puedan adquirirla y se vaya extendiendo al resto del país (Vélez, 2017).

Características principales de la variedad Superchola:

#### **Características agronómicas**

- Zona productiva: norte y centro de la región sierra.
- Altitud: 2800 a 3400 msnm
- Floración: 120 días
- Maduración/cosecha: 180 - 210 días
- Materia seca: 22 - 24%
- Periodo de dormancia: 80 días (Mastrocola et al., 2016).

#### **Características morfológicas**

- Planta de crecimiento erecto.
- Tallos verdes con pigmentación púrpura.
- Follaje frondoso de rápido desarrollo.
- Hojas de color verde intenso con tres o cuatro pares de folíolos laterales, un folíolo terminal, dos o tres pares de folíolos inter hojuelas entre los folíolos laterales y sobre el peciolo.
- Flores de coloración púrpura con color secundario blanco.
- Tubérculos de forma ovalada, ojos superficiales y color rosado principalmente (Mastrocola et al., 2016)

## Características fitosanitarias

- Susceptible: lancha (*Phytophthora infestans*)
- Medianamente resistente: roya (*Puccinia pittieriana*)
- Tolerante: nematodo del quiste de la papa (*Globodera pallida*) (Mastrocola et al., 2016).

## Etapas fenológicas del cultivo de papa variedad Superchola

Según Yanez (1999), la papa variedad Superchola es considerada semitardía y atraviesa 7 etapas fenológicas que se detallan en la tabla 2.

**Tabla 2.** Etapas fenológicas del cultivo de papa variedad Superchola

Etapas fenológicas	Descripción
Fase vegetativa	<ul style="list-style-type: none"><li>• Brotación de semilla: Inicia inmediatamente después de la cosecha o después de 60 días.</li><li>• Emergencia: Dura 26 días y empieza desde la siembra hasta cuando la planta alcanza 10 a 15 cm de altura.</li><li>• Inicio de la floración: Inicia a los 73 días y comienza cuando las yemas terminales se convierten en botones florales.</li><li>• Inicio de la tuberización: Inicia a los 88 días y ocurre cuando la parte final del estolón empieza a hincharse.</li></ul>
Fase reproductiva	<ul style="list-style-type: none"><li>• Fin de la floración: La floración dura 50 días y el fin ocurre cuando todas las flores han reventado.</li><li>• Fin de la tuberización: La tuberización dura 57 días y finaliza cuando los tubérculos se han terminado de formar.</li></ul>
Fase de maduración	<ul style="list-style-type: none"><li>• Maduración: Alcanza a los 180 días, posteriormente a este periodo, los tubérculos están listos para ser cosechados.</li></ul>

**Fuente:** (Guerra, 2021; Barrios, 2023)

### 2.2.1.5 Comercialización de papa variedad Superchola

La comercialización se realiza mediante intermediarios, acopiadores y de manera directa con el consumidor. Sin embargo, la comercialización a través de intermediarios representa el 50,45 % del total de las ventas y es donde más injerencias existe, ya que se encargan de aumentar el precio del producto y disminuir las ganancias del productor. De ahí que, los rendimientos del cultivo de papa no garantizan una buena comercialización, porque, adicionalmente, interfieren otros factores como la sobreproducción, el contrabando y la venta ilegal (Basantes et al., 2020).

### 2.2.2 Requerimientos edafoclimáticos del cultivo de papa

El cultivo de papa prospera en temperaturas de 17 a 23 °C, aunque por su carácter termoperiódico requiere variaciones de 10 a 25 °C. Prefiere suelos francos, con pH entre 5.0 y 7.0, buena aireación, drenaje y más de 50 cm de profundidad para el desarrollo de los tubérculos. La pendiente óptima del terreno es de 0 a 4 %, lo que

facilita la captación de agua y el uso de maquinaria. Su altitud ideal oscila entre 1500 y 2500 msnm, aunque puede adaptarse desde 460 hasta 3000 msnm, siempre con vientos menores a 20 km/h. Las necesidades hídricas dependen de la etapa de crecimiento y condiciones ambientales. Finalmente, requiere entre 8 y 12 horas de luz diaria para realizar fotosíntesis y formar tubérculos (Intagri S.C., 2017).

### 2.2.3 Plagas y enfermedades del cultivo de papa en Ecuador

Según INIAP (2013), como se detalla en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Principales enfermedades y plagas del cultivo de papa

Nombre vulgar	Nombre científico	Producto Control	Dosis
Tizón tardío, lancha	<i>Phytophthora infestans</i>	Cymoxanil + Mancozeb	1 - 2 kg / ha
Tizón temprano	<i>Alternaria solani</i>	Difenoconazole	300 ml / ha
Rhizoctoniasis	<i>Rhizoctonia solani</i> Kühn	Thifluzamide	250 ml / ha
Roya	<i>Puccinia pittieriana</i> P, Henn,	Azufre micronizado	1 - 2 kg / ha
Gusano blanco	<i>Premnotrypes vorax</i>	Lambdacialotrina + Tiametoxan	1 l / ha
Pulguilla	<i>Epitrix</i> spp,	Cypermotrina	1 l / ha
Polilla	<i>Tecia solanivora</i>	Acephate	1 l / ha
Guatemalteca			
Mosca minadora	<i>Liriomyza huidobrensis</i>	Clorpirifos	1 l / ha

**Fuente:** (INIAP (2013))

### 2.2.4 Importancia del cultivo de papa en el Ecuador

El cultivo de papa en Ecuador tuvo gran importancia social, al brindar empleo a 82,999 personas, de las cuales el 53% fueron hombres y 47% fueron mujeres. Además, contribuyó con 2,3% al Valor Agregado Bruto (VAB) Agropecuario, donde las provincias con mayor producción fueron: Carchi, Cañar, Imbabura, Chimborazo, Bolívar, Cotopaxi y Sucumbíos (Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), 2021).

En Ecuador, el área cosechada de papa en 2021 alcanzó 19 088 hectáreas, con una producción de 0,24 millones de toneladas (INEC, 2022). Las provincias de Carchi, Bolívar y Chimborazo concentraron el 49,82% de la superficie cultivada, destacando Carchi con 0,10 millones de toneladas anuales. Este tubérculo no solo garantiza la seguridad alimentaria, sino que también representa un recurso económico clave para las familias rurales. Su producción es la principal fuente de ingresos de numerosos agricultores de la sierra ecuatoriana. Así, la papa constituye un pilar en la economía agrícola y en la subsistencia campesina (Mosquera, 2018).

#### 2.2.4.1 Potencial nutricional de la papa

La papa es un aporte importante para la alimentación del ser humano, al poseer compuestos que cubren sus requerimientos diarios y ayudan a prevenir

enfermedades. Se caracteriza por abarca un alto contenido de carbohidratos, especialmente de almidón, el cual actúa en beneficio del metabolismo y rendimiento del organismo como se detalla en la tabla 4. (Burgos & De Hann, 2019).

**Tabla 4.** Composición nutricional de la papa (*Solanum tuberosum* L.)

<b>Descripción</b>	<b>Contenido (100 g)</b>
Energía	96 a 123 Kcal
Almidón	16 a 20 g
Proteína	1,76 a 2,95 g
Lípidos	0,1 a 0,5 g
Fibra dietaría	1,8 a 2,1 g
Potasio	150 a 1386 mg
Fósforo	42 a 120 mg
Magnesio	16 a 40 mg
Hierro	0,29 a 0,69 mg
Zinc	0,29 a 0,48 mg
Vitamina C	7,8 a 20,6 mg
Vitamina B6	0,299 mg
Ácido clorogénico	19 a 399 mg
Glicoalcaloides	0,7 a 18,7 mg

**Fuente:** (Burgos & De Hann, 2019)

## 2.2.5 Manejo del cultivo de papa

### **Selección de semilla**

Para obtener buenos rendimientos del cultivo se debe seleccionar semillas de buena calidad, que cumplan tres puntos importantes: tamaño (La semilla debe pesar entre 80 y 100 gramos), sanidad (Libre de daños mecánicos, pudrición o larvas de insectos) y estado fisiológico (tubérculo semilla se encuentra en inicio de brotación múltiple) (Uribe et al., 2013).

### **Preparación del terreno**

- Arado: Dos meses antes de la siembra, se realiza el arado con ayuda de un tractor o yunta, con la finalidad de romper el suelo y eliminar larvas y pupas de insectos plaga.
- Cruza: Se realiza con ayuda de un tractor o yunta, con la finalidad de despedazar los terrones grandes de suelo para dejarlo uniforme.
- Rastra: Se realiza con tractor y cumple la función de desmenuzar los terrones y reducir los desechos de rastros o restos de cosecha.
- Surcado: Un día antes de la siembra, se realiza el surcado con ayuda de un tractor, yunta o manualmente. Consiste en formar los surcos o huachos de forma cruzada a la pendiente (Araujo et al., 2021).

## **Siembra**

La siembra consiste en colocar, dependiendo el tamaño y la variedad, una o dos semillas a lo largo del surco a una distancia de 30 a 50 cm entre golpe y golpe. Posteriormente se cubre la semilla a una profundidad de 10 cm bajo suelo con ayuda de un azadón. Esta labor debe realizarse en periodos de lluvia para asegurar la humedad del suelo.

## **Fertilización**

Para una adecuada fertilización es importante realizar previamente el análisis de suelo, el cual permite conocer el nivel de nutrientes que posee este recurso y el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), por lo que el mercado ofrece combinación de fertilizantes como: 10 – 30 – 10 + nitrato de calcio, 10 – 46 – 00 + muriato de potasio + nitrato de calcio y fertipapa siembra + nitrato de calcio.

## **Labores culturales**

- Retape: Consiste en aplicar la primera fertilización a los 15 días después de la siembra y taparlo con una ligera capa de tierra.
- Deshierba: Consiste en eliminar las plantas adventicias que compiten con las plantas de papa por agua y nutrientes del suelo y que pueden ser hospederos de patógenos e insectos perjudiciales para el cultivo.
- Aporque: Consiste en aplicar la segunda fertilización a los 60 días después de la siembra y colocar tierra en el cuello de la planta de papa, con el propósito de eliminar malezas y cubrir los estolones. También es importante para ahuyentar a las plagas que deseen ingresar a los futuros tubérculos.

## **Cosecha**

Primeramente, se afloja la tierra, despejando la planta y abriendo los surcos. Luego, se realiza la recolección de los tubérculos de cada planta y se clasifican en primera, segunda y tercera categoría, dependiendo del tamaño. Posteriormente, se introducen los tubérculos en sacos de polietileno para evitar el ataque de plagas, enfermedades o cualquier factor externo (Araujo et al., 2021).

### **2.2.5.1 Requerimientos nutricionales del cultivo de papa**

Los macro-elementos más importantes para la nutrición de los cultivos son:

- Nitrógeno (N): Necesario para la formación de proteínas, división celular, fotosíntesis y es parte importante de la molécula de clorofila.
- Fósforo (P): Necesario para el crecimiento de la raíz, utilización de azúcares y en los procesos de la fotosíntesis y transferencia de energía.
- Potasio (K): Necesario para la formación de aminoácidos y proteínas, además, es importante para el proceso de la fotosíntesis, formación de frutos, resistencia a enfermedades y bajas temperaturas. Previene la marchitez de la planta (Beltrán & Bernal, 2022).

#### 2.2.6 Fertilizantes

Los suelos agrícolas están en la capacidad de suministrar los nutrimentos requeridos por las plantas. Sin embargo, sus propiedades físicas, químicas y biológicas hacen que esta capacidad sea muy variable y muchas veces es 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 Ecuador y muy variada en cuanto a fuentes, dosis y épocas de aplicación (Torres et al., 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 simultánea de estos para alcanzar un buen desarrollo radical y aéreo en la etapa de establecimiento (Pérez et al., 2008). 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., 2009).

Para Oyarzún et al. (2002), El Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias estableció 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. En el caso de la papa las cantidades de fertilizantes necesarias para obtener rendimientos favorables se muestran en la tabla 5.

**Tabla 5.** Recomendaciones de fertilización para el cultivo de la papa comercial en Ecuador

Análisis de suelo	N	P2O5	K2O	S
Bajo	150 – 200	300 – 400	100 – 150	20 – 30
Medio	100 – 150	200 – 300	60 – 100	10 – 20
Alto	050 – 100	100 – 200	30 – 60	0 – 10

**Fuente:** (Oyarzún et al. 2002)

La fertilización es la práctica de proveer nutrientes esenciales a la planta, los cuales deben estar disponibles para su absorción y metabolismo mediante las raíces, el agua y el oxígeno del suelo (Cerisola, 2015).

#### 2.2.6.1 Fertilizantes empleados en el cultivo de papa Superchola

Los fertilizantes son una herramienta fundamental en la agricultura moderna, y su uso en el cultivo de la papa puede proporcionar beneficios significativos. Según información de expertos (Syngenta, 2019), los fertilizantes bien formulados pueden promover un crecimiento más vigoroso y una mayor resistencia al estrés en las plantas de papa. La aplicación de fertilizantes en el cultivo de la papa puede ayudar a mejorar la calidad y el rendimiento de los tubérculos, así como a reducir la incidencia de enfermedades y plagas. Su uso adecuado, junto con prácticas agronómicas sólidas, puede contribuir a una producción más sostenible y rentable de papa.

Los fertilizantes proporcionan nutrientes esenciales que son vitales para el crecimiento y desarrollo de la planta, tales como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), además de micronutrientes como el zinc (Zn) y el hierro (Fe), (Gómez & Ruiz, 2018). Fertilizante 10-30-10 El fertilizante 10-30-10, rico en fósforo, es esencial para la etapa inicial de crecimiento de la papa. Este fertilizante mejora significativamente el desarrollo radicular y promueve una floración robusta. Contiene una mezcla equilibrada de nitrógeno, fósforo y potasio que favorece el establecimiento de las plantas jóvenes, asegurando una base sólida para un crecimiento futuro. El uso de 10-30-10 resulta en un incremento notable en el número de raíces secundarias, mejor absorción de nutrientes y un aumento en la resistencia de la planta a condiciones de estrés abiótico Composición: 10% Nitrógeno (N), 30% Fósforo (P), 10% Potasio (K).

#### **Solubilidad:**

Nitrógeno (10%): Aproximadamente 5 semanas para solubilizarse y estar disponible para las plantas. Fósforo (30%): Toma alrededor de 6 semanas para que el fósforo esté disponible, debido a su menor movilidad en el suelo. Potasio (10%): Se solubiliza en 5

semanas, similar al nitrógeno. Beneficios: Desarrollo radicular: Alta concentración de fósforo promueve el desarrollo de raíces fuertes y profundas. Crecimiento equilibrado: Proporciona los nutrientes necesarios para un crecimiento saludable sin promover un exceso de vegetación. Resistencia al estrés: Mejora la capacidad de la planta para resistir condiciones adversas como sequía o salinidad (Agrobimsa, 2023).

#### 2.2.6.1 Fertilizantes comerciales

##### **Fertilizante 10-30-10 (NPK balanceado)**

Abono Completo 10-30-10 es una fórmula equilibrada que aporta nitrógeno, fósforo y potasio, asegurando una nutrición completa para una amplia variedad de cultivos. Su composición mejora el desarrollo radicular, el crecimiento vegetativo y la producción de frutos, fortaleciendo las plantas contra enfermedades y optimizando la rentabilidad agrícola. Este producto es ideal para cultivos de ciclo corto y perennes, proporcionando los nutrientes esenciales para un desarrollo robusto y saludable. Beneficios: Fertilizante especializado: Proporciona los nutrientes específicos necesarios para cultivos agrícolas. Crecimiento y desarrollo: Fomenta un crecimiento vigoroso y un desarrollo saludable de las plantas. Mejora la producción: Aumenta el rendimiento y la calidad de los frutos. Materia prima importada: Utiliza ingredientes de alta calidad para asegurar la máxima eficiencia y efectividad. Fácil aplicación: Compatible con diversos métodos de fertilización agrícola como se detalla en la tabla 6. (Fertiza S.A., 2024)

**Tabla 6.** Composición química del fertilizante 10-30-10

<b>10-30-10</b>	<b>Composición garantizada (%)</b>
Nitrógeno (N)	10%
Fósforo(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	30%
Potasio(K <sub>2</sub> O)	10%
Magnesio (MgO)	0,5%
Azufre (S)	2,0%

**Fuente:** (Fertiza S.A. 2024)

##### **Fertilizante 8-20-20 (NPK balanceado)**

El fertilizante 8-20-20 es una mezcla física de nutrientes esenciales para el desarrollo óptimo de los cultivos. Su fórmula balanceada mejora el crecimiento vegetativo, fortalece las plantas contra enfermedades y optimiza la producción agrícola. Este producto es ideal para banano, cultivos de costa y cultivos de sierra, asegurando una nutrición equilibrada desde la etapa de establecimiento hasta el desarrollo

vegetativo. Beneficios: Fertilizante multipropósito: Estimula el crecimiento y desarrollo de las plantas. Fortalece las plantas: Mejora la resistencia contra enfermedades. Incrementa los rendimientos: Optimiza la producción agrícola. Alta compatibilidad: Puede aplicarse manualmente o con maquinaria agrícola. Fácil absorción: Formulación granular que facilita la asimilación de nutrientes como se detalla en la tabla 7. (Fertiza S.A., 2024).

**Tabla 7.** Composición química del fertilizante 8-20-20

10-30-10	Composición garantizada (%)
Nitrógeno (N)	8%
Fósforo(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	20%
Potasio(K <sub>2</sub> O)	20%
Magnesio (MgO)	0,5%
Azufre (S)	2,0%

**Fuente:** (Fertiza S.A. 2024)

### **Fertilizante MIXPAC® PAPA SIEMBRA**

Es un fertilizante edáfico que se ajusta a las necesidades específicas del cultivo. Su aporte balanceado de nutrientes primarios y secundarios Nitrógeno, Fósforo, Potasio, Magnesio y Azufre, garantiza la homogeneidad y uniformidad en la aplicación. El nitrógeno (N), más que cualquier otro elemento, facilita el crecimiento rápido y el color verde oscuro. Las plantas necesitan una mayor cantidad de Nitrógeno, ya que este elemento se encuentra formando parte de muchos compuestos importantes, incluyendo la proteína y la clorofila. El fósforo (P) contribuye a acelerar la tuberización y también produce un desarrollo más temprano del cultivo (precocidad), igualmente, el fósforo es el principal encargado en el desarrollo del sistema radicular. El potasio (K) influye fundamentalmente en el contenido de materia seca, favorece el desarrollo radicular. El magnesio (Mg) es uno de los elementos constituyentes de la clorofila y además actúa como complemento de todas las enzimas. El azufre (S) es un constituyente de los siguientes aminoácidos: cisteína, cistina y metionina, como se detalla en la tabla 8. (Agripac S.A. 2024).

**Tabla 8.** Composición química del fertilizante papa siembra

10-30-10	Composición garantizada (%)
Nitrógeno (N)	12%
Fósforo(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	30%
Potasio(K <sub>2</sub> O)	10%
Magnesio (MgO)	2%
Azufre (S)	1%

**Fuente:** (Agripac S.A. 2024)

## Fertilizante MIXPAC® PAPA APORQUE

El fertilizante edáfico 16-0-25 está formulado para la fase de aporque en el cultivo de papa, asegurando una aplicación homogénea y equilibrada. El nitrógeno (N) estimula el desarrollo vegetal al intervenir en la síntesis de proteínas, enzimas y aminoácidos, favoreciendo la formación de hojas y tubérculos. El potasio (K) mejora la fotosíntesis y el metabolismo energético, fortaleciendo la resistencia a enfermedades. El magnesio (Mg), componente esencial de la clorofila, activa procesos enzimáticos que aportan energía. Por su parte, el azufre (S) participa en la síntesis de vitaminas y clorofila, impulsando el crecimiento saludable del cultivo, como se detalla en la tabla 9. (Agripac S.A., 2024).

**Tabla 9.** Composición química del fertilizante papa aporque

<b>10-30-10</b>	<b>Composición garantizada (%)</b>
Nitrógeno (N)	16%
Fósforo(P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0%
Potasio(K <sub>2</sub> O)	25%
Magnesio (MgO)	2%
Azufre (S)	4,90%

**Fuente:** (Agripac S.A. 2024)

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. ENFOQUE METODOLÓGICO

##### 3.1.1. Enfoque

Mediante un enfoque cuantitativo, se evaluaron diversas variables numéricas para determinar su impacto. Entre estas, se midieron parámetros morfológicos (altura de la planta, grosor y cantidad de tallos), la calidad del tubérculo semilla (según su categoría), el rendimiento productivo y la rentabilidad económica (relación costo-beneficio).

##### 3.1.2. Tipo de Investigación

La investigación fue de tipo experimental. Se empleó un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), con un arreglo factorial 3 x 2, totalizando 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno (n=24 unidades experimentales). El tamaño de la parcela neta fue de 12 plantas. Finalizado el experimento, los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis estadístico inferencial para verificar la hipótesis propuesta.

#### 3.2. HIPÓTESIS

##### Hipótesis Alternativa (Ha)

Las diferentes alternativas de fertilizantes comerciales tienen un efecto significativo en la productividad del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Super Chola en Guamá Bajo-Carchi- Ecuador.

##### Hipótesis Nula (H0)

Las diferentes alternativas de fertilizantes comerciales tienen un efecto significativo en la productividad del cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Super Chola en Guamá Bajo-Carchi- Ecuador.

### **3.3. DEFINICIÓN Y OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES**

#### **3.3.1. Definición de las variables**

**Variable independiente:**

- Fertilizantes comerciales: (10-30-10) y (8-20-20).
- Fertilizantes comerciales (12-30-10), (16-0-25)

**Variable dependiente:** Desarrollo fenológico del cultivo de papa, Rendimiento del cultivo y Análisis costo/beneficio

### 3.3.2. Operacionalización de las variables

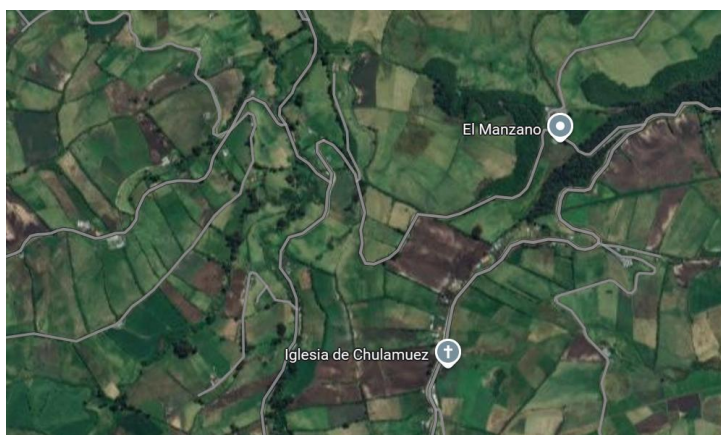
**Tabla 10.** Operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Técnicas	Instrumentos
<b>Independiente</b>	Fertilizantes comerciales	20 sacos (10-30-10) + 10 sacos (8-20-20) 20 sacos (12-30-10) + 10 sacos (16-0-25)	Aplicación edáfica a chorro continuo a un lado de la planta según el método de aplicación (1500 kg/ha - La mezcla de fertilizantes se aplica toda al momento de la siembra.	Balanza
	Método de aplicación fertilizantes	Todo en siembra Separado Mezclado	- Fertilizante de siembra en siembra; fertilizante de aporque en aporque. - De la mezcla el 50% del total en siembra, 50% en aporque (mezcla equilibrada)	Balanza
	Altura de planta	En cm a los 30, 45, 60, 75, 90 y 105 días después de la siembra.	Desde la base hasta el ápice del tallo principal	Flexómetro Libreta de campo
	Diámetro de tallo	En mm a los 30, 45, 60, 75, 90 y 105 días después de la siembra.	Medición en la parte basal del tallo.	Calibrador pie de rey Libreta de campo
	Número de tallos	Número a los 30, 45, 60, 75, 90 y 105 días después de la siembra.	Conteo manual de cada tallo en las plantas de la parcela neta	Libreta de campo
<b>Dependiente</b>	Número de tubérculos	Número al tiempo de cosecha	Conteo manual de tubérculos del total de plantas de la parcela neta	Libreta de campo
	Clasificación categorías	En g al tiempo de cosecha Primera: Más de 120 g Segunda de 80 g a 119 g Tercera de 50 g a 79 g Cuarta Menos de 50 g (Porrás y Herrera, 2015)	Se clasifico y pesó los tubérculos de todas las plantas de la parcela neta	Libreta de campo
	Rendimiento	En kg al tiempo de cosecha	Se pesó los tubérculos de todas las plantas de la unidad experimental	Balanza
	Costo Beneficio	En USD Después de la cosecha	Se realizó el análisis costo beneficio de cada tratamiento	Computadora

### 3.4. MÉTODOS UTILIZADOS

#### 3.4.1. Área de estudio

El estudio se desarrolló en el recinto Guama, perteneciente a la parroquia urbana de Tulcán, cantón Tulcán, provincia del Carchi, Ecuador. Geográficamente, se localiza en las coordenadas 0.766667 de latitud norte y -77.7667 de longitud oeste a una altura de 3.015 metros. La zona se caracteriza por presentar un clima templado frío, típico de la región andina norte del Ecuador. Si bien no se dispone de datos meteorológicos hiperlocales específicos para este recinto, las condiciones generales de la parroquia de Tulcán registran una temperatura media que oscila entre los 10 °C y 14 °C, y una precipitación anual que varía entre los 500 mm y 1000 mm. Los suelos de la región son predominantemente de origen volcánico, clasificados como andosoles, de textura franco-arenosa a franco-arcillosa, con alta porosidad y buena capacidad de retención de humedad, lo que los hace aptos para actividades agropecuarias. La topografía del sector es irregular, con presencia de colinas y pendientes moderadas, un paisaje representativo de la hoya de Tulcán, como se muestra en la figura 2. (MAGAP, 2015).



**Figura 2.** Ubicación del experimento  
**Fuente:** (MAGAP, 2015)

#### 3.4.2. Tratamientos del diseño experimental

La investigación contempló un total de 6 tratamientos, los cuales se describen detalladamente a continuación en la tabla 11.

**Tabla 11.** Tratamientos del experimento

Tratamientos	Factor 1	Factor 2
	Mezcla de fertilizantes kg / ha	Método de Aplicación
T1	1000 kg/ha (10-30-10) + 500 kg/ha (8-20-20)	Mezcla completa (1,500 kg/ha) aplicada al100% en siembra
T2	1000 kg/ha (10-30-10) + 500 kg/ha (8-20-20)	10-30-10 (1.000 kg/ha) en siembra; 8-20-20 (500 kg/ha) en aporque
T3	1000 kg/ha (10-30-10) + 500 kg/ha (8-20-20)	50% de la mezcla (750 kg/ha) en siembra;50% (750 kg/ha) en aporque
T4	1000 kg/ha: (12-30-10) + 500 kg/ha (16-0-25)	Mezcla completa (1,500 kg/ha) aplicada al100% en siembra
T5	1000 kg/ha (12-30-10) + 500 kg/ha (16-0-25)	(1.000 kg/ha) en siembra; (500 kg/ha) en aporque
T6	1000 kg/ha (12-30-10) + 500 kg/ha (16-0-25)	50% de la mezcla (750 kg/ha) en siembra;50% (750 kg/ha) en aporque

### 3.4.3. Características del diseño experimental

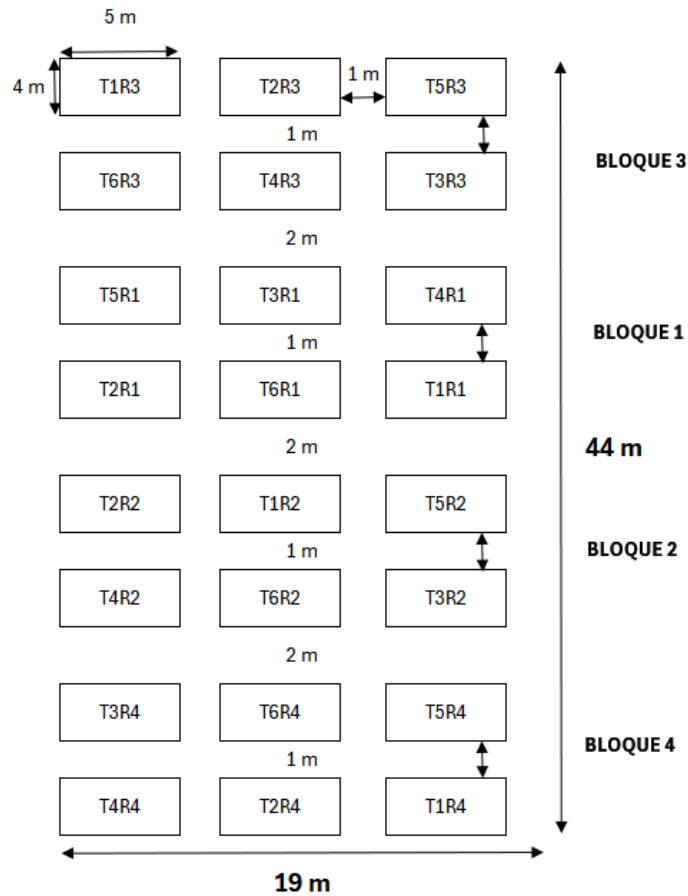
En la investigación se empleó un diseño de bloque completamente al azar con un arreglo factorial 3 x 2, con 6 tratamientos, 4 repeticiones con un total de 24 unidades experimentales, de las cuales se evaluó 12 plantas que corresponden a la parcela neta, cada unidad experimental midió 20 m<sup>2</sup>, como se muestra en la tabla 12.

**Tabla 12.** Características del experimento

DBCA con arreglo factorial 5x2	Dimensiones
Tratamientos	6
Repeticiones	4
Unidades experimentales	24
Área unidad experimental	20 m <sup>2</sup> (5 m * 4 m)
Área total del experimento	836 m <sup>2</sup>
Plantas por parcela neta	12
Plantas totales del experimento	960

### 3.4.4. Distribución y características del experimento

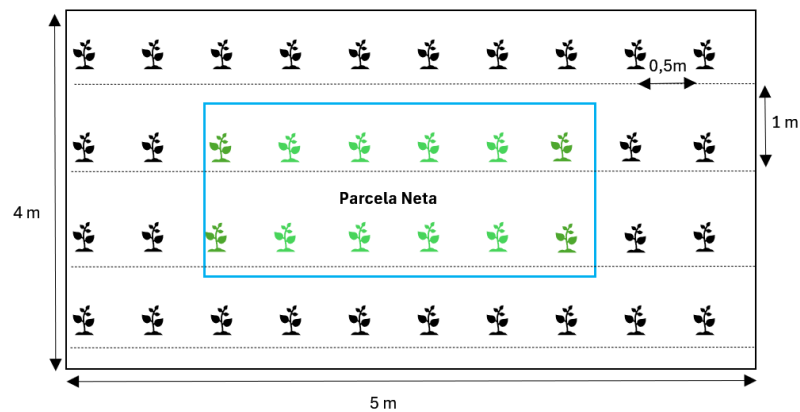
El diseño experimental empleado fue un bloque completamente al azar con un arreglo factorial de 3 x 2. El estudio se llevó a cabo en un área total de 836 m<sup>2</sup>, distribuidos en 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno, sumando 24 unidades experimentales. Cada parcela midió 5 x 4 metros (20 m<sup>2</sup>), con una separación de 1 metro entre unidades experimentales y 2 metros entre bloques, como se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Distribución del ensayo

### 3.4.5. Población y muestra de la investigación

El experimento se estructuró con un total de 24 unidades experimentales, distribuidas en 6 tratamientos con 4 repeticiones cada uno. La muestra estuvo conformada por la parcela neta, es decir, se seleccionaron 12 plantas ubicadas en el centro de cada unidad experimental para la evaluación de las variables de estudio, como se muestra en la figura 4.



**Figura 4.** Parcela neta

### 3.4.6. Procedimientos

#### 3.4.6.1 Preparación del terreno

El suelo fue acondicionado mediante labranza convencional con arado y rastra, con el objetivo de mullir la tierra y generar las condiciones óptimas para el desarrollo del cultivo.

#### 3.4.6.2. Trazado del experimento

El ensayo se estableció a campo abierto en un lote de 836 m<sup>2</sup>. Se implementó un diseño de bloques completos al azar con 6 tratamientos y 4 repeticiones, totalizando 24 unidades experimentales. Cada parcela midió 5 x 4 m (20 m<sup>2</sup>). La delimitación se realizó con estacas e hilo piola, estableciendo pasillos de 1 m entre parcelas y 2 m entre bloques.

#### 3.4.6.3. Siembra

Se realizó mediante siembra directa, depositando una semilla de 60-70 g por golpe. La densidad de siembra fue de 20 000 plantas/ha, con una distribución a 1 m entre surcos y 0,5 m entre plantas. Previamente a la siembra, las semillas fueron tratadas con una mezcla de Tiabendazol (fungicida) y Profenofos (insecticida). Finalmente, las semillas fueron cubiertas adecuadamente. La cantidad total de semilla utilizada para las 24 parcelas experimentales fue de 68 kg.

#### 3.4.6.4. Fertilización

La fertilización de base se aplicó de acuerdo con los tratamientos experimentales detallados en la Tabla 8. Cada tratamiento combinó un tipo de fertilizante (Factor 1) con una estrategia de aplicación (Factor 2). Los fertilizantes utilizados fueron fórmulas comerciales granulares (10-30-10, 8-20-20) y mezclas especializadas (12-30-10 y 16-0-25). Las dosis se expresan en número de sacos por tratamiento para el área total del experimento. La aplicación se realizó en dos momentos fenológicos del cultivo: siembra y aporque.

### 3.4.7. Variables evaluadas

Para la recolección de datos morfofisiológicos en la fase de campo, se seleccionaron

#### 3.4.7.1. Altura de planta (cm)

Se midió desde la base del tallo hasta su ápice, utilizando un flexómetro. El registro se realizó cada 15 días, desde los 30 hasta los 105 días después de la siembra (DDS).

#### 3.4.7.2. Diámetro del tallo (mm)

Se cuantificó en la base del tallo principal con un calibrador pie de rey. Las mediciones se efectuaron con la misma periodicidad y periodo que la altura de la planta (cada 15 días, de 30 a 105 DDS).

#### 3.4.7.3. Número de tallos por planta

Se determinó mediante conteo manual de todos los tallos por planta. Esta evaluación se repitió cada 15 días, desde los 30 hasta los 105 DDS.

#### 3.4.7.4. Número de tubérculos por planta

Al momento de la cosecha, se contabilizaron manualmente todos los tubérculos cosechados dentro de la parcela neta.

#### 3.4.7.5. Clasificación por categorías

Los tubérculos de la parcela neta se clasificaron manualmente según su peso individual en las categorías establecidas por Porras y Herrera (2015):

- Categoría 1: > 120 g
- Categoría 2: 80 – 120 g
- Categoría 3: 50 – 80 g
- Categoría 4: < 50 g

Posteriormente, se pesó la masa total (g) de los tubérculos pertenecientes a cada categoría.

#### 3.4.7.6. Peso parcela neta (kg)

Se registró el peso total en kilogramos de todos los tubérculos cosechados en la parcela neta, utilizando una balanza el día de la cosecha.

#### 3.4.7.7. Rendimiento (kg/ha)

Se determinó pesando la masa total en kilogramos de todos los tubérculos cosechados en cada unidad experimental (parcela completa) el día de la cosecha y se proyectaron a valores de rendimiento por hectárea.

#### 3.4.7.8. Análisis costo - beneficio

Al finalizar el ciclo del cultivo, se realizó un análisis económico de rentabilidad para cada tratamiento. El análisis, expresado en dólares estadounidenses (USD), consistió

en contrastar los ingresos brutos generados por la venta de la producción, calculados a partir del rendimiento por hectárea y el precio de mercado del producto, con los costos totales de producción inherentes a cada tratamiento. El resultado permitió determinar la rentabilidad financiera de cada alternativa evaluada.

### **3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO**

El análisis estadístico se realizó mediante un Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial 3x2 (6 tratamientos y 4 repeticiones), empleando el software R Studio para verificar los supuestos de normalidad (Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (Bartlett), se aplicó un ANOVA para evaluar efectos significativos de bloques, factores e interacciones, y ejecutar pruebas de comparación de medias de Tukey ( $\alpha = 0.05$ ).

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. RESULTADOS

#### 4.1.1. Altura de planta

El análisis de varianza para la altura de planta de papa Superchola (30–105) días después de la siembra; la tabla 13 mostró diferencias significativas entre bloques en todas las fechas ( $p < 0.05$ ), lo que refleja variabilidad del ambiente experimental. Tanto el tipo de fertilización (convencional vs. MixPac) como el método de aplicación (total en siembra, fraccionado por formulación o al 50 %) tuvieron efectos significativos en todas las fechas ( $p < 0.05$ ), indicando que la composición del fertilizante y su distribución en el tiempo influyeron en el crecimiento vegetativo. No se detectó interacción significativa entre ambos factores ( $p > 0.05$ ). Los coeficientes de variación (14.50–19.26 %) son aceptables para ensayos de campo, y la altura promedio aumentó progresivamente hasta alcanzar 83.85 cm a los 105 días, evidenciando un desarrollo normal bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 13.** Análisis de varianza para la altura de planta (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)

F.v	GL	Altura 1 (30 dds)	Altura 2 (45 dds)	Altura 3 (60 dds)	Altura 4 (75 dds)	Altura 5 (90 dds)	Altura 6 (105 dds)
<b>p valor</b>							
Bloque	3	0.000416 ***	0.000433 ***	0.000642 ***	0.000935 ***	0.000622 ***	0.000927 ***
Fertilización	1	1.79e-07 ***	2.12e-06 ***	8.56e-07 ***	3.54e-07 ***	3.74e-07 ***	1.54e-05 ***
Método aplicación	2	0.006436 **	0.001126 **	0.002028 **	0.000553 ***	0.000192 ***	0.002559 **
Fertilización * Método aplicación	2	0.950094	0.855799	0.906562	0.927920	0.868063	0.860855
Error	15						
Total	23						
Media(cm)		17.94	32.09	42.82	52.18	61.46	83.85
CV (%)		14.50	16.80	16.86	18.21	18.08	19.26

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de Tukey al 5 % para la altura de planta la tabla 14 reveló diferencias significativas entre los niveles de los factores evaluados en todas las fechas de medición (30 a 105 días después de la siembra). En cuanto al tipo de fertilización, el nivel con la mezcla [(12-30-10) + (16-0-25)] produjo plantas significativamente más

altas que el tratamiento convencional [(10-30-10) + (8-20-20)] en todas las fechas. A los 105 días, la altura promedio fue de 85,90 cm con MixPac frente a 81,78 cm con el fertilizante convencional. Respecto al método de aplicación, el nivel “Siembra-Aporque” (aplicación diferenciada según formulación) generó las plantas más altas en todas las fechas y se diferencia significativamente del método “100 % en siembra” que obtuvo los valores más bajos. El método “50 % en siembra – 50 % en aporque” mostró un comportamiento intermedio: no difirió significativamente del mejor tratamiento en la mayoría de las fechas (compartió el grupo “a” o “ab”), pero sí superó consistentemente al método de aplicación total en siembra.

Estos resultados indicaron que tanto la formulación del fertilizante como su distribución en el tiempo influyeron en el crecimiento en altura, siendo más favorable el uso de la mezcla MixPac aplicada de forma diferenciada (según su formulación) o fraccionada al 50 %, en comparación con la aplicación total del fertilizante en el momento de la siembra.

**Tabla 14.** Prueba de Tukey al 5% para la altura de planta

FACTOR	Altura 1 (30 dds)		Altura 2 (45 dds)		Altura 3 (60 dds)		Altura 4 (75 dds)		Altura 5 (90 dds)		Altura 6 (105 dds)	
	Media (cm)	Gru pos	Media (cm)	Gru pos	Media (cm)	Gru pos	Media (cm)	Gru pos	Media (cm)	Gru pos	Media (cm)	Gru pos
Fertilización												
(12-30-10) + (16-0-25)	18.44	a	32.96	A	44.12	a	53.85	a	63.49	a	85.90	a
(10-30-10) + (8-20-20)	17.44	b	31.20	B	41.51	b	50.51	b	59.43	b	81.78	b
Método de aplicación												
Siembra - Aporque	18.20	a	32.77	A	43.72	a	53.31	a	63.02	a	85.56	a
50% Siembra - 50% Aporque	17.93	ab	32.07	ab	42.76	ab	52.32	a	61.61	a	83.86	ab
100% en siembra	17.68	b	31.41	B	41.97	b	50.91	b	59.75	b	82.11	b

#### 4.1.2. Diámetro de tallo

El análisis de varianza para el diámetro de tallo de papa Súperchola (30–105 días después de la siembra); la tabla 15 mostró diferencias significativas entre bloques en todas las fechas evaluadas ( $p < 0.05$ ). El tipo de fertilización (convencional vs. MixPac) tuvo un efecto significativo en todas las fechas ( $p < 0.05$ ), lo que indicó que la formulación del fertilizante influyó consistentemente en el engrosamiento del tallo.

Asimismo, el método de aplicación (total en siembra, fraccionado por formulación o al 50 % en siembra y aporque) también resultó significativo en todas las mediciones ( $p < 0.05$ ), evidenciando que la distribución temporal del fertilizante afectó el

desarrollo del diámetro del tallo. No se detectó interacción significativa entre tipo de fertilización y método de aplicación en ninguna fecha ( $p > 0.05$ ). Los coeficientes de variación oscilaron entre 12.83 % y 20.27 %, valores aceptables para ensayos de campo. Además, el diámetro promedio del tallo aumentó progresivamente a lo largo del ciclo, alcanzando un máximo de 10.94 mm a los 105 días después de la siembra, lo que reflejó un desarrollo estructural adecuado bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 15.** Análisis de varianza para el diámetro de tallo (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)

F.v	GL	Diámetro 1	Diámetro 2	Diámetro 3	Diámetro 4	Diámetro 5	Diámetro 6
		(30 dds)	(45 dds)	(60 dds)	(75 dds)	(90 dds)	(105 dds)
		<b>p valor</b>					
Bloque	3					0.000778	
Fertilización	1	4.37e-06 ***	4.37e-06 ***	6.98e-06 ***	0.000551 ***	***	0.00302 **
Método aplicación Fertilización *	2	9.12e-08 ***	1.09e-08 ***	4.59e-09 ***	5.94e-07 ***	2.51e-07 ***	6.99e-05 ***
Método aplicación	2	0.0014 **	0.000211 ***	2.02e-05 ***	0.002063 **	0.000625 ***	0.00446 **
Error	15	0.8433	0.606418	0.768	0.367661	0.396443	0.70976
Total	23						
Media(mm)		7.09	7.65	7.95	8.42	8.89	10.94
CV (%)		13.87	12.83	13.10	20.27	19.76	12.88

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de Tukey al 5 % para el diámetro de tallo la tabla 16 mostró diferencias significativas entre los niveles de ambos factores en todas las fechas de evaluación (30 a 105 días después de la siembra). En cuanto al tipo de fertilización, el nivel con la mezcla [(12-30-10) + (16-0-25)] generó tallos significativamente más gruesos que el fertilizante convencional [(10-30-10) + (8-20-20)]. A los 105 días, el diámetro promedio fue de 11,29 mm con MixPac frente a 10,59 mm con el fertilizante convencional.

Respecto al método de aplicación, el nivel "Siembra-Aporque" (aplicación diferenciada según formulación) produjo los mayores diámetros en todas las fechas y se diferenció significativamente del método "100 % en siembra", que obtuvo los valores más bajos. El método "50 % en siembra – 50 % en aporque" mostró un desempeño intermedio: en las primeras fechas (30 y 105 días) no difirió significativamente del mejor tratamiento (compartió el grupo "a" o "ab"), pero a partir de los 60 días presentó diferencias respecto a "Siembra-Aporque", aunque siguió superando al método de aplicación total en siembra en la mayoría de los casos. Estos resultados indicaron que tanto la formulación del fertilizante como su estrategia de aplicación influyeron en el engrosamiento del tallo, siendo más favorable el uso de la mezcla MixPac aplicada de forma diferenciada según su

formulación, lo que contribuyó a un mejor desarrollo estructural del cultivo bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 16.** Prueba de Tukey al 5% para diámetro de tallo

FACTOR	Diámetro 1 (30 dds)		Diámetro 2 (45 dds)		Diámetro 3 (60 dds)		Diámetro 4 (75 dds)		Diámetro 5 (90 dds)		Diámetro 6 (105 dds)	
	Media (mm)	Gru pos	Media (mm)	Gru pos	Media (mm)	Gru pos	Media (mm)	Gru pos	Media (mm)	Gru pos	Media (mm)	Gru pos
(12-30-10) + (16-0-25)	7.28	a	7.88	a	8.20	a	8.71	a	9.20	a	11.29	a
(10-30-10) + (8- 20-20)	6.90	b	7.43	b	7.70	b	8.14	b	8.57	b	10.59	b
<b>Método de aplicación</b>												
Siembra - Aporque	7.20	a	7.80	a	8.13	a	8.63	a	9.13	a	11.27	a
50% Siembra - 50% Aporque	7.10	ab	7.65	b	7.95	b	8.37	b	8.82	b	10.90	ab
100% en siembra	6.97	b	7.52	b	7.77	c	8.27	b	8.71	b	10.65	b

#### 4.1.3. Número de tallos

El análisis de varianza para el número de tallos de papa *Superchola* (30–105 días después de la siembra); la tabla 17 mostró diferencias significativas entre bloques en todas las fechas evaluadas ( $p < 0.05$ ). El tipo de fertilización (convencional vs. MixPac) tuvo un efecto significativo en todas las mediciones ( $p < 0.05$ ), lo que indicó que la formulación del fertilizante influyó de manera consistente en la formación de tallos. Por su parte, el método de aplicación resultó significativo a partir de los 45 días después de la siembra ( $p < 0.05$  en las fechas 45, 60, 75, 90 y 105 días), aunque no tuvo efecto significativo en la primera evaluación (30 días;  $p = 0.162$ ). Esto sugiere que la distribución temporal del fertilizante afectó la brotación y ramificación del cultivo en etapas intermedias y tardías del ciclo. No se detectó interacción significativa entre tipo de fertilización y método de aplicación en ninguna fecha ( $p > 0.05$ ).

Los coeficientes de variación disminuyeron progresivamente desde 11.73 % hasta 5.11 %, lo que evidencia una alta precisión experimental en las mediciones finales. Además, el número promedio de tallos aumentó de forma continua a lo largo del ciclo, alcanzando un máximo de 8.75 tallos por planta a los 105 días después de la siembra, lo que reflejó un desarrollo vegetativo vigoroso bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 17.** Análisis de varianza para el número de tallos (30, 45, 60, 75, 90 y 105 días)

F.v	GL	# tallos 1	# tallos 2	# tallos 3	# tallos 4	# tallos 5	# tallos 6
		(30 dds)	(45 dds)	(60 dds)	(75 dds)	(90 dds)	(105 dds)
		p valor					
Bloque	3	0.0134 *	0.00481 **	0.00270 **	0.00756 **	0.00818 **	0.00756 **
Fertilización	1	3.94e-06 ***	3.53e-07 ***	4.6e-08 ***	6.19e-07 ***	6.4e-06 ***	6.19e-07 ***
Método aplicación	2	0.1622	0.00639 **	0.00199 **	0.01504 *	0.00120 **	0.01504 *
Fertilización *	2	0.7494	0.75348	0.41339	0.54864	0.83822	0.54864
Error	15						
Total	23						
Media (#)		3.20	3.91	5.66	6.75	8.16	8.75
CV (%)		11.73	9.70	6.44	6.62	5.91	5.11

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de Tukey al 5 % para el número de tallos la tabla 18 reveló diferencias significativas entre los niveles de ambos factores a partir de los 45 días después de la siembra. En cuanto al tipo de fertilización, el nivel con la mezcla [(12-30-10) + (16-0-25)] produjo un número significativamente mayor de tallos que el fertilizante convencional [(10-30-10) + (8-20-20)] en todas las fechas evaluadas. A los 105 días, las plantas fertilizadas con MixPac presentaron un promedio de 9.5 tallos por planta, frente a 8.0 tallos con el fertilizante convencional. Respecto al método de aplicación, el nivel "Siembra-Aporque" (aplicación diferenciada según formulación) generó el mayor número de tallos a partir de los 60 días y se diferencia significativamente del método "100 % en siembra", que obtuvo los valores más bajos en todas las fechas.

El método "50 % en siembra – 50 % en aporque" mostró un comportamiento intermedio: no difirió significativamente del mejor tratamiento en las últimas fechas (compartió el grupo "a" o "ab"), pero sí superó consistentemente al método de aplicación total en siembra. Estos resultados indicaron que tanto la formulación del fertilizante como la estrategia de aplicación influyeron en la ramificación del cultivo, siendo más favorable el uso de la mezcla MixPac aplicada de forma diferenciada según su formulación, lo que promovió un mayor número de tallos y, potencialmente, una mayor capacidad productiva bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 18.** Prueba de Tukey al 5% para el número de tallos

FACTOR	# tallos 1 (30 dds)		# tallos 2 (45 dds)		# tallos 3 (60 dds)		# tallos 4 (75 dds)		# tallos 5 (90 dds)		# tallos 6 (105 dds)	
	Medi a (#)	Gru pos	Medi a (#)	Gru pos	Medi a (#)	Gru pos	Medi a (#)	Gru pos	Medi a (#)	Gru pos	Medi a (#)	Gru pos
(12-30-10) + (16-0-25)	3.75	a	4.58	a	6.41	a	7.5	a	8.83	a	9.5	A
(10-30-10) + (8-20-20)	2.66	b	3.25	b	4.91	b	6.0	b	7.50	b	8.0	B
<b>Método de aplicación</b>												
Siembra - Aporque			4.12	a	6.12	a	7.12	a	8.75	a	9.12	A
50% Siembra - 50% Aporque			4.12	a	5.50	b	6.75	ab	8.12	ab	8.75	Ab
100% en siembra			3.50	b	5.37	b	6.37	b	7.62	b	8.37	B

#### 4.1.4. Número de tubérculos

El análisis de varianza para el número de tubérculos por categoría la tabla 19 mostró diferencias significativas entre bloques en las categorías 1, 2 y en el total de tubérculos ( $p < 0.05$ ), lo que reflejo variabilidad del ambiente experimental. El tipo de fertilización (convencional vs. MixPac) tuvo un efecto significativo en las categorías 1, 2 y 3, así como en el número total de tubérculos ( $p < 0.05$ ), pero no en la categoría 4 ( $p = 0.104$ ), lo que indicó que la formulación del fertilizante influyó principalmente en la producción de tubérculos de menor y mediano tamaño. Por su parte, el método de aplicación resultó significativo en todas las categorías ( $p < 0.05$ ), incluida la categoría 4 ( $p = 0.042$ ), lo que evidenció que la forma de distribuir el fertilizante afectó la formación de tubérculos en todos los rangos evaluados. No se detectó interacción significativa entre tipo de fertilización y método de aplicación en ninguna categoría ( $p > 0.05$ ).

Los coeficientes de variación oscilaron entre 5.89 % y 13.08 %, valores aceptables que reflejaron una buena precisión experimental. El número promedio total de tubérculos por planta fue de 23.17, con predominio de la categoría 1 (10.17 tubérculos), seguida de la categoría 4 (5.25), lo que sugiere una respuesta favorable del cultivo a las alternativas de fertilización evaluadas bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 19.** Análisis de varianza para el número de tubérculos por categorías

F.v	GL	Categoría				Total, Categorías
		1	2	3	4	
		<b>p valor</b>				
Bloque	3	0.002340 **	0.018594 *	0.09908	0.0516	0.001994 **
Fertilización	1	0.007910 **	0.000301 ***	0.00236 **	0.1038	0.000439 ***
Método aplicación Fertilización *	2	0.000241 ***	0.000612 ***	0.01336 *	0.0422 *	0.000435 ***
Método aplicación	2	0.533065	0.716492	0.45375	0.2983	0.560073
Error	15					
Total	23					
Media (#)		10.17	4.33	3.41	5.25	23.17
CV (%)		6.55	8.06	13.08	8.97	5.89

**nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*' 0.001 '\*\*' 0.01 '\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de Tukey al 5 % evidenció diferencias significativas en el número de tubérculos según el tipo de fertilización y el método de aplicación. La mezcla [(12-30-10) + (16-0-25)] generó un mayor número de tubérculos en las categorías 1, 2, 3 y en el total, alcanzando un promedio de 24.41 tubérculos por planta, frente a 21.91 obtenidos con la fertilización convencional [(10-30-10) + (8-20-20)]. En cuanto al método de aplicación, la estrategia "Siembra-Aporque", que aplica formulaciones diferenciadas en cada etapa, produjo los valores más altos en la mayoría de las categorías y se distinguió significativamente del método "100 % en siembra", que presentó los resultados más bajos. El esquema "50 % en siembra – 50 % en aporque" obtuvo resultados intermedios, similares estadísticamente al mejor tratamiento, aunque superiores al de aplicación total en siembra. En la categoría 4 no se observaron diferencias significativas entre métodos, aunque el tratamiento fraccionado mostró una leve ventaja numérica. En conjunto, estos resultados indicaron que tanto la formulación del fertilizante como la estrategia de aplicación influyeron en la formación de tubérculos, siendo más favorable el uso de la mezcla MixPac aplicada de forma diferenciada (según su formulación), lo que favoreció una mayor producción total de tubérculos bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 20.** Prueba de Tukey al 5% para el número de tubérculos

FACTOR	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Total, Categorías	
	Media (#)	Grupos	Media (#)	Grupos	Media (#)	Grupos	Media (#)	Grupos	Media (#)	Grupos
Fertilización										
(12-30-10) + (16-0-25)	10.58	A	4.66	a	3.75	a			24.41	a
(10-30-10) + (8-20-20)	9.75	B	4.00	b	3.08	b			21.91	b
Método de aplicación										
Siembra - Aporque	10.87	A	4.75	a	3.75	a	5.00	b	24.37	a
50% Siembra - 50% Aporque	10.50	A	4.37	a	3.50	ab	5.62	a	24.00	a
100% en siembra	9.12	B	3.87	b	3.00	b	5.12	ab	21.12	b

#### 4.1.5. Peso de tubérculo por categoría

El análisis de varianza para el peso de tubérculo por categoría la tabla 21 no mostró diferencias significativas entre bloques en ninguna de las categorías ( $p > 0.05$ ). El tipo de fertilización (convencional vs. MixPac) tuvo un efecto significativo únicamente en la categoría 1 ( $p < 0.05$ ), que corresponde a los tubérculos de mayor tamaño, pero no influyó en las categorías 2, 3 ni 4 ( $p > 0.05$ ). Por su parte, el método de aplicación no resultó significativo en ninguna categoría ( $p > 0.05$ ). Asimismo, no se detectó interacción significativa entre tipo de fertilización y método de aplicación en ninguna de las categorías ( $p > 0.05$ ). Los coeficientes de variación fueron bajos (4,78 % a 10,70 %), lo que reflejó una alta precisión experimental. El peso promedio por tubérculo fue mayor en la categoría 1 (246.2 g) y disminuyó progresivamente en las categorías siguientes, lo que sugiere que las alternativas de fertilización evaluadas tuvieron un impacto limitado al peso individual de los tubérculos, restringido principalmente a los de mayor calibre, bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 21.** Análisis de varianza el peso de tubérculo por categoría

F.v	GL	Categoría 1	Categoría 2	Categoría 3	Categoría 4
		p valor			
Bloque	3	0.0745	0.721	0.468	0.3334
Fertilización	1	0.0285 *	0.422	0.145	0.1319
Método aplicación	2	0.0838	0.178	0.222	0.0816
Fertilización * Método aplicación	2	0.3320	0.954	0.555	0.0729
Error	15				
Total	23				
Media(g)		246.2	107.8	55.79	28.75
CV(%)		4.78	6.88	10.70	7.12

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de Tukey al 5 % para el peso promedio de tubérculos en la categoría 1 la tabla 22 reveló una diferencia significativa entre los tipos de fertilización evaluados. El nivel con el fertilizante convencional [(10-30-10) + (8-20-20)] produjo tubérculos

significativamente más pesados (252.08 g) que la mezcla MixPac [(12-30-10) + (16-0-25)] (240.41 g). Este resultado indicó que, aunque la mezcla MixPac favoreció un mayor número de tubérculos en categorías anteriores, el fertilizante convencional contribuyó a un mayor peso individual en los tubérculos de mayor calibre (categoría 1), lo que sugiere un efecto diferencial de las formulaciones sobre la partición de fotoasimilados hacia el tamaño versus la cantidad de tubérculos, bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 22.** Prueba de Tukey al 5% para el peso de tubérculo por categoría

FACTOR	Categoría 1		
	Fertilización	Media (g)	Grupos
(12-30-10) + (16-0-25)		240.41	b
(10-30-10) + (8-20-20)		252.08	a

#### 4.1.6. Rendimiento

El análisis de varianza para el rendimiento de papa Superchola por categoría la tabla 23 mostró diferencias significativas entre bloques en todas las categorías y en el rendimiento total ( $p < 0.05$ ). El tipo de fertilización (convencional vs. MixPac) tuvo un efecto significativo en todas las categorías y en el rendimiento total ( $p < 0.05$ ), indicando que la formulación del fertilizante influyó consistentemente en la productividad del cultivo. Asimismo, el método de aplicación resultó significativo en las categorías 1, 2 y 3, así como en el rendimiento total ( $p < 0.05$ ), aunque no tuvo efecto significativo en la categoría 4 ( $p = 0.060$ ). Esto sugiere que la forma de distribuir el fertilizante afectó principalmente la producción de tubérculos de mayor y mediano calibre. No se detectó interacción significativa entre tipo de fertilización y método de aplicación en ninguna categoría ni en el rendimiento total ( $p > 0.05$ ). Los coeficientes de variación fueron muy bajos (3,32 % a 6,77 %), lo que evidenció una alta precisión experimental. El rendimiento promedio total fue de 46 030 kg/ha, con predominio de la categoría 1 (34 819 kg/ha), lo que refleja una respuesta favorable del cultivo a las alternativas de fertilización evaluadas bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 23.** Análisis de varianza para el rendimiento

F.v	GL	Categoría				Total, Categorías
		1	2	3	4	
Bloque	3	0.000492 ***	0.000147 ***	0.018052 *	0.000557 ***	0.000293 ***
Fertilización	1	0.009237 **	1.18e-06 ***	0.000162 ***	0.000171 ***	0.000519 ***
Metodo aplicación Fertilización *	2	1.99e-06 ***	2.09e-05 ***	0.001700 **	0.060410	6.79e-06 ***
Metodo aplicación	2	0.392460	0.378251	0.289690	0.934044	0.404494
Error	15					
Total	23					
Media(kg/ha)		34819.00	6492.00	2619.00	2099.00	46030.00
CV(%)		3.32	4.12	6.77	5.52	3.45

**Nota.** Significado de los códigos: 0 '\*\*\*\*' 0.001 '\*\*\*' 0.01 '\*\*' 0.05 '.' 0.1 ' ' 1.

La prueba de Tukey al 5 % para el rendimiento la tabla 24 mostró diferencias significativas entre los niveles de ambos factores en todas las categorías evaluadas, incluido el rendimiento total. En cuanto al tipo de fertilización, el nivel con la mezcla MixPac [(12-30-10) + (16-0-25)] generó rendimientos significativamente superiores en todas las categorías y en el total (47 460 kg/ha) en comparación con el fertilizante convencional [(10-30-10) + (8-20-20)] (44 600 kg/ha). Esta diferencia fue más marcada en las categorías 1 y 2, que corresponden a los tubérculos de mayor calibre. Respecto al método de aplicación, el nivel "Siembra-Aporque" (aplicación diferenciada según formulación) obtuvo el mayor rendimiento en todas las categorías y en el total (48 755 kg/ha), superando significativamente a los otros dos métodos. El método "50 % en siembra – 50 % en aporque" tomó una posición intermedia, con rendimiento total de 46 585 kg/ha, y se diferenciaba tanto del mejor como del peor tratamiento. Por su parte, el método "100 % en siembra" presentó los rendimientos más bajos en todas las categorías y en el total (42 750 kg/ha), lo que evidenció una menor eficiencia cuando todo el fertilizante se aplicó al momento de la siembra. En conjunto, estos resultados indican que la combinación de la mezcla MixPac con el método de aplicación "Siembra-Aporque" fue la estrategia más eficaz para maximizar el rendimiento de papa variedad *Superchola*, destacando especialmente en la producción de tubérculos de calidad comercial, bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

**Tabla 24.** Prueba de Tukey al 5% para el rendimiento

FACTOR	Categoría 1		Categoría 2		Categoría 3		Categoría 4		Total, Categorías	
	Media (kg/ha)	Grupos	Media (kg/ha)	Grupos	Media (kg/ha)	Grupos	Media (kg/ha)	Grupos	Media (kg/ha)	Grupos
(12-30-10) + (16-0-25)	35525.00	A	6918.33	a	2800.00	a	2216.66	a	47460.00	a
(10-30-10) + (8-20-20)	34113.33	B	6066.66	b	2438.33	b	1982.00	b	44600.33	b
<b>Método de aplicación</b>										
Siembra - Aporque	37012.5	A	6947.5	a	2782.5	a			48755.00	A
50% Siembra - 50% Aporque	35262.5	B	6510.0	b	2677.5	a			46585.00	B
100% en siembra	32182.5	C	6020.0	c	2397.5	b			42750.50	C

#### 4.1.7. Análisis costo - beneficio

El análisis de rentabilidad la tabla 25 mostró que todos los tratamientos evaluados generan beneficios económicos positivos, con relaciones beneficio/costo (B/C) superiores a 2.0, lo que indica viabilidad económica bajo las condiciones del ensayo en Guamá Bajo, Carchi, Ecuador.

El tratamiento "Siembra-Aporque" con fertilizante convencional [(10-30-10) + (8-20-20)] registró la mayor relación beneficio/costo (2.49) y el beneficio directo más alto (USD 1.49 por cada USD invertido), seguido muy de cerca por el mismo método de aplicación con la mezcla MixPac [(12-30-10) + (16-0-25)] (B/C = 2.47). Aunque este último generó un ingreso total ligeramente superior (USD 15 604,40 vs. USD 15 208,32), su costo por hectárea fue mayor (USD 6 325,88 vs. USD 6 103,01), lo que redujo ligeramente su rentabilidad relativa.

En contraste, los tratamientos con aplicación total del fertilizante en siembra presentaron las relaciones B/C más bajas, siendo el más bajo el del fertilizante convencional (2.15). Esto reflejó una menor eficiencia económica asociada a esta estrategia de manejo, a pesar de sus costos ligeramente menores.

En general, los resultados indicaron que el método de aplicación "Siembra-Aporque" especialmente con el fertilizante convencional fue la alternativa más rentable, mientras que la mezcla MixPac destacó por generar mayores ingresos totales, aunque con una ligera reducción en la rentabilidad relativa debido a su mayor costo. Estos hallazgos sugieren que, desde una perspectiva económica, la elección óptima dependerá del objetivo del productor: maximizar ingresos (MixPac + Siembra-Aporque) o maximizar la eficiencia de la inversión (fertilizante convencional + Siembra-Aporque).

**Tabla 25.** Análisis costo/beneficio por ha para el cultivo de papa Superchola

Tratamientos	Cat1 Rendimie nto Sacos/Ha	Cat2 Rendi mient o Sacos/ Ha	Cat3 Rendi mient o Sacos/ Ha	Cat4 Rendi mient o Sacos/ Ha	Cat 1 Valor de produ cción USD/s aco	Cat 2 Valor de produ cción USD/s aco	Cat 3 Valor de producció n USD/saco	Cat 4 Valor de producció n USD/saco	Cat 1 Ingr eso Ven ta	Cat 2 Ingr eso Ven ta	Cat 3 Ingr eso Ve nta	Cat 4 Ingr eso Ve nta	Ingres o Vent a total	Costo por tratami ento Ha	Cost o Ben efici o	Ben efici o Dire cto
<b>T5</b> Siembra - Aporque:(12-30-10) + (16-0-25)	745,50	145,60	58,80	42,70	18	12	6	2	1341 9,00	174 7,20	352 ,80	85, 40	15604 ,40	6325,88	2,47	1,47
<b>T2</b> Siembra - Aporque:(10-30-10) + (8-20-20)	735,00	132,30	52,52	37,80	18	12	6	2	1323 0,00	158 7,60	315 ,12	75, 60	15208 ,32	6103,01	2,49	1,49
<b>T6</b> 50% Siembra - 50% Aporque:(12-30-10) + (16-0-25)	721,00	138,60	56,00	44,80	18	12	6	2	1297 8,00	166 3,20	336 ,00	89, 60	15066 ,80	6369,87	2,37	1,37
<b>T3</b> 50% Siembra - 50% Aporque:(10-30-10) + (8-20-20)	689,50	121,80	51,10	40,60	18	12	6	2	1241 1,00	146 1,60	306 ,60	81, 20	14260 ,40	6117,67	2,33	1,33
<b>T4</b> 100% en siembra:(12-30-10) + (16-0-25)	665,00	130,90	53,20	45,50	18	12	6	2	1197 0,00	157 0,80	319 ,20	91, 00	13951 ,00	6223,24	2,24	1,24
<b>T1</b> 100% en siembra:(10-30-10) + (8-20-20)	622,30	109,90	42,70	40,52	18	12	6	2	1120 1,40	131 8,80	256 ,20	81, 04	12857 ,44	5971,04	2,15	1,15

## 4.2. DISCUSIÓN

En primer lugar, los resultados obtenidos en el presente estudio evidenciaron que tanto la formulación del fertilizante como el método de aplicación influyeron significativamente en el crecimiento y productividad del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola. Este hallazgo coincide con lo reportado por Arroyo Terán (2015), quien determinó que los macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son los elementos más determinantes para el desarrollo vegetativo y el rendimiento del cultivo, y que su manejo balanceado permite una expresión fisiológica óptima. En el presente experimento, la combinación (12-30-10) + (16-0-25) aplicada de manera diferenciada en siembra y aporque favoreció la altura de planta, el diámetro de tallo y el número de tallos, lo cual confirma que la distribución temporal de nutrientes es un factor clave en la eficiencia de absorción y el crecimiento estructural del cultivo.

En relación con el crecimiento vegetativo, la superioridad de los tratamientos basados en MixPac puede atribuirse a la presencia equilibrada de macronutrientes primarios y secundarios, especialmente al contenido de magnesio (Mg) y azufre (S), elementos vinculados con la síntesis de clorofila y el metabolismo proteico (Marschner, 2012). Este resultado concuerda con los estudios de Bravo Cofre (2015), quien evidenció que el manejo localizado de nutrientes por sitio específico incrementa la eficiencia de uso de fertilizantes y reduce las pérdidas por lixiviación, generando plantas más vigorosas y homogéneas. Así, el crecimiento observado en las parcelas tratadas con MixPac refleja un manejo nutricional más eficiente respecto a los fertilizantes convencionales (10-30-10 y 8-20-20).

En cuanto a las variables morfológicas —altura, diámetro de tallo y número de tallos—, se observó una respuesta progresiva durante todo el ciclo fenológico, alcanzando valores máximos a los 105 días después de la siembra. Este comportamiento fisiológico se asocia con una adecuada disponibilidad de fósforo en las etapas iniciales y de potasio en la tuberización, lo cual ha sido documentado por Chamorro (2022), quien señaló que las curvas de absorción de nutrientes en papa presentan picos específicos de demanda según la fase fenológica, y que una fertilización sincronizada con esos momentos críticos mejora significativamente el rendimiento y la calidad de los tubérculos.

Por otra parte, el número y peso de tubérculos por categoría fueron influenciados de forma significativa por los tratamientos que aplicaron fertilización fraccionada. El tratamiento T5 (12-30-10) + (16-0-25) obtuvo el rendimiento más alto y la mayor proporción de tubérculos de primera categoría. Este resultado guarda relación con lo planteado por Valenzuela Coba (2023), quien al evaluar fuentes de calcio en la variedad Superchola demostró que la nutrición equilibrada favorece la translocación de fotoasimilados hacia los órganos de reserva, mejorando tanto el calibre como el peso unitario de los tubérculos. En este contexto, el aporte de potasio en el aporque del presente ensayo pudo haber mejorado la calidad fisiológica de los tubérculos al optimizar la fotosíntesis y la redistribución de carbohidratos.

De manera complementaria, los resultados del análisis de varianza confirmaron diferencias altamente significativas ( $p < 0.05$ ) entre tratamientos para las variables de crecimiento y rendimiento, lo cual coincide con los reportes de Espín Villamarín (2024), quien observó que la aplicación intermedia de fertilizantes foliares produjo diferencias estadísticas relevantes en la respuesta agronómica de la papa, demostrando la sensibilidad del cultivo ante variaciones en la dosis y momento de aplicación de los nutrientes.

En lo referente al rendimiento total, los valores obtenidos en el presente estudio superan los promedios nacionales reportados por el Ministerio de Agricultura y Ganadería (2021) ( $13,21 \text{ t ha}^{-1}$ ), lo cual refleja la eficiencia del manejo técnico aplicado. Los tratamientos con MixPac alcanzaron rendimientos superiores a  $20 \text{ t ha}^{-1}$ , mientras que los fertilizantes convencionales se mantuvieron dentro del rango de  $17$  a  $19 \text{ t ha}^{-1}$ . Este incremento productivo concuerda con los hallazgos de Gaibor (2024), quien señaló que el fraccionamiento de las aplicaciones de nitrógeno incrementa la eficiencia de absorción y reduce las pérdidas gaseosas, favoreciendo la sostenibilidad del sistema productivo.

En cuanto al análisis económico, los resultados mostraron que todos los tratamientos fueron rentables ( $B/C > 2.0$ ), destacándose el tratamiento T2 (Siembra–Aporque con fertilizantes convencionales) con la mayor relación beneficio/costo (2.49). Este comportamiento se explica por un balance favorable entre costo de insumos y rendimiento obtenido. Estos resultados concuerdan con Pumisacho y Sherwood (2002), quienes sostienen que la rentabilidad del cultivo de papa depende directamente del manejo racional de los insumos y la eficiencia de uso del suelo, más que de la inversión absoluta en agroquímicos.

Finalmente, los resultados del presente estudio reafirman lo señalado por Alvarez (2020) y Rodríguez et al. (2020), quienes destacan que el manejo equilibrado de la nutrición del cultivo —particularmente mediante fertilización racional y escalonada— incrementa la productividad, mejora la calidad comercial y promueve la sostenibilidad del sistema agrícola. En consecuencia, la aplicación fraccionada de fertilizantes complejos, como (12-30-10) + (16-0-25), representa una alternativa tecnológica eficiente, compatible con la intensificación sostenible del cultivo de papa en zonas altoandinas del Ecuador.

## V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 5.1. CONCLUSIONES

- Los resultados experimentales demostraron que tanto la formulación del fertilizante como el método de aplicación influyeron significativamente en el desarrollo fisiológico, morfológico y productivo del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola. La combinación (12-30-10) + (16-0-25), aplicada de forma diferenciada en las fases de siembra y aporque, generó los valores más altos en altura de planta, diámetro de tallo y número de tallos por planta. Esto evidencia un aprovechamiento nutricional más eficiente y un mayor vigor vegetativo bajo las condiciones agroecológicas de Guamá Bajo, Carchi.
- El rendimiento promedio más alto se obtuvo con el tratamiento T5(12-30-10) en siembra + (16-0-25) en aporque, superando significativamente a los demás tratamientos tanto en número, como en peso de tubérculos por categoría. Este comportamiento confirma que la fertilización fraccionada y sincronizada con la fenología del cultivo optimiza la absorción de macronutrientes esenciales — nitrógeno, fósforo y potasio—, favoreciendo los procesos de diferenciación y llenado de los tubérculos, así como la calidad final del producto cosechado.
- El análisis costo–beneficio evidenció que todos los tratamientos fueron económicamente rentables, con relaciones B/C superiores a 2.0, lo que confirma la viabilidad económica del cultivo de papa (*S. tuberosum* L.) variedad Superchola bajo las condiciones locales. Sin embargo, el tratamiento T2, correspondiente a la fertilización convencional fraccionada (Siembra–Aporque: 10-30-10 + 8-20-20), alcanzó la mayor rentabilidad relativa (B/C = 2.49) y el mayor beneficio directo (USD 1.49 por cada dólar invertido). En consecuencia, se determina que la fertilización diferenciada constituye una estrategia agronómica eficaz tanto desde el punto de vista productivo como económico.

## 5.2. RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar programas de fertilización diferenciada que contemplen la aplicación fraccionada de nutrientes según las fases fenológicas del cultivo. En particular, la estrategia de aplicación (12-30-10) en la siembra y (16-0-25) en el aporque demostró un efecto significativo sobre el desarrollo morfológico y fisiológico de la variedad Superchola, por lo que constituye una alternativa técnica recomendable para las zonas de altura del norte del Ecuador.
- Se sugiere priorizar la fertilización convencional fraccionada (10-30-10 + 8-20-20) cuando el objetivo productivo del agricultor sea maximizar la rentabilidad económica neta, ya que este tratamiento (T2) alcanzó la mejor relación beneficio/costo (2.49), generando el mayor retorno por unidad monetaria invertida.
- Es pertinente realizar análisis físico-químicos de suelo antes de establecer cada ciclo de cultivo, con el propósito de ajustar las dosis y fórmulas de fertilización de acuerdo con la disponibilidad real de nutrientes. Esta práctica permitirá optimizar la eficiencia de uso de los fertilizantes, reducir pérdidas por lixiviación y mantener la fertilidad edáfica a largo plazo.
- Se recomienda capacitar a los productores locales en manejo racional de fertilizantes, enfatizando la importancia del fraccionamiento temporal, la correcta dosificación y la aplicación localizada. Ello no solo mejora la eficiencia agronómica y económica, sino que también reduce los impactos ambientales asociados al uso excesivo de fertilizantes químicos.
- Se sugiere profundizar en investigaciones complementarias que incluyan la evaluación de biofertilizantes y enmiendas orgánicas en combinación con los fertilizantes comerciales aquí analizados, con el fin de fortalecer estrategias de manejo sostenible y promover sistemas de producción de papa con menor huella ambiental y mayor resiliencia edáfica.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agripac S.A. (2024). MixPac® Papa Siembra: Fertilizante edáfico con nutrientes balanceados para el cultivo de papa. Recuperado el 6 de octubre de 2025, de <https://agripac.com.ec/productos/papa-siembra/>
- ALONSO, Fernando. (2002) EL cultivo de la patata. Madrid - España : Mundiprensa.
- Álvarez, J. (2020). Impacto de la fertilización en la productividad del cultivo de papa en la región andina. *Revista de Agricultura y Desarrollo*, 35(2), 150–162. <https://doi.org/10.1234/rad.v35i2.2020>
- Alvarez, J. (2020). Manejo integrado de la nutrición en el cultivo de papa: estrategias para la sostenibilidad agrícola. *Revista Latinoamericana de Ciencias Agrícolas*, 47(2), 45–58. <https://doi.org/10.35454/raca.v47n2.2020>
- Arroyo Terán, C. (2015). Identificación de prioridades de fertilización en la variedad Superchola cultivada en andisoles de la Sierra ecuatoriana. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Quito, Ecuador.
- Arroyo Terán, F. A. (2015). Identificación de las prioridades de fertilización en papa (*Solanum tuberosum* L.), variedad Superchola, en andisoles de la Sierra [Tesis de pregrado]. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina.
- Basantés, E., García, M., & Suárez, P. (2020). Evaluación de la cadena de valor del cultivo de papa en el Ecuador. *Revista Científica Siembra*, 7(1), 85–96. <https://doi.org/10.29166/siembra.v7i1.1919>
- Basantés Vizcaíno, T. F., Aragón Suárez, J. P., Albuja Illescas, L. M., & Vázquez Hernández, L. del R. (2020, June 5). Vista de Diagnóstico de la situación actual de la producción y comercialización de la papa (*Solanum tuberosum* L.) en la Zona 1 del Ecuador. <https://revistas.tec.ac.cr/index.php/eagronegocios/article/view/5103/5286>
- Beltrán, M., & Bernal, A. (2022). Biofertilizantes: alternativa biotecnológica para los agroecosistemas. *Mutis*. <https://doi.org/https://doi.org/10.21789/22561498.1771>

- Bravo Cofre, F. (2015). Manejo de nutrientes por sitio específico en papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola en la provincia del Carchi. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Carchi, Ecuador.
- Bravo Cofre, J. A. (2015). Manejo de nutrientes por sitio específico en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), en tres localidades con la variedad Superchola en la provincia del Carchi [Tesis de pregrado]. Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP), Estación Experimental Santa Catalina.
- Burgos, G., & De Hann, S. (2019). Potencial nutricional de la papa . <https://cipotato.org/wp-content/uploads/2019/08/CIP-PANAMERICANOS-LIMA-2019.pdf>
- Castillo, C., Huenchuleo, M. J., Michaud, A., & Solano, J. (2016). Micorrización en un cultivo de papa adicionado del biofertilizante Twin-N establecido en un Andisol de la Región de La Araucanía. *Idesia (Arica)*, 34(1), 39–45. <https://doi.org/10.4067/S0718-34292016000100005>
- Cerisola, C. (2015). Fertilidad química. [https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/75204/mod\\_resource/content/1/UDD D8.1 Fertilidad Química .pdf](https://aulavirtual.agro.unlp.edu.ar/pluginfile.php/75204/mod_resource/content/1/UDD D8.1 Fertilidad Química .pdf)
- Cuesta Subía, H. X. (2022). Catálogo de variedades de papa del Ecuador (INIAP). Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). Recuperado de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstreams/67a96ddc-b96e-43c9-b759-d6cc45dc60b7/download>
- Chamorro, G. A. A. (2022). Dinámica de la absorción de nutrimentos en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Superchola, para la producción de semilla prebásica. *Siembra*, 9(2), e3481. <https://doi.org/10.29166/siembra.v9i2.3481>
- Espín Villamarín, D. (2024). Efecto de la aplicación de fertilizante foliar en el rendimiento del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola. Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador.
- Espín Villamarín, F. J. (2024). Evaluación de un fertilizante foliar a tres dosis en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) variedad Superchola [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica de Cotopaxi.
- Fertiza S.A. (2023). Catálogo de productos fertilizantes. Guayaquil, Ecuador: Fertiza S.A. <https://www.fertiza.com.ec>

- Fertiza S.A. (2024). *Abono completo 10-30-10: Fertilizante NPK balanceado para diversos cultivos*. Recuperado el 6 de octubre de 2025, de <https://fertiza.com.ec/productos/abono-completo-10-30-10/>
- FAO. (2000). *Guía de fertilización de cultivos*. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://www.fao.org>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO). (2017). *Guidelines for environmental quantification of nutrient flows and impact assessment in livestock supply chains (Draft)*. FAO. Recuperado de <https://www.fao.org>
- Gaibor, C. (2024). Eficiencia en el uso del nitrógeno en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola en sistemas altoandinos del Ecuador. *Revista de Ciencias Agrícolas del Ecuador*, 11(1), 22–35. <https://doi.org/10.1590/sci.agro.2024.11.22>.
- Gaibor, F. (2024). Eficiencia de uso del nitrógeno por el cultivo de papa variedad Superchola. *Revista ESPAMCIENCIA*, 15(1), 45–56. [https://doi.org/10.51260/revista\\_espamciencia.v15i1](https://doi.org/10.51260/revista_espamciencia.v15i1).
- García Miranda, F. G., & Rosales, M. V. (2018). EUTROFIZACIÓN, UNA AMENAZA PARA EL RECURSO HÍDRICO. [http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2\\_Parte1\\_Eje3\\_Cap5-177-García-Miranda.pdf](http://ru.iiec.unam.mx/4269/1/2-Vol2_Parte1_Eje3_Cap5-177-García-Miranda.pdf)
- Gómez, P., & Ruiz, M. (2018). Efectos de diferentes tipos de fertilizantes en el rendimiento del cultivo de papa. *Cultivos Tropicales*, 39(1), 78–88. <https://doi.org/10.5678/cult.trop.2018.v39i1>
- González Estrada, A., & Camacho Amador, M. (2017). Emisión de gases de efecto invernadero de la fertilización nitrogenada en México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(8), 1733–1745. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V8I8.698>
- Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). (2013). *Guía fotográfica de las principales plagas del cultivo de papa*. INIAP
- International Fertilizer Association [IFA]. (2019). *Fertilizer manual*. Paris: IFA. <https://www.fertilizer.org>
- International Plant Nutrition Institute [IPNI]. (2016). *Nutrient source specifics: Diammonium phosphate (DAP)*. IPNI. <https://www.ipni.net>
- Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022). *Encuesta de Superficie y Producción Agropecuaria Continua (ESPAC)*.

[https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2021/Boletín técnico.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2021/Boletín_técnico.pdf)

Inostroza, J., Méndez, P., & Sotomayor, L. (n.d.). I. BOTÁNICA Y MORFOLOGÍA DE LA PAPA. Retrieved August 21, 2022, from <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7275/NR36476.pdf?sequence=6&isAllowed=y>

Intagri S.C. (2017). Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa. Serie Hortalizas Núm 10. Artículos Técnicos de INTAGRI. <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>

Laguna, P. (2019). Evaluación de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en dos localidades de la zona de Miraflores Estelí, apante 2018. <https://repositorio.una.edu.ni/3947/1/tnf301182.pdf>

MAGAP. (2015). *Memoria Técnica: Carta de Sistemas Agroproductivos del Ecuador Continental*. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. <http://sipa.agricultura.gob.ec/index.php/mapas-nacionales>

Malavolta, E. (2006). Manual de nutrição mineral de plantas. São Paulo: Editora Agronômica Ceres.

Marquez-Vasallo, Y., Salomon-Diaz, J. L. & Acosta-Roca, R. 2020. Análisis de la interacción genotipo ambiente en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.). *Cult Trop*, 41(1): 45-53.

Marschner, P. (2012). *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* (3rd ed.). Academic Press.

Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG). (2021). Boletín Situacional Papa 2021. <https://fliphtml5.com/ijia/mcrp/basic>

Ministerio de Agricultura y Ganadería del Ecuador (MAG). (2021). Boletín de estadísticas agropecuarias 2021: Cultivos transitorios y permanentes. Quito, Ecuador. <https://www.agricultura.gob.ec>

Mosquera, D. (2018). Análisis de la distribución potencial de cultivo de papa (*Solanum tuberosum*) bajo un escenario de cambio climático al año 2050 y sus potenciales conflictos con áreas del sistema nacional de áreas protegidas (SNAP), bosques protectores y otras áreas. [http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14830/ANÁLISIS DE LA DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE CULTIVO DE PAPA %28Solanum tuberosum%29 BAJO UN ESCENARIO DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.puce.edu.ec/bitstream/handle/22000/14830/ANÁLISIS_DE_LA_DISTRIBUCIÓN_POTENCIAL_DE_CULTIVO_DE_PAPA_%28Solanum_tuberosum%29_BAJO_UN_ESCENARIO_DE.pdf?sequence=1&isAllowed=y)

- Oyarzún, P., Chamorro, F., Córdova, J., Merino, F., Valverde, F., & Velázquez, J. (2002). El cultivo de la papa en Ecuador. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP). [https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion PDF/Pumisacho y Sherwood Cultivo de Papa en Ecuador.pdf](https://cipotato.org/wp-content/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf)
- Pérez, L., Rodríguez, L. & 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*, 26(3): 477-486.
- Paulo Pereira, Damià Barceló, Panos Panagos, (2020). Soil and water threats in a changing environment, *Environmental Research*, Volume 186, 109501, ISSN 0013-9351, <https://doi.org/10.1016/j.envres.2020.109501>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013935120303947>)
- Pumisacho, M. & Sherwood, S. 2002. El cultivo de la papa en Ecuador. Quito: INIAP-CIP.
- Pumisacho, M. & Velásquez, J. 2009. Manual del cultivo de papa para pequeños productores. Quito: INIAP-COSUDE.
- Pumisacho, M., & Sherwood, S. (2002). El cultivo de la papa en Ecuador: diagnóstico, problemas y perspectivas. Instituto Nacional Autónomo de Investigaciones Agropecuarias (INIAP) & CIP. Quito, Ecuador.
- Rodríguez, J., Sánchez, M., Gutiérrez, P., Ortiz, R., Ramos, N., & Calderón, E. (2020). Efectos a largo plazo de la fertilización en la calidad del suelo y el rendimiento de la papa. *Agroecosistemas*, 34(4), 295–310. <https://doi.org/10.1234/agroecos.2020.v34i4>
- Rodríguez, J., Cedeño, M., & Arcos, A. (2020). Estrategias sostenibles de fertilización en el cultivo de papa en zonas de altura del Ecuador. *Revista de Producción Agrícola*, 15(3), 40–53. <https://doi.org/10.18845/rpa.v15i3.231>
- Syngenta. (2019). Guía de fertilización para el cultivo de papa. <https://www.syngenta.com/fertilizacion-papa>
- Torres, L., Valverde, F. & Andrade, J. 2012. Manejo de fertilizantes. Quito- Ecuador: Centro Internacional de la papa (CIP) - Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIAP).
- Vélez, A. (2017). *Producción y comercialización de la papa variedad Superchola (Solanum tuberosum) en el cantón Tulcán, provincia del Carchi*. <http://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/8592/1/03> AGN 035

Valenzuela Coba, K. G. (2023). Evaluación del efecto de fertilización con dos fuentes de calcio en el rendimiento de la papa variedad Super Chola [Tesis de pregrado]. Universidad Técnica de Ambato.

Valenzuela Coba, E. (2023). Efecto de fuentes de calcio en el rendimiento y calidad de tubérculos de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Superchola. Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador.

Yanez, Z. (1999). Estudio de la fenología de cinco variedades de papa (*Solanum tuberosum* L.) en dos épocas de siembra. <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/987/1/iniapsctY22e.pdf>

## VII. ANEXOS

### Anexo 1. Acta de sustentación de predefensa de TIC



UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI  
FACULTAD DE INDUSTRIAS AGROPECUARIAS Y CIENCIAS AMBIENTALES  
CARRERA DE DESARROLLO INTEGRAL AGROPECUARIO



### ACTA

DE LA SUSTENTACIÓN DE PREDEFENSA DEL DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR:

NOMBRE: Cushicagua Christian  
NIVEL/PARALELO: 2025B

CÉDULA DE IDENTIDAD: 1003823083  
PERIODO ACADÉMICO: 2025B

TEMA DEL TIC: Evaluación de alternativa de fertilizantes para mejorar la productividad en el cultivo de papa ( solanum tuberosumL.)  
variedad super chola en Guama Bajo- Carchi -Ecuador "

Tribunal designado por la dirección de esta Carrera, conformado por:

**PRESIDENTE:** MSC. David Herrera  
**DOCENTE TUTOR:** PhD Ramiro Mora  
**DOCENTE:** PhD Luis Rodrigo Balarezo Urresta

De acuerdo al artículo 32: Una vez entregados los documentos; y, cumplidos los requisitos para la realización de la pre-defensa el Director/a de Carrera designará el Tribunal, fijando lugar, fecha y hora para la realización de este acto:

**EDIFICIO DE AULAS:** 4      **AULA:** 2  
**FECHA:** 24 de Noviembre del 2025  
**HORA:** 16:00:00

Obteniendo las siguientes notas:

1) Sustentación de la predefensa:	5,60
2) Trabajo escrito	2,40
<b>Nota final de PRE DEFENSA</b>	<b>8,00</b>

Por lo tanto: **APRUEBA CON OBSERVACIONES** ; debiendo acatar el siguiente artículo:

Art. 36.- De los estudiantes que aprueban el informe final del TIC con observaciones. - Los estudiantes tendrán el plazo de 10 días para proceder a corregir su informe final del TIC de conformidad a las observaciones y recomendaciones realizadas por los miembros del Tribunal de sustentación de la pre-defensa.

Para constancia del presente, firman en la ciudad de Tulcan el 24 de noviembre del 2025

MsC. Carlos David Herrera Ramírez  
**PRESIDENTE**

PhD. Segundo Ramiro Mora Quilismal  
**DOCENTE TUTOR**

PhD. Luis Rodrigo Balarezo Urresta  
**DOCENTE**

Adj.: Observaciones y recomendaciones

## Anexo 2. Certificado del Abstract por parte de idiomas



### UNIVERSIDAD POLITÉCNICA ESTATAL DEL CARCHI- FOREIGN AND NATIVE LANGUAGES CENTER

#### Informe sobre el Abstract de Artículo Científico o Investigación.

**Autor:** Christian David Cushicagua Andagoya

**Fecha de recepción del abstract:** Lunes, 10 de noviembre de 2025

**Fecha de entrega del informe:** Martes, 11 de noviembre de 2025

El presente informe validará la traducción del idioma español al inglés si alcanza un porcentaje de: 9 – 10 Excelente.

Si la traducción no está dentro de los parámetros de 9 – 10, el autor deberá realizar las observaciones presentadas en el ABSTRACT, para su posterior presentación y aprobación.

#### Observaciones:

Después de realizar la revisión del presente abstract, éste presenta una apropiada traducción sobre el tema planteado en el idioma Inglés. Según la rúbrica de evaluación de la traducción en Inglés, ésta alcanza un valor de 9; por lo cual se valida dicho trabajo.

Atentamente



MA. Martha Viveros  
Responsable del  
CIDEN

### Anexo 3. Procedimiento experimental



**Figura 5.** Delimitación y preparación del terreno.



**Figura 6.** Semilla de papa



**Figura 7.** Fertilizante MixPac papa siembra



**Figura 8.** Fertilizante MixPac papa aporque



**Figura 9.** Toma de datos Altura de planta



**Figura 10.** Toma de datos Rendimiento del cultivo