



**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**  
**Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental**  
**Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica**

**Efecto de las citoquininas en la absorción y extracción de macronutrientes en el  
cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay**

**Tesis**

**Para optar el Título Profesional de Ingeniero Agrónomo**

**Autor**

**Joe Stephano Frank Caparachin Perez**

**Asesor**

**Dr. Dionicio Belisario Luis Olivas**

  
DIONICIO BELISARIO LUIS OLIVAS  
INGENIERO AGRÓNOMO  
CIP N° 065110

**Huacho-Perú**

**2026**



**Reconocimiento - No Comercial – Sin Derivadas - Sin restricciones adicionales**

<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

**Reconocimiento:** Debe otorgar el crédito correspondiente, proporcionar un enlace a la licencia e indicar si se realizaron cambios. Puede hacerlo de cualquier manera razonable, pero no de ninguna manera que sugiera que el licenciante lo respalda a usted o su uso. **No Comercial:** No puede utilizar el material con fines comerciales. **Sin Derivadas:** Si remezcla, transforma o construye sobre el material, no puede distribuir el material modificado. **Sin restricciones adicionales:** No puede aplicar términos legales o medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otros de hacer cualquier cosa que permita la licencia.



**UNIVERSIDAD NACIONAL**  
**JOSÉ FAUSTINO SÁNCHEZ CARRIÓN**

**LICENCIADA**

*(Resolución de Consejo Directivo N° 012-2020-SUNEDU/CD de fecha 27/01/2020)*

Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental

Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica

**METADATOS**

| <b>DATOS DEL AUTOR (ES):</b>                                                        |            |                                                                                           |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>                                                          | <b>DNI</b> | <b>FECHA DE SUSTENTACIÓN</b>                                                              |
| Joe Stephano Frank Caparachin Perez                                                 | 76542552   | 10/08/2026                                                                                |
| <b>DATOS DEL ASESOR:</b>                                                            |            |                                                                                           |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>                                                          | <b>DNI</b> | <b>CÓDIGO ORCID</b>                                                                       |
| Dr. Dionicio Belisario Luis Olivas                                                  | 15651224   | <a href="https://orcid.org/0000-0002-5367-5285">https://orcid.org/0000-0002-5367-5285</a> |
| <b>DATOS DE LOS MIEMROS DE JURADOS – PREGRADO/POSGRADO-MAESTRÍA-<br/>DOCTORADO:</b> |            |                                                                                           |
| <b>APELLIDOS Y NOMBRES</b>                                                          | <b>DNI</b> | <b>CODIGO ORCID</b>                                                                       |
| Dr. Roberto Hugo Tirado Malaver                                                     | 44565193   | <a href="https://orcid.org/0000-0002-4615-5310">https://orcid.org/0000-0002-4615-5310</a> |
| Dr. Marco Tulio Sánchez Calle                                                       | 02807986   | <a href="https://orcid.org/0000-0001-9687-2476">https://orcid.org/0000-0001-9687-2476</a> |
| Mg. Sc. Luis Alberto Goñy Ameri                                                     | 15736762   | <a href="https://orcid.org/0000-0001-9468-8253">https://orcid.org/0000-0001-9468-8253</a> |

# 049370 Joe Stephano Frank Caparachin Perez

## Efecto de las citoquininas en la absorción y extracción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle...

UI-FIAIAY PREGRADO 2026

Unidad de Investigación FIAIAYA-2026

Facultad de Ingeniería Agrarias, Industrias Alimentarias y Ambiental

### Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::1:3605233129

Fecha de entrega

2 jul 2026, 10:03 a.m. GMT-5

Fecha de descarga

2 jul 2026, 10:10 a.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS.pdf

Tamaño del archivo

977.8 KB

74 páginas

18.679 palabras

106.360 caracteres



Página 2 de 82 - Descripción general de integridad

Identificador de la entrega trn:oid::1:3605233129

## 20% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

### Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

### Exclusiones

- N.º de coincidencias excluidas

### Fuentes principales

- 19% Fuentes de Internet
- 7% Publicaciones
- 10% Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

### Marcas de integridad

#### N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

**Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión**  
**Facultad de Ingeniería Agraria, Industrias Alimentarias y Ambiental**  
**Escuela Profesional De Ingeniería Agronómica**

**Efecto de las citoquininas en la absorción y extracción de  
macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de  
Chancay**

**Jurado evaluador:**



**Dr. Roberto Hugo Tirado Malaver**  
**Presidente**



**Dr. Marco Tulio Sanchez Calle**  
**Secretario**



**Mg. Sc. Luis Alberto Goñy Ameri**  
**Vocal**



  
DIONICIO BELISARIO LUIS OLIVAS  
INGENIERO AGRÓNOMO  
CIP N° 066110

**Dr. Dionicio Belisario Luis Olivas**  
**Asesor**

**Huacho-Perú**

**2026**

## **Dedicatoria**

A Dios por darme vida en este arduo camino, a mi madre que me apoya en los momentos más difíciles de todo mi vida y mi hermano que me aconseja en todas las cosas buenas para saber afrontar todo este trayecto.

## **Agradecimientos**

- Quiero expresar mi más sincero agradecimiento a la Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión, institución que me brindó no solo formación académica sino también el espacio y los recursos necesarios para desarrollar esta investigación.
- A la Facultad de Agronomía, por ser mi segundo hogar durante estos años de formación profesional y por inculcarme el amor por la ciencia agrícola y el compromiso con el desarrollo sostenible de nuestro país.
- Mi especial reconocimiento a los docentes que han sido pilares fundamentales en este proceso. Gracias por compartir sus conocimientos, experiencias y por la paciente orientación que me permitió culminar con éxito esta investigación.

## INDICE

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| RESUMEN .....                                                                  | xiv |
| ABSTRACT .....                                                                 | xv  |
| INTRODUCCIÓN.....                                                              | 1   |
| CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....                                    | 3   |
| 1.1 Descripción de la realidad problemática .....                              | 3   |
| 1.2 Formulación del problema.....                                              | 4   |
| 1.2.1 Problema general .....                                                   | 4   |
| 1.2.2 Problema específicos .....                                               | 4   |
| 1.3 Objetivos de la investigación.....                                         | 4   |
| 1.3.1 Objetivo general .....                                                   | 4   |
| 1.3.2 Objetivo específicos .....                                               | 4   |
| 1.4 Justificación de la investigación .....                                    | 5   |
| 1.5 Delimitación de estudio .....                                              | 5   |
| CAPITULO II. MARCO TEÓRICO.....                                                | 6   |
| 2.1 Antecedentes de la investigación.....                                      | 6   |
| 2.1.1 Antecedentes internacionales .....                                       | 6   |
| 2.1.2 Antecedentes nacionales.....                                             | 8   |
| 2.2 Bases teóricas .....                                                       | 9   |
| 2.2.1 Generalidades del cultivo de la papa .....                               | 9   |
| 2.2.2 Rol de los macronutrientes .....                                         | 11  |
| 2.2.3 Rol de las citoquininas en la fisiología vegetal .....                   | 12  |
| 2.2.4 Interacción de las citoquininas con la nutrición mineral .....           | 14  |
| 2.2.5 Extracción y remoción de nutrientes en el cultivo de papa .....          | 16  |
| 2.2.6 Descripción de los productos comerciales usados en la investigación..... | 18  |
| 2.3 Definición de términos básicos.....                                        | 19  |
| 2.4 Hipótesis de la investigación .....                                        | 20  |

|                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------|----|
| 2.4.1 Hipótesis general .....                                      | 20 |
| 2.4.2 Hipótesis específicas.....                                   | 20 |
| 2.5 Operacionalización de las variables .....                      | 21 |
| CAPITULO III. METODOLOGÍA .....                                    | 22 |
| 3.1 Diseño metodológico.....                                       | 22 |
| 3.1.1 Ubicación.....                                               | 22 |
| 3.1.2 Características del área experimental .....                  | 22 |
| Croquis del área experimental .....                                | 23 |
| 3.1.3 Tratamientos .....                                           | 23 |
| 3.1.4 Diseño experimental.....                                     | 24 |
| 3.1.5 Variables a evaluar .....                                    | 24 |
| 3.1.6 Conducción del experimento .....                             | 25 |
| 3.2 Técnicas para el procesamiento de la información.....          | 25 |
| CAPITULO IV. RESULTADOS .....                                      | 26 |
| 4.1 Concentración de los macronutrientes en los tubérculos.....    | 26 |
| 4.1.1 Nitrógeno .....                                              | 26 |
| 4.1.2 Fósforo.....                                                 | 28 |
| 4.1.3 Potasio .....                                                | 29 |
| 4.1.4 Calcio.....                                                  | 31 |
| 4.1.5 Magnesio .....                                               | 33 |
| 4.1.6 Azufre .....                                                 | 34 |
| 4.2 Extracción de los macronutrientes (kg ha <sup>-1</sup> ) ..... | 36 |
| 4.2.1 Nitrógeno .....                                              | 36 |
| 4.2.2 Fósforo.....                                                 | 38 |
| 4.2.3 Potasio .....                                                | 41 |
| 4.2.4 Calcio.....                                                  | 42 |
| 4.2.5 Magnesio .....                                               | 44 |

|                                                   |    |
|---------------------------------------------------|----|
| 4.2.6 Azufre .....                                | 46 |
| CAPITULO V. DISCUSIONES.....                      | 49 |
| CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES ..... | 52 |
| 6.1 Conclusiones.....                             | 52 |
| 6.2 Recomendaciones .....                         | 53 |
| CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....     | 54 |

## INDICE DE TABLAS

|                                                                                                        |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla 1.</b> Operacionalización de la variable.....                                                 | 21 |
| <b>Tabla 2.</b> Tratamientos con diferentes dosis de citoquininas .....                                | 23 |
| <b>Tabla 3.</b> Análisis de varianza.....                                                              | 24 |
| <b>Tabla4</b> Análisis de varianza para la concentración de nitrógeno .....                            | 26 |
| <b>Tabla5</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                        | 27 |
| <b>Tabla6</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                         | 27 |
| <b>Tabla7</b> Análisis de varianza para la concentración de fósforo .....                              | 28 |
| <b>Tabla8</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                        | 29 |
| <b>Tabla9</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                         | 29 |
| <b>Tabla10</b> Análisis de varianza para la concentración de potasio .....                             | 30 |
| <b>Tabla11</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                       | 30 |
| <b>Tabla12</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                        | 31 |
| <b>Tabla13</b> Análisis de varianza para la concentración de calcio .....                              | 32 |
| <b>Tabla14</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                       | 32 |
| <b>Tabla15</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                        | 33 |
| <b>Tabla16</b> Análisis de varianza para la concentración de magnesio .....                            | 33 |
| <b>Tabla17</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                       | 34 |
| <b>Tabla18</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                        | 34 |
| <b>Tabla19</b> Análisis de varianza para la concentración de azufre.....                               | 35 |
| <b>Tabla20</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                       | 35 |
| <b>Tabla21</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                        | 36 |
| <b>Tabla22</b> Análisis de varianza para la extracción de nitrógeno .....                              | 37 |
| <b>Tabla23</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                       | 37 |
| <b>Tabla24</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                        | 37 |
| <b>Tabla25</b> Análisis de varianza para la extracción de fósforo .....                                | 38 |
| <b>Tabla26</b> Análisis de efectos simples de fuente dentro de cada nivel de dosis.....                | 39 |
| <b>Tabla27</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuentes en la dosis de 400 mL..... | 39 |
| <b>Tabla28</b> Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuentes en la dosis de 600 mL..... | 40 |
| <b>Tabla29</b> Análisis de efectos simples de dosis dentro de cada fuente .....                        | 40 |

|                |                                                                                              |    |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Tabla30</b> | Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis en la fuente Triggrr foliar ..... | 41 |
| <b>Tabla31</b> | Análisis de varianza para la extracción de potasio .....                                     | 41 |
| <b>Tabla32</b> | Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                            | 42 |
| <b>Tabla33</b> | Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                             | 42 |
| <b>Tabla34</b> | Análisis de varianza para la extracción de calcio .....                                      | 43 |
| <b>Tabla35</b> | Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                            | 43 |
| <b>Tabla36</b> | Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                             | 44 |
| <b>Tabla37</b> | Análisis de varianza para la extracción de magnesio .....                                    | 45 |
| <b>Tabla38</b> | Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                            | 45 |
| <b>Tabla39</b> | Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                             | 46 |
| <b>Tabla40</b> | Análisis de varianza para la extracción de azufre.....                                       | 46 |
| <b>Tabla41</b> | Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente .....                            | 47 |
| <b>Tabla42</b> | Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis .....                             | 47 |
| <b>Tabla43</b> | Extracción de nutrientes .....                                                               | 48 |
| <b>Tabla44</b> | Extracción de nutrientes por tonelada de tubérculo.....                                      | 48 |

## INDICE DE FIGURAS

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| <b>Figura 1.</b> Fases fenológicas del cultivo de papa. .... | 10 |
|--------------------------------------------------------------|----|

## RESUMEN

**Objetivo:** determinar el efecto de las citoquininas en la absorción y extracción de macronutrientes en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en condiciones del valle de Chancay. **Metodología:** se empleó un experimento de campo bajo un diseño de bloques completos al azar (DBCA) con arreglo factorial  $2 \times 3$  y tres repeticiones. Los factores evaluados fueron dos fuentes de citoquininas (Cythor y Triggrr foliar) y tres dosis (200, 400 y 600 mL Cil<sup>-1</sup>). La evaluación se realizó al inicio de la cosecha mediante análisis foliar de los tubérculos, determinando la concentración y extracción de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y S). Los datos fueron procesados mediante análisis de varianza (ANOVA) y comparación de medias con la prueba de Tukey al 5%. **Resultados:** no existieron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0,05$ ) en la concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, calcio y magnesio entre tratamientos. Asimismo, en la extracción de macronutrientes tampoco se observaron diferencias significativas para la mayoría de nutrientes evaluados. Sin embargo, se evidenció un efecto significativo en la concentración de azufre y en la interacción fuente  $\times$  dosis para la extracción de fósforo, lo que indica una respuesta puntual del cultivo a la aplicación de citoquininas. **Conclusión:** Se concluye que la aplicación de citoquininas no influyó significativamente en la absorción ni en la extracción de la mayoría de macronutrientes en el cultivo de papa bajo las condiciones del valle de Chancay.

**Palabras clave:** *Solanum tuberosum*, bioestimulante, nutrición vegetal, rendimiento

## ABSTRACT

**Objective:** To determine the effect of cytokinins on the absorption and extraction of macronutrients in potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation under the conditions of the Chancay Valley. **Methodology:** A field experiment was conducted using a randomized complete block design (RCBD) with a  $2 \times 3$  factorial arrangement and three replicates. The factors evaluated were two cytokinin sources (Cythor and Triggrr foliar) and three doses (200, 400, and 600 mL Cyl-1). The evaluation was performed at the beginning of the harvest by foliar analysis of the tubers, determining the concentration and extraction of macronutrients (N, P, K, Ca, Mg, and S). The data were processed using analysis of variance (ANOVA) and mean comparisons with Tukey's test at the 5% significance level. **Results:** There were no statistically significant differences ( $p > 0.05$ ) in the concentration of nitrogen, phosphorus, potassium, calcium, and magnesium among treatments. Likewise, no significant differences were observed in macronutrient uptake for most of the nutrients evaluated. However, a significant effect was observed in sulfur concentration and in the source  $\times$  dose interaction for phosphorus uptake, indicating a specific response of the crop to cytokinin application. **Conclusion:** It is concluded that cytokinin application did not significantly influence the absorption or uptake of most macronutrients in potato crops under the conditions of the Chancay Valley.

**Keywords:** *Solanum tuberosum*, biostimulant, plant nutrition, yield

## INTRODUCCIÓN

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) constituye uno de los sistemas productivos más importantes a nivel mundial, no solo por su alto valor nutricional, sino también por su papel estratégico en la seguridad alimentaria y la economía agrícola. Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, la papa es el principal cultivo de raíces y tubérculos, con una producción global que supera los 380 millones de toneladas, lo que evidencia su relevancia en la alimentación humana y en los sistemas productivos agrícolas (FAO, 2023). En este contexto, la optimización del manejo nutricional del cultivo se convierte en un factor determinante para alcanzar altos niveles de productividad y calidad.

La absorción y extracción de macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) desempeñan un rol fundamental en el crecimiento y desarrollo del cultivo de papa. Diversos estudios han señalado que la adecuada disponibilidad y asimilación de estos nutrientes influyen directamente en el rendimiento, la formación de tubérculos y la calidad del producto final (Koch, Naumann & Pawelzik, 2020). En particular, el potasio ha sido identificado como uno de los elementos más demandados por el cultivo, debido a su participación en procesos fisiológicos como la fotosíntesis, la regulación osmótica y la translocación de carbohidratos (Torabian et al., 2021). Sin embargo, la eficiencia en la absorción de nutrientes puede verse limitada por factores edáficos, climáticos y fisiológicos, lo que genera la necesidad de explorar alternativas que mejoren el aprovechamiento de los recursos disponibles.

En este sentido, las citoquininas, un grupo de fitohormonas derivadas de la adenina, han cobrado interés en la investigación agronómica debido a su capacidad para regular procesos fisiológicos clave como la división celular, la diferenciación de tejidos, la senescencia foliar y la movilización de nutrientes dentro de la planta (Taiz et al., 2015). Asimismo, se ha demostrado que estas hormonas participan en la regulación del metabolismo del nitrógeno y en la señalización de la disponibilidad de nutrientes, lo que permite una mejor coordinación entre el crecimiento vegetal y la nutrición mineral (Kiba et al., 2011).

Diversas investigaciones han reportado efectos positivos de las citoquininas sobre la nutrición y el rendimiento de los cultivos. Por ejemplo, Zhang et al. (2022) demostraron que la acumulación de citoquininas en hojas de papa favorece el crecimiento vegetal mediante la coordinación del metabolismo del carbono y el nitrógeno, mejorando la eficiencia en el uso de este nutriente (Zhang et al., 2022)

. De igual manera, Abouelsaad y Brengi (2022) encontraron que la aplicación foliar de citoquininas incrementa el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio en los tubérculos de papa, así como el rendimiento del cultivo (Abouelsaad & Brengi, 2022). No obstante, estos efectos pueden variar en función de la dosis aplicada, el tipo de producto utilizado y las condiciones agroecológicas del cultivo.

A pesar de los avances en el conocimiento sobre el uso de citoquininas, aún existe un vacío de información respecto a su efecto específico en la absorción y extracción de macronutrientes en condiciones de campo, particularmente en zonas agrícolas como el valle de Chancay, donde factores como el tipo de suelo, el manejo del riego y las condiciones climáticas pueden influir significativamente en la eficiencia nutricional del cultivo.

En este contexto, resulta necesario generar información científica que permita evaluar el comportamiento del cultivo frente a la aplicación de estas fitohormonas en condiciones reales de producción, por lo que la presente investigación tiene como objetivo determinar el efecto de las citoquininas en la absorción y extracción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay.

## CAPÍTULO I. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

### 1.1 Descripción de la realidad problemática

El cultivo de la papa (*Solanum tuberosum* L.) constituye uno de los principales pilares de la seguridad alimentaria mundial y regional debido a su alto valor nutricional, su amplia adaptabilidad a diferentes condiciones agroecológicas y su relevancia económica para millones de productores. De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2023), la papa se cultivó en más de 19 millones de hectáreas a nivel global, alcanzando una producción de aproximadamente 383 millones de toneladas, lo que la posiciona como el principal cultivo de raíces y tubérculos en el mundo. Además, su versatilidad en el consumo y procesamiento industrial la convierte en un cultivo estratégico frente a los desafíos de seguridad alimentaria y sostenibilidad agrícola a nivel global (FAO, 2023).

En este contexto, la absorción y extracción eficiente de macronutrientes —principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) resulta esencial para el crecimiento y rendimiento del cultivo. Según Koch, Naumann y Pawelzik (2020), la adecuada gestión de la fertilización en estos elementos es decisiva para la formación del rendimiento de la papa, ya que la absorción y extracción de macronutrientes determinan directamente la productividad del cultivo. Del mismo modo, Torabian et al. (2021) mencionan que el potasio constituye aproximadamente el 1,7 % de la materia seca de la planta de papa y es el elemento que más se extrae del suelo durante el ciclo del cultivo, por lo que su deficiencia reduce la fotosíntesis, la translocación de azúcares y la calidad de los tubérculos. A su vez, Rosen (2023) advierte que la baja movilidad del fósforo y la limitada exploración radicular de la papa provocan respuestas frecuentes al fertilizante incluso en suelos con niveles moderados de P disponible, lo que evidencia ineficiencias en la absorción de nutrientes.

En los últimos años, las citoquininas, un grupo de fitohormonas vegetales, han sido objeto de estudio por su influencia en la división celular, el crecimiento radicular y la movilización de nutrientes dentro de la planta. Zhang et al. (2022) demostraron que la acumulación de citoquininas en hojas de papa favorece el crecimiento del cultivo bajo suministro mixto de nitrógeno, al coordinar el metabolismo del carbono y del nitrógeno. De igual modo, Abouelsaad y Brengi (2022) reportaron que la aplicación foliar de diferentes tipos y concentraciones de citoquininas incrementó el contenido de nitrógeno y potasio en hojas y

tubérculos de papa, mejorando el rendimiento y la calidad del producto final. Sin embargo, aún persiste un vacío de conocimiento sobre cómo las citoquininas afectan los procesos fisiológicos de absorción y extracción de macronutrientes en condiciones de campo, especialmente en ambientes específicos como el valle de Chancay, donde factores como el tipo de suelo, la calidad del agua de riego y el régimen térmico influyen en la eficiencia nutricional del cultivo.

## **1.2 Formulación del problema**

### **1.2.1 Problema general**

¿Cuál es el efecto de las citoquininas en la absorción y extracción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay?

### **1.2.2 Problema específicos**

- a) ¿Cómo influye el efecto de las citoquininas en la absorción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay?
- b) ¿Cómo influye el efecto de las citoquininas en la extracción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay?

## **1.3 Objetivos de la investigación**

### **1.3.1 Objetivo general**

Determinar el efecto de las citoquininas en la absorción y extracción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay

### **1.3.2 Objetivo específicos**

- a) Evaluar el efecto de las citoquininas en la absorción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay
- b) Evaluar el efecto de las citoquininas en la extracción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay

#### **1.4 Justificación de la investigación**

Los resultados de esta investigación, en caso de ser favorables, beneficiarán a los pequeños productores de papa del valle de Chancay y zonas cercanas. Así, se contribuirá con mayor información en el uso de este producto, a base de citoquininas.

#### **1.5 Delimitación de estudio**

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en el valle de Huaral, provincia de Huaral, departamento de Lima, Perú, durante los meses de junio a noviembre del 2025.

## CAPITULO II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 Antecedentes de la investigación

#### 2.1.1 Antecedentes internacionales

Barzegar et al. (2022), con la finalidad de evaluar los efectos del ácido húmico y citoquininas en el rendimiento, los atributos bioquímicos y elementos nutritivos del rábano (*Raphanus sativus* L.) cv. Sandia, implemento un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones a concentraciones de ácido húmico (0, 0.5, 1 y 1.5 kg ha<sup>-1</sup>, aplicado al suelo) y citoquininas (0, 25, 50 y 75 mg L<sup>-1</sup>, pulverizado foliar) en estaciones de primavera y otoño. Los resultados indican que hubo incremento en el número de hojas, área foliar y contenido de clorofila en ambas estaciones, diámetro de raíz, peso fresco, rendimiento, vitamina C, antocianinas, SST solo en otoño, y el contenido de macronutrientes (Mg, P, K, N y Ca) mejoro significativamente, sin embargo, a una concentración alta reduce los contenidos de nutrientes. Los autores concluyen que la temporada del cultivo influye para minimizar los efectos negativos, siendo otoño el más favorable.

Gabr et al. (2022), para evaluar el impacto del potasio, las auxinas y las citoquininas en el rendimiento y la calidad de la papa variedad Hermes, se utilizó un diseño de bloques completos al azar, con tres repeticiones en un sistema de parcelas divididas, los tratamientos: potasio (0, 40 y 80 kg K<sub>2</sub>O fad<sup>-1</sup>), NAA ácido naftalenacético (0, 5 y 10 ppm) y citoquininas de dos tipos (BAP y TDZ a 0, 10 y 20 ppm). Los resultados mostraron que las características de rendimiento y calidad tuvieron efecto significativo, los mejores niveles (80 kg K<sub>2</sub>O fad<sup>-1</sup>, 5 ppm para NAA y 10 ppm TDZ para citoquininas), las interacciones de primer orden fueron (80 kg K<sub>2</sub>O + 5 ppm NAA, 80 kg K<sub>2</sub>O + 10 ppm TDZ y 5 ppm NAA + 10 ppm TDZ). Autores concluyen que los factores individuales como sus interacciones influye significativamente la producción y calidad.

Abouelsaad y Brengi (2022), con el objetivo de determinar el efecto de los tipos y concentraciones de citoquininas en el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la papa en condiciones de campo, se estableció un diseño de bloques completos al azar con en siete tratamientos y tres repeticiones en concentraciones [6-bencilaminopurina-BAP (20 y 40 ppm), N-(2-cloro-4-piridil)-N'-fenilurea-CPPU (10 y 20 ppm) y kinetina-KN (2 y 4 ppm)]. Los autores encontraron que, BAP es la citoquinina más efectiva, aumenta el peso fresco, la

clorofila y el nitrógeno. En los tubérculos, 40 ppm de BAP mantuvo el mayor N, y todas las citoquininas aumentaron P y K sin afectar el número de tubérculos, excepto 20 ppm de BAP, mejoraron el peso y el rendimiento. CPPU y kinetina elevaron el almidón y disminuyeron azúcares. En síntesis, la selección del tipo y concentración de citoquininas optimiza parámetros importantes del rendimiento y la calidad de la papa.

Zhang et al. (2022), como objetivo de analizar la acumulación de citoquininas en las hojas promueve el crecimiento de la papa en condiciones de nitrógeno mixto mediante la coordinación del metabolismo del nitrógeno y el carbono, para ello se utilizó un diseño factorial con tratamientos combinados de forma de N (Nitrato solo y mixto 75 %/25 % nitrato/amonio) y aplicación de 6-BA. Los autores con base a los resultados indican que, el N mixto mejoró el área foliar, la fotosíntesis y el metabolismo del nitrógeno, favoreciendo el crecimiento de estolones y brotes, además de presentar un mayor transporte y síntesis de citoquininas, en comparación de la aplicación de BAP junto con nitrato que solo restauró los tratamientos con N mixto. En conclusión, el crecimiento vegetal se mejora por combinación de nitrógeno (N) mediante la coordinación del metabolismo del carbono y el N depende en gran medida de la citoquinina.

Pourfarokhi et al. (2025), con el objetivo de evaluar la aplicación foliar de hormonas auxinas y citoquininas sobre las características morfológicas, la fijación biológica de nitrógeno y el rendimiento de las variedades de caupí. Se implementó un experimento factorial de parcelas divididas con tres repeticiones en variedades (Mashhad, local y Arabi) a diferentes niveles de hormonas auxinas (0, 200 y 400 ppm) y citoquininas (0, 100 y 200 ppm). El autor, de acuerdo con los resultados, encontró que la aplicación de auxinas y citoquininas en la variedad Mashhad aumenta los porcentajes de nitrógeno, fósforo y potasio, índice de área foliar (2,7), rendimiento (2346,18 kg/ha), longitud de raíz (30,10 cm) y número de nódulos radiculares (66,08) en comparación con otras variedades, por lo que concluye que una aplicación adecuada de hormonas mejora significativamente el rendimiento y reduce la dependencia de fertilizantes químicos.

### 2.1.2 Antecedentes nacionales

Obregón (2021), con el objetivo de evaluar el efecto de citoquinina en las características nutricionales del cultivo de pepinillo (*Cucumis sativus* L.), se implementó un arreglo factorial de  $2 \times 3 + 1$  adicional, bajo un diseño de bloques completamente al azar con cuatro bloques, los factores fueron: (Cytex y Stimplex-G) a una dosis (50, 100 y 150 mL por 20 L de solución). Se consideraron variables de: número de frutos por planta, rendimiento por planta (kg), rendimiento ( $t\ ha^{-1}$ ), longitud del fruto (cm), diámetro ecuatorial del fruto (mm), diámetro de la pulpa (mm), contenido de N (%), contenido de P (%) y contenido de K (%). El autor conforme los resultados indica que, el tratamiento factorial superó al testigo en todas las variables evaluadas y no hubo interacciones significativas entre la fuente y dosis de citoquininas. Stimplex-G presentó mayor contenido de P (0,12 %) y K 2,02 %), mayor rendimiento ( $34,37\ t\ ha^{-1}$ ) y mayor diámetro de pulpa (40,48 mm), superando a Cytex. Las dosis de 150 mL y 100 mL incrementaron P, K, el diámetro ecuatorial, el número de frutos y el rendimiento total. En conclusión, La aplicación de citoquininas mejoró significativamente las características nutricionales del pepinillo.

Goñy y Casas (2021), con el objetivo de determinar la extracción de macronutrientes en pimiento páprika cv. Papri, se empleó un diseño experimental de DBCA, con cuatro tratamientos y bloques, los tratamientos fueron: cuatro niveles de fertilización ( $kg\ ha^{-1}$  de NPK): 0-0-0, 200-100-200, 250-150-250, 300-200-300. Se evaluó el rendimiento de frutos frescos, la acumulación periódica de la materia seca y la extracción de nutrientes. Los autores de acuerdo con los resultados encontraron que, la materia seca total aumentó constante, siendo el tallo el principal órgano de acumulación. El tratamiento T4 (300–200–300) mostró la mayor extracción de nutrientes (N: 11,31; P: 1,26; K: 15,06; Ca:8,71; Mg: 2,30; S: 2,72  $kg\ ha^{-1}$ ) y el mejor rendimiento. La absorción fue importante desde el inicio, alcanzando N, K y P su máximo a los 112 días, y Ca, S y Mg a los 147 días.

Antaurco et al. (2019), en su investigación determino los niveles de citoquinina y su efecto sobre la producción de caigua (*Cyclanthera pedata* L.), para ello se empleó el diseño experimental de bloque completamente al azar con 5 tratamientos y 4 repeticiones. Los tratamientos consistieron en dosis; 50, 100, 150 y 200 ml/200 L de agua y un testigo. Se evaluaron las características físicas, químicas y análisis económico. Los resultados muestran que, la dosis de 100 mL de citoquinina por 200 L obtuvo mejores resultados productivos, destacando el número de frutos, peso por planta, peso de fruto y rendimiento comercial, por

otro lado, el análisis químico mostró baja concentración de potasio, pero niveles normales de macronutrientes, económicamente, fue la dosis más rentable, alcanzando una utilidad de S/ 11 695.

Shuan y Urteaga (2023), en su estudio analizo el efecto de diferentes fuentes y dosis de citoquininas en el rendimiento de *Capsicum annuum* L. “pimiento”, para tal fin utilizo el diseño de bloques completo al azar con arreglo factorial de 2A (dos fuentes de citoquininas: Trigr foliar e Incentive) x 3B (dosis de 100, 150 y 200ml ha<sup>-1</sup>) con siete tratamientos y tres repeticiones. Se evaluaron: altura de planta, diámetro de fruto, número de frutos por planta, peso del fruto, peso de frutos por planta y rendimiento. El autor reporta que la citoquinina Incentive y la dosis de 200 mL ha<sup>-1</sup> registro los valores más altos en todas las variables, destacando en altura de planta, diámetros ecuatorial y polar, número de frutos, peso de fruto, peso por planta y rendimiento, alcanzando hasta 43,67 t ha<sup>-1</sup>. En su conclusión las diferentes fuentes y dosis de citoquininas presentaron mayor efecto significativo en el rendimiento de pimiento.

Sinche (2022), en Arequipa, investigo el efecto de la aplicación de reguladores de crecimiento en el cuajado, calibre y sólidos solubles totales de frutos de tomate cherry “*solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*”, implemento un Diseño Completamente al Azar (DCA) con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Los tratamientos consistieron en auxinas, giberelinas y citoquininas, 500; 2000 y 2000 ppm. El autor encontró que el tratamiento T4 (auxinas + giberelinas + citoquininas) obtuvo los mejores resultados, logrando el mayor cuajado (98,5 %), calibre de fruto (29,5 mm) y un nivel de sólidos solubles 5,88 °Brix. Se concluye que la combinación de auxinas, giberelinas y citoquininas mejoró significativamente las características de los frutos de tomate.

## **2.2 Bases teóricas**

### **2.2.1 Generalidades del cultivo de la papa**

#### **Origen**

La papa (*Solanum tuberosum* L.) es originaria de los Andes centrales. Hawkes afirma que “la domesticación de la papa ocurrió en la región comprendida entre el sur del Perú y el noroeste de Bolivia” (Hawkes, 1990, p. 27). De acuerdo con Caballero (2002), “la papa fue

uno de los primeros cultivos domesticados por las civilizaciones andinas hace más de 7 000 años” (p. 14).

## **Taxonomía**

Según FAO (2023), indica que la clasificación la papa es el siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Solanales

Familia: Solanáceas

Género: Solanum

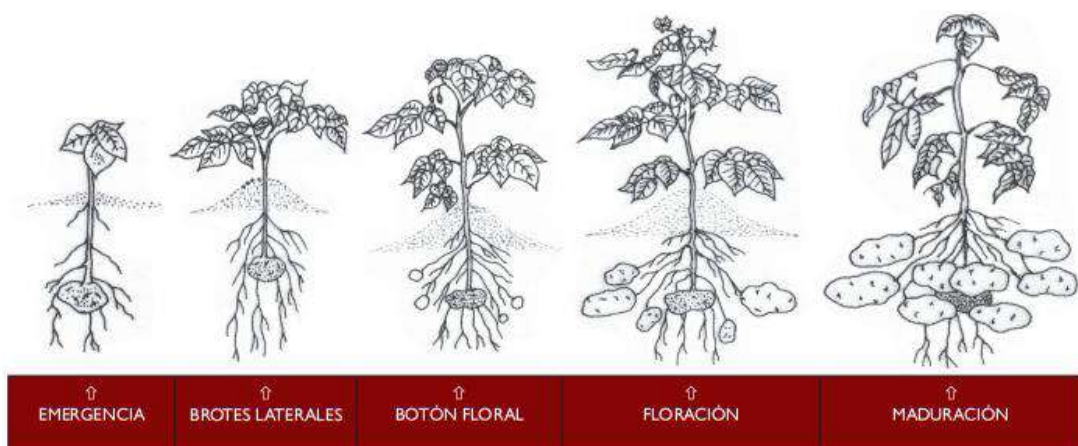
Especie: *Solanum tuberosum* L.

## **Fenología del cultivo**

El SENAMHI (2022) señala la siguiente fenología del cultivo de papa:

- Emergencia: Aparición de las primeras hojas sobre la superficie
- Brotes Laterales: Los primeros dan lugar a la formación del follaje y los segundos al rizoma
- Boton Floral: Aparición de los primeros botones florales
- Floración: Abertura de las primeras flores
- Maduración: Se observa el cambio de color de hoja, se inspecciona la base de las plantas para verificar si la piel de la papa esta bien adherida y no se desprenda

**Figura 1.** Fases fenológicas del cultivo de papa.



## **Requerimientos agroecológicos**

### **Clima**

La papa se adapta a climas templados y fríos, desarrollándose mejor en temperaturas moderadas. Según Gómez & Flores (2013), “el cultivo de papa prospera en temperaturas entre 15 y 20 °C, mientras que temperaturas mayores a 25 °C reducen significativamente la tuberización” (p. 56). De acuerdo con Burton (1966), “la tuberización es óptima en condiciones de noches frescas y días templados” (p. 115).

### **Suelo**

Según el Manual de producción de papa del CIP, “los mejores suelos para papa son suelos sueltos, bien drenados, de textura franca o franco-arenosa y con pH entre 5.5 y 6.5” (Centro Internacional de la Papa, 2010, p. 33). Hawkes (1990) agrega que la papa “es altamente susceptible al anegamiento debido a su sistema radical poco profundo” (p. 121).

### **Agua**

El cultivo tiene alta demanda hídrica. Según Doorenbos & Kassam (1979), “la papa requiere entre 500 y 700 mm de agua bien distribuida durante su ciclo” (p. 102). Además, el CIP indica que “déficits hídricos durante la tuberización afectan severamente el rendimiento y el tamaño de los tubérculos” (CIP, 2010, p. 44).

## **2.2.2 Rol de los macronutrientes**

### **Nitrógeno**

El nitrógeno es esencial para proteínas, enzimas y clorofila. Según Westermann (2005), “el nitrógeno es el principal nutriente limitante en papa y determina el crecimiento vegetativo y el rendimiento” (p. 39). Sin embargo, el exceso es perjudicial: “altas dosis de N retrasan la madurez y reducen la calidad de los tubérculos” (Westermann, 2005, p. 82).

### **Fósforo**

El fósforo participa en energía (ATP), desarrollo radicular y tuberización temprana. Mengel & Kirkby (2012) señalan que “el fósforo es necesario para el establecimiento temprano de la planta y su deficiencia reduce la formación de tubérculos” (p. 321). Según Westermann

(2005), “la disponibilidad de P en etapas iniciales es crítica para el rendimiento final” (p. 93).

### **Potasio**

El potasio regula apertura estomática, transporte de carbohidratos y calidad. Marschner (2011) afirma que “el potasio es esencial para la movilización de azúcares hacia los tubérculos” (p. 245). Westermann (2005) indica que “altas concentraciones de K mejoran firmeza, contenido de materia seca y resistencia al estrés hídrico” (p. 107).

### **Calcio**

El calcio fortalece paredes celulares y evita desórdenes fisiológicos. Kirkby & Pilbeam (1984) señalan que “el calcio es fundamental en la integridad de membranas y paredes celulares, influyendo en la calidad del tubérculo” (p. 95). En papa, su deficiencia está asociada a “pudriciones internas y mala calidad de almacenamiento” (CIP, 2010, p. 55).

### **Magnesio**

El magnesio es el elemento central de la clorofila. Mengel & Kirkby (2012) explican que “la deficiencia de magnesio reduce la fotosíntesis y la translocación de carbohidratos hacia los tubérculos” (p. 432).

### **Azufre**

Interviene en síntesis de aminoácidos sulfurados y proteínas. Marschner (2011) indica: “la deficiencia de azufre provoca clorosis similar a la del nitrógeno, pero afecta más la calidad proteica” (p. 256). Según Tisdale et al. (1993), “el azufre complementa el efecto del nitrógeno en la formación de proteínas” (p. 186).

## **2.2.3 Rol de las citoquininas en la fisiología vegetal**

Las citoquininas son un grupo de fitohormonas derivadas de la adenina que desempeñan un papel fundamental en la regulación del crecimiento, desarrollo y metabolismo de las plantas. Estas hormonas fueron identificadas inicialmente por su capacidad de inducir la división celular (citocinesis), pero investigaciones posteriores han demostrado que participan en una amplia gama de procesos fisiológicos esenciales (Taiz, Zeiger, Møller & Murphy, 2015).

Una de las funciones principales de las citoquininas es la estimulación de la división celular en tejidos meristemáticos, lo cual influye directamente en el crecimiento de órganos vegetativos y reproductivos. Además, estas hormonas promueven la formación de brotes laterales al contrarrestar el efecto de la dominancia apical ejercida por las auxinas, regulando así la arquitectura de la planta (Sakakibara, 2006).

Asimismo, las citoquininas cumplen un rol clave en el retraso de la senescencia foliar, manteniendo la integridad de la clorofila y prolongando la actividad fotosintética. Este efecto, conocido como “stay-green”, contribuye a una mayor acumulación de biomasa y mejora el rendimiento de los cultivos (Gan & Amasino, 1995; Zwack & Rashotte, 2015).

En términos fisiológicos, estas fitohormonas también están involucradas en la regulación del metabolismo del nitrógeno, actuando como señales que integran la disponibilidad de nutrientes con el crecimiento vegetal. Sakakibara et al. (2006) señalan que las citoquininas son sintetizadas principalmente en las raíces y transportadas hacia la parte aérea, donde regulan la expresión de genes relacionados con la asimilación de nitrógeno. En este sentido, Kiba et al. (2011) destacan que estas hormonas participan en la señalización sistémica que coordina la absorción de nitratos en función de la demanda metabólica de la planta.

Por otro lado, las citoquininas influyen en la movilización y redistribución de nutrientes dentro de la planta, favoreciendo el transporte hacia órganos en crecimiento o de almacenamiento, como los tubérculos en el cultivo de papa. Werner et al. (2003) demostraron que niveles elevados de citoquininas incrementan la eficiencia en el uso del nitrógeno, lo que se traduce en un mejor crecimiento y desarrollo vegetal.

De igual manera, estas hormonas interactúan con otros reguladores de crecimiento, como auxinas y giberelinas, generando un equilibrio hormonal que determina procesos clave como la formación de raíces, el desarrollo de brotes y la diferenciación celular (Aloni et al., 2006). Esta interacción hormonal es fundamental para optimizar la absorción de nutrientes y la adaptación de la planta a diferentes condiciones ambientales.

En el contexto agrícola, el uso exógeno de citoquininas ha demostrado efectos positivos en diversos cultivos, tales como el incremento del rendimiento, la mejora de la calidad del producto y una mayor eficiencia en la utilización de nutrientes (Davies, 2010). En particular,

su aplicación foliar ha sido asociada con un aumento en la actividad fotosintética, la acumulación de biomasa y la movilización de asimilados hacia órganos de reserva.

En síntesis, las citoquininas actúan como reguladores clave que integran procesos de crecimiento, nutrición y metabolismo, desempeñando un papel determinante en la productividad de los cultivos, especialmente en aquellos donde la acumulación de reservas, como en el caso de la papa, constituye el principal objetivo agronómico.

## **2.2.4 Interacción de las citoquininas con la nutrición mineral**

Las citoquininas desempeñan un papel fundamental en la regulación de la nutrición mineral de las plantas, actuando como moléculas señalizadoras que integran la disponibilidad de nutrientes en el suelo con los procesos fisiológicos de crecimiento y desarrollo. Estas fitohormonas participan activamente en la absorción, transporte, redistribución y utilización de nutrientes, especialmente macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) (Sakakibara, 2006).

Uno de los principales mecanismos mediante los cuales las citoquininas influyen en la nutrición vegetal es la regulación del metabolismo del nitrógeno. Estas hormonas están estrechamente relacionadas con la absorción de nitratos y su posterior asimilación en la planta. Según Kiba et al. (2011), las citoquininas actúan como señales sistémicas que comunican el estado nutricional desde las raíces hacia la parte aérea, ajustando la expresión de genes involucrados en el transporte y reducción de nitratos. Asimismo, Ruffel et al. (2011) señalan que las citoquininas regulan la respuesta de la planta a la disponibilidad de nitrógeno, modulando el crecimiento radicular y la absorción de este nutriente.

En relación con el fósforo, las citoquininas también desempeñan un rol importante en la adaptación a condiciones de deficiencia nutricional. Estudios han demostrado que niveles elevados de citoquininas pueden reducir la expresión de genes asociados a la respuesta de deficiencia de fósforo, lo que indica su participación en la regulación del equilibrio interno de este nutriente (Zorrilla et al., 2002). De igual manera, estas hormonas influyen en la arquitectura radicular, afectando indirectamente la capacidad de exploración del suelo y, por tanto, la absorción de fósforo.

En cuanto al potasio, aunque su regulación hormonal ha sido menos estudiada en comparación con el nitrógeno, se ha evidenciado que las citoquininas influyen en el

transporte de solutos y en la actividad estomática, procesos estrechamente relacionados con la absorción y uso eficiente de este nutriente (Marschner, 2011). El potasio, al ser un elemento clave en la regulación osmótica, se ve favorecido por la acción de las citoquininas al mejorar la actividad fisiológica general de la planta.

Otro aspecto relevante es la participación de las citoquininas en la movilización y redistribución interna de nutrientes, especialmente a través del floema. Estas hormonas promueven el transporte de nutrientes desde órganos fuente (hojas maduras) hacia órganos sumidero (raíces, frutos o tubérculos), optimizando así la asignación de recursos dentro de la planta (Werner & Schmülling, 2009). Este proceso es particularmente importante en cultivos como la papa, donde el rendimiento depende de la acumulación de nutrientes en los tubérculos.

Además, las citoquininas contribuyen a mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes (EUN), al prolongar la actividad fotosintética y favorecer la síntesis de compuestos orgánicos. Según Eamus et al. (2008), plantas con niveles adecuados de citoquininas presentan una mayor eficiencia en la utilización del nitrógeno, lo que se traduce en un crecimiento más vigoroso y una mayor producción de biomasa.

Por otro lado, la interacción de las citoquininas con otros reguladores hormonales, como auxinas y ácido abscísico, permite una regulación más compleja de la nutrición mineral. Bishopp et al. (2011) destacan que la interacción entre citoquininas y auxinas es clave para determinar la distribución de nutrientes y el desarrollo del sistema vascular, lo cual influye directamente en la eficiencia del transporte interno de nutrientes.

En el ámbito agronómico, la aplicación exógena de citoquininas ha mostrado efectos positivos en la absorción y acumulación de nutrientes en diversos cultivos. Davies (2010) señala que estas hormonas pueden incrementar la eficiencia fisiológica de las plantas, mejorando tanto la absorción como la redistribución de nutrientes, lo que se refleja en un mayor rendimiento y calidad de la producción.

En síntesis, las citoquininas actúan como reguladores integrales de la nutrición mineral, coordinando procesos de absorción, transporte y utilización de nutrientes, lo cual resulta fundamental para optimizar el crecimiento y rendimiento de los cultivos, especialmente en sistemas agrícolas donde la eficiencia nutricional es un factor limitante.

### **2.2.5 Extracción y remoción de nutrientes en el cultivo de papa**

La extracción y remoción de nutrientes en el cultivo de papa constituyen procesos fundamentales para comprender la dinámica de la fertilidad del suelo y la eficiencia del manejo nutricional. La extracción de nutrientes se refiere a la cantidad total de elementos minerales absorbidos y acumulados por la planta durante su ciclo de crecimiento, mientras que la remoción corresponde a la fracción de dichos nutrientes que es retirada del sistema agrícola a través de la cosecha, principalmente en los tubérculos (Marschner, 2011).

El cultivo de la papa es altamente demandante en nutrientes, especialmente macronutrientes como nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K). Según el Centro Internacional de la Papa (CIP, 2010), el potasio es el nutriente más extraído, seguido por el nitrógeno, debido a su papel en la regulación osmótica, transporte de carbohidratos y formación de tubérculos. De acuerdo con Westermann (2005), la papa puede extraer entre 150 y 300 kg ha<sup>-1</sup> de K, 100 a 180 kg ha<sup>-1</sup> de N y 20 a 40 kg ha<sup>-1</sup> de P, dependiendo del rendimiento y las condiciones del cultivo.

La dinámica de extracción de nutrientes está estrechamente relacionada con las fases fenológicas del cultivo. Durante las primeras etapas de crecimiento, la absorción de nutrientes es relativamente baja; sin embargo, se incrementa significativamente durante la fase de tuberización y llenado de tubérculos, donde se concentra la mayor demanda nutricional (Harris, 2012). En este sentido, Greenwood et al. (1990) señalan que la tasa de absorción de nutrientes en papa sigue un patrón sigmoideal, con un rápido incremento en la etapa de crecimiento activo.

En cuanto a la distribución interna de nutrientes, estudios han demostrado que una proporción considerable de los macronutrientes absorbidos es movilizadas hacia los tubérculos, los cuales actúan como órganos de almacenamiento. Según Mengel y Kirkby (2012), aproximadamente entre el 60 % y 80 % del nitrógeno total absorbido puede ser translocado hacia los tubérculos al momento de la cosecha. De manera similar, el potasio presenta una alta movilidad dentro de la planta, acumulándose en gran proporción en los órganos de reserva.

La remoción de nutrientes a través de la cosecha tiene implicancias importantes para la sostenibilidad del sistema agrícola. Cuando los tubérculos son extraídos del campo, se

elimina una cantidad significativa de nutrientes, lo que puede conducir al agotamiento del suelo si no se implementan prácticas adecuadas de fertilización (Fageria, 2009). En este contexto, la reposición de nutrientes mediante fertilización racional es esencial para mantener la productividad del cultivo.

Además, la eficiencia en la extracción de nutrientes depende de diversos factores, tales como:

- Tipo de suelo
- Disponibilidad de agua
- Manejo de fertilización
- Variedad cultivada
- Interacción con fitohormonas

En particular, estudios recientes han evidenciado que el uso de bioestimulantes como las citoquininas puede influir en la eficiencia de absorción y redistribución de nutrientes, mejorando la capacidad del cultivo para aprovechar los recursos disponibles (Kiba et al., 2011; Werner & Schmülling, 2009).

Por otro lado, la cuantificación de la extracción de nutrientes permite establecer balances nutricionales, los cuales son herramientas clave para el manejo agronómico. Según Dobermann y Fairhurst (2000), el balance de nutrientes (entrada vs. salida) es esencial para diseñar programas de fertilización eficientes y sostenibles, evitando tanto deficiencias como excesos que puedan afectar el rendimiento y el ambiente.

En sistemas intensivos de producción de papa, la alta extracción de nutrientes requiere un manejo cuidadoso para evitar pérdidas por lixiviación o desequilibrios nutricionales. En este sentido, Havlin et al. (2014) destacan la importancia de sincronizar la disponibilidad de nutrientes con la demanda del cultivo, especialmente en etapas críticas como la tuberización.

En síntesis, la extracción y remoción de nutrientes en el cultivo de papa son procesos complejos que dependen de factores fisiológicos, ambientales y de manejo agronómico. Su comprensión es fundamental para optimizar la fertilización, mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes y garantizar la sostenibilidad de los sistemas de producción.

## **2.2.6 Descripción de los productos comerciales usados en la investigación**

### **Cythor**

Cythor es un bioestimulante agrícola formulado a base de citoquininas (6-benzylaminopurine, 12,0 g/L), diseñado para promover el crecimiento y desarrollo vegetal mediante la estimulación de procesos fisiológicos clave. Este producto actúa principalmente sobre la división celular, favoreciendo el desarrollo de tejidos vegetativos y reproductivos.

Su aplicación, generalmente vía foliar, permite una rápida absorción por la planta, estimulando la actividad metabólica y mejorando la eficiencia en el uso de nutrientes. Entre sus principales efectos fisiológicos se destacan:

- Estimulación de la división celular (citocinesis)
- Promoción del crecimiento de brotes laterales
- Retraso de la senescencia foliar
- Incremento de la actividad fotosintética
- Mejora en la movilización de nutrientes

Asimismo, Cythor contribuye a optimizar el equilibrio hormonal de la planta, favoreciendo la interacción entre citoquininas y otras fitohormonas como auxinas y giberelinas. Esto permite una mejor regulación del crecimiento vegetal y una mayor adaptación a condiciones ambientales adversas.

En cultivos como la papa, su uso está asociado con una mejor formación y desarrollo de tubérculos, debido a su efecto en la división celular y en la redistribución de asimilados hacia órganos de reserva.

### **Triggrr foliar**

Triggrr foliar es un bioestimulante de aplicación foliar que contiene citoquininas (como kinetina, 0,132 g/L) combinadas con otros compuestos orgánicos, como extractos vegetales, aminoácidos o nutrientes, dependiendo de su formulación comercial. Este producto está orientado a mejorar la eficiencia fisiológica de la planta y potenciar su rendimiento productivo.

Su mecanismo de acción se basa en la estimulación de procesos metabólicos y fisiológicos que favorecen el crecimiento vegetal y la absorción de nutrientes. Entre sus principales beneficios se encuentran:

- Incremento de la actividad fotosintética
- Mejora en la absorción y transporte de nutrientes
- Estimulación del crecimiento vegetativo
- Mayor tolerancia al estrés abiótico (sequía, temperatura, etc.)
- Favorecimiento de la formación y llenado de órganos de reserva

A diferencia de otros reguladores de crecimiento, Triggrr foliar actúa como un bioestimulante integral, ya que no solo aporta fitohormonas, sino que también mejora el estado fisiológico general de la planta.

En el cultivo de papa, su aplicación puede contribuir a una mayor eficiencia en la absorción de macronutrientes y a una mejor acumulación de biomasa en los tubérculos, lo que se traduce en incrementos en el rendimiento y calidad del cultivo.

### **2.3 Definición de términos básicos**

**Citoquinina:** Son fitohormonas provenientes de adenina que regulan la división celular, la formación de brotes, adaptación al estrés, la nutrición y movilización de elementos dentro de la planta (Prasad, 2022).

**Absorción de nutrientes:** Es el proceso fisiológico por el cual las raíces captan iones y compuestos del suelo mediante mecanismos activos y pasivos, para su transporte y asimilación en tejidos de la planta (Fan et al., 2021).

**Extracción de nutrientes:** Se define como la cantidad de nutrientes que el cultivo retira del suelo y que queda fuera del sistema agrícola en la cosecha, estimada a partir del contenido de nutrientes en la biomasa cosechada (Djaman et al., 2024).

**Papa:** Es un tubérculo, planta herbácea perenne cultivada como anual, de crecimiento erecto y ramificado, perteneciente a la familia de las solanáceas.

**Características nutricionales:** Se refiere a la proporción de macronutrientes (carbohidratos, proteínas, lípidos) y micronutrientes (minerales, vitaminas) presentes en la planta que son fundamentales para su desarrollo (Zarzecka et al., 2024).

**Dosis:** Es la cantidad de un producto o ingrediente activo que hay que administrar para producir el efecto deseado en el cultivo

**Análisis foliar:** Es la técnica que consiste en determinar la concentración de nutrientes en tejidos foliares con el fin de diagnosticar su estado nutricional, identificar deficiencias o excesos de nutrientes y orientar decisiones de fertilización (Ishfaq et al., 2022).

**Rendimiento:** Es la cantidad total de producto agrícola cosechado por unidad de superficie de tierra cultivada, usualmente expresada en kilogramos o toneladas por hectárea (Nyéki y Neményi, 2022).

**Análisis de Varianza:** Es una técnica estadística para comparar las medias de varios tratamientos y determinar si las diferencias observadas son significativas (Nascimento, 2024).

## **2.4 Hipótesis de la investigación**

### **2.4.1 Hipótesis general**

A partir del efecto de las citoquininas mejora la absorción y extracción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay

### **2.4.2 Hipótesis específicas**

- a) Como resultado del efecto de las citoquininas se mejora la absorción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay
- b) Como resultado del efecto de las citoquininas se mejora la extracción de macronutrientes en el cultivo de papa en condiciones del valle de Chancay

## 2.5 Operacionalización de las variables

**Tabla 1.**

*Operacionalización de la variable*

| Concepto        | Dimensión                            | Variables | Indicadores |
|-----------------|--------------------------------------|-----------|-------------|
| Cultivo de papa | Absorción y extracción de nutrientes | N         | g, %        |
|                 |                                      | P         | g, %        |
|                 |                                      | K         | g, %        |
|                 |                                      | Ca        | g, %        |
|                 |                                      | Mg        | g, %        |
|                 |                                      | S         | g, %        |

## CAPITULO III. METODOLOGÍA

### 3.1 Diseño metodológico

#### 3.1.1 Ubicación

El experimento se realizó en el distrito de Huaral, ubicado en Jecuán con coordenadas de Latitud: 11°28'56.09748, Longitud: 77°15'18.21708 a una altura de 117 msnm, durante los meses de junio a noviembre del 2025.

#### 3.1.2 Características del área experimental

##### Características de la unidad experimental

|                              |                      |
|------------------------------|----------------------|
| Distanciamiento entre surco: | 0,90 m               |
| Distanciamiento entre golpe: | 0,30 m               |
| Número de plantas por surco: | 15,0                 |
| Número de surcos:            | 4,0                  |
| Longitud:                    | 4,5 m                |
| Ancho:                       | 3,6 m                |
| Área:                        | 16,20 m <sup>2</sup> |

##### Características del Bloque:

|                     |                      |
|---------------------|----------------------|
| Número de bloque:   | 3,0                  |
| Longitud de bloque: | 21,60 m              |
| Ancho de bloque:    | 4,5 m <sup>2</sup>   |
| Área de bloque:     | 97,20 m <sup>2</sup> |

##### Área Experimental

|                            |                       |
|----------------------------|-----------------------|
| Área neta del experimento: | 291,60 m <sup>2</sup> |
|----------------------------|-----------------------|

### Croquis del área experimental

|            |    |    |    |    |    |    |
|------------|----|----|----|----|----|----|
| Bloque I   | T1 | T2 | T3 | T4 | T5 | T6 |
| Bloque II  | T5 | T4 | T6 | T2 | T1 | T3 |
| Bloque III | T3 | T1 | T2 | T6 | T4 | T5 |

### 3.1.3 Tratamientos

**Tabla 2.**

*Tratamientos con diferentes dosis de citoquininas*

| Clave | Producto       | mL por cilindro |
|-------|----------------|-----------------|
| T1    | Cythor         | 200             |
| T2    | Cythor         | 400             |
| T3    | Cythor         | 600             |
| T4    | Triggrr foliar | 200             |
| T5    | Triggrr foliar | 400             |
| T6    | Triggrr foliar | 600             |

Fuente: Elaboración propia

### 3.1.4 Diseño experimental

Se utilizó el Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) con arreglo factorial de 2 x 3 y tres repeticiones. El primer factor correspondió a las fuentes de citoquininas (Cythor y Triggrr foliar); y el segundo factor, a las dosis (200, 400 y 600 mL por cilindro).

El esquema de análisis de varianza se muestra en la Tabla 2. Para la comparación de los promedios se aplicó la prueba de comparación múltiple de Tukey con una probabilidad del 5%.

**Tabla 3.**  
*Análisis de varianza*

| Fuente de Variación | GL | SC        | CM        | Fcalc.           |
|---------------------|----|-----------|-----------|------------------|
| Bloque              | 2  | SCBloq    | CMBloq    | CMBloq/ CMErr    |
| Fuentes (F)         | 1  | SCFuen    | CMFuen    | CMFuen/ CMErr    |
| Dosis (D)           | 2  | SCDos     | CMDos     | CMDos/ CMErr     |
| Interacc FxD        | 2  | SCInt FxD | CMInt FxD | CMInt FxD/ CMErr |
| Error               | 10 | SCErr     | CMErr     |                  |
| Total               | 17 | SCtotal   | -         |                  |

### 3.1.5 Variables a evaluar

La evaluación de las características se realizó al inicio de la cosecha. Para ello, se eligieron al azar 10 tubérculos de los dos surcos centrales. Estas muestras fueron enviadas al Laboratorio de Análisis foliar de la Universidad Nacional Agraria La Molina, para determinar el contenido de los siguientes nutrientes:

- a) N
- b) P
- c) K
- d) Ca
- e) Mg
- f) S

### 3.1.6 Conducción del experimento

**Preparación de terreno:** Se realizó un riego de machaco. Una semana después, cuando el terreno estuvo a punto, se procedió a la preparación del terreno que consistió en aradura, arrastre, gradeo y surcado. La distancia entre los surcos fue de 0,90 m.

**Siembra:** Antes de proceder a la siembra, los tubérculos de papa de la variedad Unica fueron desinfectados en una solución de benomil al 2%. Posteriormente, se sembraron a cada 30 cm colocándose un tubérculo en cada golpe de siembra.

**Fertilización:** Junto a la siembra, se aplicó el primer abonamiento que consistió en la fórmula 100-100-100 kg ha<sup>-1</sup> de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O. Las fuentes usadas fueron: Urea, fosfato diamónico y cloruro de potasio. A los 60 días después de la siembra, se aplicó el segundo abonamiento que consistió en la fórmula 150-00-00 de N-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>-K<sub>2</sub>O.

**Riegos:** El riego se aplicó bajo el sistema por gravedad. El primer riego se realizó cuando se observaron brotamiento, aproximadamente a los 40 días después de la siembra. Luego los riegos fueron constantes, para mantener la humedad en el suelo.

**Control de malezas:** Se realizaron deshierbos manuales cuando se observaron la presencia de las mismas.

**Aplicación de tratamientos:** Se realizaron dos aplicaciones, la primera a los 50 días después de la siembra y la segunda, a los 60 días después de la siembra.

**Aplicaciones fitosanitarias:** Previo a las aplicaciones de los productos fitosanitarios, se realizaron evaluaciones de la presencia de las plagas y enfermedades. La plaga predominante fue la mosca minadora.

### 3.2 Técnicas para el procesamiento de la información

Para el procesamiento de los datos proveniente de los resultados del análisis foliar, se utilizó Excel y el Programa SISVAR. Se aplicaron las técnicas de análisis de la variancia y posteriormente se realizó las comparaciones de medias entre tratamientos mediante la prueba de Tukey con un margen de error de  $\alpha = 0.05$ .

## CAPITULO IV. RESULTADOS

### 4.1 Concentración de los macronutrientes en los tubérculos

#### 4.1.1 Nitrógeno

El análisis de varianza presentado en la Tabla 4 para la concentración de nitrógeno indica que ninguno de los factores evaluados ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre dicha variable. En efecto, tanto el factor fuente de citoquininas, como la dosis aplicada y su interacción, presentan valores de probabilidad mayores a 0,05, lo que evidencia la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Asimismo, el efecto de los bloques tampoco resultó significativo, lo que sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una baja influencia de la variabilidad ambiental dentro del área de estudio.

El coeficiente de variación fue de 19,02 %, lo que indica una variabilidad moderada en los datos experimentales, lo cual es aceptable en estudios de campo, aunque refleja cierta dispersión que podría haber contribuido a la falta de significancia estadística. El valor promedio de la concentración de nitrógeno fue de 0,867 %, que representa el nivel general de concentración en los tubérculos, sin evidenciar diferencias atribuibles a los tratamientos.

**Tabla4**

*Análisis de varianza para la concentración de nitrógeno*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 0,03988           | 0,020            | 0,732  | 0,505 ns |
| Fuente                  | 1                  | 0,00109           | 0,001            | 0,040  | 0,845 ns |
| Dosis                   | 2                  | 0,06234           | 0,031            | 1,144  | 0,356 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 0,11921           | 0,060            | 2,188  | 0,162 ns |
| Error                   | 10                 | 0,27239           | 0,027            |        |          |
| Total                   | 17                 | 0,49491           |                  |        |          |
| CV:                     | 19,02              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 0,867              |                   |                  |        |          |

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% complementa los resultados del análisis de varianza, confirmando la ausencia de diferencias significativas en la concentración de nitrógeno tanto entre fuentes de citoquininas como entre dosis aplicadas.

Con relación al factor fuente (Tabla 5), se observa que el tratamiento con Triggrr presentó una media ligeramente superior (0,875 %) en comparación con Cythor (0,860 %). Sin embargo, estadísticamente no existen diferencias significativas entre ellas ( $p > 0,05$ ). Este resultado corrobora que el tipo de citoquinina empleada no influyó de manera diferenciada en la concentración de nitrógeno en los tubérculos, sugiriendo un comportamiento fisiológico similar del cultivo frente a ambas fuentes hormonales.

**Tabla5**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente  | N (%)   |
|---------|---------|
| Triggrr | 0,875 a |
| Cythor  | 0,860 a |

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

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 6), se evidencia una tendencia decreciente en la concentración de nitrógeno a medida que se incrementa la dosis: 200 mL (0,935 %), 400 mL (0,876 %) y 600 mL (0,791 %). No obstante, al igual que en el caso anterior, las diferencias numéricas no son estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). Esto implica que, aunque existe una aparente reducción del contenido de nitrógeno con dosis mayores, dicha variación no es suficiente para atribuir un efecto real de las citoquininas sobre esta variable.

**Tabla6**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis (mL Cil <sup>-1</sup> ) | N (%)   |
|-------------------------------|---------|
| 200                           | 0,935 a |
| 400                           | 0,876 a |
| 600                           | 0,791 a |

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

#### 4.1.2 Fósforo

El análisis de varianza presentado en la Tabla 7 para la concentración de fósforo indica que ninguno de los factores evaluados ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre esta variable. En efecto, tanto el factor fuente, como la dosis aplicada y la interacción fuente  $\times$  dosis presentan valores de probabilidad mayores a 0,05, lo que evidencia la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. De igual manera, el efecto de los bloques tampoco resultó significativo, lo que sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una baja influencia de la variabilidad ambiental dentro del área de estudio.

El coeficiente de variación fue de 15,27 %, lo que indica una variabilidad moderada en los datos experimentales, considerada aceptable en este tipo de ensayos. Este nivel de dispersión sugiere una adecuada precisión experimental, aunque podría haber influido en la no detección de diferencias significativas entre tratamientos. El valor promedio de la concentración de fósforo fue de 0,147%, el cual representa el nivel general de fósforo observado en las muestras analizadas, sin evidenciar efectos atribuibles a los factores en estudio.

**Tabla7**

*Análisis de varianza para la concentración de fósforo*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 0,00381           | 0,002            | 3,769  | 0,060 ns |
| Fuente                  | 1                  | 0,00014           | 0,000            | 0,275  | 0,611 ns |
| Dosis                   | 2                  | 0,00028           | 0,000            | 0,275  | 0,765 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 0,00348           | 0,002            | 3,439  | 0,073 ns |
| Error                   | 10                 | 0,00506           | 0,001            |        |          |
| Total                   | 17                 | 0,01276           |                  |        |          |
| CV:                     | 15,27              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 0,147              |                   |                  |        |          |

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% complementa los resultados del análisis de varianza, permitiendo evaluar las diferencias en la concentración de fósforo (P) entre las fuentes estudiadas.

Con relación al factor fuente (Tabla 8), se observa que el tratamiento con Triggrr presentó una media ligeramente inferior (0,144 %) en comparación con Cythor (0,150 %). Sin embargo, ambas medias comparten la misma letra (a), lo que indica que no existen

diferencias estadísticas significativas entre ellas ( $p > 0,05$ ). Este resultado sugiere que el tipo de fuente de citoquinina utilizada no tuvo un efecto diferenciado sobre la concentración de fósforo en el cultivo, evidenciando una respuesta fisiológica similar frente a ambos tratamientos.

**Tabla8**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente  | P (%)   |
|---------|---------|
| Cythor  | 0,150 a |
| Triggrr | 0,144 a |

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

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 9), se evidencia una ligera tendencia decreciente en el contenido de fósforo (P) a medida que se incrementa la dosis: 200 mL (0,150 %), 400 mL (0,150 %) y 600 mL (0,141 %). No obstante, al igual que en el caso anterior, las diferencias numéricas no son estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). Esto implica que, aunque existe una leve reducción del contenido de fósforo con dosis mayores, dicha variación no es suficiente para atribuir un efecto real del tratamiento sobre esta variable.

**Tabla9**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis (mL Cil <sup>-1</sup> ) | P (%)   |
|-------------------------------|---------|
| 400                           | 0,150 a |
| 200                           | 0,150 a |
| 600                           | 0,141 a |

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

#### 4.1.3 Potasio

El análisis de varianza presentado en la Tabla 10 para la concentración de potasio indica que ninguno de los factores evaluados ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre esta variable. En efecto, tanto el factor fuente, como la dosis aplicada y la interacción fuente  $\times$  dosis presentan valores de probabilidad mayores a 0,05, lo que evidencia la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Asimismo, el efecto de los bloques tampoco resultó significativo, lo que sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una baja influencia de la variabilidad ambiental dentro del área experimental.

El coeficiente de variación fue de 10,13 %, lo que indica una baja variabilidad en los datos experimentales, reflejando una buena precisión en las mediciones realizadas. Este nivel de dispersión es considerado adecuado y fortalece la confiabilidad de los resultados obtenidos. El valor promedio de la concentración de potasio fue de 1,891%, el cual representa el nivel general de este nutriente en las muestras evaluadas, sin evidenciar diferencias atribuibles a los tratamientos aplicados.

**Tabla10**

*Análisis de varianza para la concentración de potasio*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 0,02173           | 0,011            | 0,296  | 0,750 ns |
| Fuente                  | 1                  | 0,02801           | 0,028            | 0,762  | 0,403 ns |
| Dosis                   | 2                  | 0,10570           | 0,053            | 1,439  | 0,282 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 0,16968           | 0,085            | 2,310  | 0,149 ns |
| Error                   | 10                 | 0,36733           | 0,037            |        |          |
| Total                   | 17                 | 0,69245           |                  |        |          |
| CV:                     | 10,13              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 1,891              |                   |                  |        |          |

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% complementa los resultados del análisis de varianza, permitiendo evaluar las diferencias en la concentración de potasio (K) entre las fuentes estudiadas.

Con relación al factor fuente (Tabla 11), se observa que el tratamiento con Triggrr presentó una media ligeramente superior (0,931 %) en comparación con Cythor (0,852 %), sin embargo, no se evidenciaron diferencias estadísticas significativas entre ellas ( $p > 0,05$ ). Este resultado indica que el tipo de citoquinina empleada no influyó de manera significativa en la concentración de potasio, evidenciando un comportamiento similar del cultivo frente a ambas fuentes hormonales.

**Tabla11**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente  | K (%)   |
|---------|---------|
| Triggrr | 0,931 a |
| Cythor  | 0,852 a |

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

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 12), se evidencia una ligera tendencia decreciente en el contenido de potasio (K) a medida que se incrementa la dosis: 200 mL (1,840 %), 400 mL (2,000 %) y 600 mL (1,835 %). No obstante, al igual que en el caso anterior, las diferencias numéricas no son estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). Esto implica que, aunque se observa una leve variación en el contenido de potasio entre las dosis evaluadas, dicha diferencia no es suficiente para atribuir un efecto real del tratamiento sobre esta variable.

**Tabla12**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis (mL Cil <sup>-1</sup> ) | K (%)   |
|-------------------------------|---------|
| 400                           | 2,000 a |
| 200                           | 1,840 a |
| 600                           | 1,835 a |

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

#### 4.1.4 Calcio

El análisis de varianza presentado en la Tabla 13 para la concentración de calcio indica que ninguno de los factores evaluados ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre dicha variable. En efecto, tanto el factor fuente, como la dosis aplicada y su interacción, presentan valores de probabilidad mayores a 0,05 lo que evidencia la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Asimismo, el efecto de los bloques tampoco resultó significativo, lo que sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una baja influencia de la variabilidad ambiental dentro del área de estudio.

El coeficiente de variación fue de 26,85 %, lo que indica una variabilidad moderada en los datos experimentales, lo cual es aceptable en estudios de campo, aunque refleja cierta dispersión que podría haber contribuido a la falta de significancia estadística. El valor promedio de la concentración de calcio fue de 0,070%, que representa el nivel general de concentración, sin evidenciar diferencias atribuibles a los tratamientos.

**Tabla13***Análisis de varianza para la concentración de calcio*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 0,00088           | 0,000            | 1,223  | 0,334 ns |
| Fuente                  | 1                  | 0,00027           | 0,000            | 0,758  | 0,404 ns |
| Dosis                   | 2                  | 0,00008           | 0,000            | 0,109  | 0,898 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 0,00008           | 0,000            | 0,109  | 0,898 ns |
| Error                   | 10                 | 0,00359           | 0,000            |        |          |
| Total                   | 17                 | 0,00489           |                  |        |          |
| CV:                     | 26,85              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 0,070              |                   |                  |        |          |

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% complementa los resultados del análisis de varianza, permitiendo evaluar las diferencias en la concentración de calcio (Ca) entre las fuentes estudiadas.

Con relación al factor fuente (Tabla 14), se observa que el tratamiento con Cythor presentó una media ligeramente superior (0,074 %) en comparación con Triggrr (0,066 %), sin embargo, no existieron diferencias estadísticas significativas entre ellas ( $p > 0,05$ ). Este resultado sugiere que el tipo de citoquinina utilizada no tuvo un efecto diferenciado sobre la concentración de calcio, evidenciando una respuesta fisiológica similar del cultivo frente a ambas fuentes hormonales.

**Tabla14***Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente  | Ca (%)  |
|---------|---------|
| Cythor  | 0,074 a |
| Triggrr | 0,066 a |

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

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 15), se evidencia una tendencia decreciente en el contenido de calcio (Ca) a medida que se incrementa la dosis: 200 mL (0,073 %), 400 mL (0,070 %) y 600 mL (0,068 %). No obstante, al igual que en el caso anterior, las diferencias numéricas no son estadísticamente significativas. Esto implica que, aunque existe una aparente disminución del contenido de calcio con dosis mayores, dicha variación no es suficiente para atribuir un efecto real del tratamiento sobre esta variable.

**Tabla15***Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis (mL Cil <sup>-1</sup> ) | Ca (%)  |
|-------------------------------|---------|
| 200                           | 0,073 a |
| 400                           | 0,070 a |
| 600                           | 0,068 a |

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

#### 4.1.5 Magnesio

El análisis de varianza presentado en la Tabla 16 para la concentración de magnesio indica que ninguno de los factores evaluados ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre dicha variable. En efecto, tanto el factor fuente, como la dosis aplicada y su interacción, presentan valores de probabilidad mayores a 0,05. Asimismo, el efecto de los bloques tampoco resultó significativo, lo que sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una baja influencia de la variabilidad ambiental dentro del área de estudio.

El coeficiente de variación fue de 11,55 %, lo que indica una baja variabilidad en los datos experimentales, lo cual es aceptable en estudios de campo y refleja una buena precisión experimental, reduciendo la dispersión de los datos. El valor promedio de la concentración de magnesio fue de 0,104%, que representa el nivel general de concentración, sin evidenciar diferencias atribuibles a los tratamientos.

**Tabla16***Análisis de varianza para la concentración de magnesio*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 0,00028           | 0,000            | 0,955  | 0,417 ns |
| Fuente                  | 1                  | 0,00002           | 0,000            | 0,151  | 0,704 ns |
| Dosis                   | 2                  | 0,00048           | 0,000            | 1,641  | 0,241 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 0,00041           | 0,000            | 1,411  | 0,288 ns |
| Error                   | 10                 | 0,00146           | 0,000            |        |          |
| Total                   | 17                 | 0,00264           |                  |        |          |
| CV:                     | 11,55              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 0,104              |                   |                  |        |          |

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% complementa los resultados del análisis de varianza, confirmando la ausencia de diferencias significativas en la concentración de magnesio entre las fuentes de citoquininas evaluadas. Con relación al factor fuente (Tabla 17), se observa que el tratamiento con Cythor presentó una media ligeramente

superior (0,105 %) en comparación con Triggrr (0,103 %). Sin embargo, estadísticamente no existen diferencias significativas entre ellas ( $p > 0,05$ ).

Este resultado corrobora que el tipo de citoquinina empleada no influyó de manera diferenciada en la concentración de magnesio, sugiriendo un comportamiento fisiológico similar del cultivo frente a ambas fuentes hormonales.

**Tabla17**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente  | Mg (%)  |
|---------|---------|
| Cythor  | 0,105 a |
| Triggrr | 0,103 a |

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

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 18), se evidencia una ligera tendencia decreciente en la concentración de Mg a medida que disminuye la dosis: 600 mL (0,111 %), 400 mL (0,101 %) y 200 mL (0,100 %). No obstante, al igual que en el caso anterior, las diferencias numéricas no son estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). Esto implica que, aunque se observa una leve variación en el contenido de magnesio entre las dosis evaluadas, dicha diferencia no es suficiente para atribuir un efecto real de las dosis sobre esta variable.

**Tabla18**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis (mL Cil <sup>-1</sup> ) | Mg (%)  |
|-------------------------------|---------|
| 600                           | 0,111 a |
| 400                           | 0,101 a |
| 200                           | 0,100 a |

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

#### 4.1.6 Azufre

El análisis de varianza presentado en la Tabla 19 para la concentración de azufre indica que algunos de los factores evaluados ejercieron un efecto estadísticamente significativo sobre dicha variable. En efecto, tanto el factor fuente como la dosis aplicada presentan valores de probabilidad menores a 0,05, lo que evidencia la existencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Por otro lado, la interacción fuente\*dosis no resultó significativa ( $p = 0,453$ ), lo que indica que el efecto de la fuente es independiente de la dosis aplicada. Asimismo, el efecto de los bloques tampoco fue significativo ( $p = 0,057$ ), lo que sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una baja influencia de la variabilidad ambiental dentro del área de estudio.

El coeficiente de variación fue de 18,67 %, lo que indica una variabilidad moderada en los datos experimentales, lo cual es aceptable en estudios de campo, aunque refleja cierta dispersión en los datos. El valor promedio de la concentración de azufre fue de 0,089%, que representa el nivel general de concentración, evidenciando que las diferencias observadas están asociadas principalmente a los efectos de la fuente y la dosis evaluadas.

**Tabla19**

*Análisis de varianza para la concentración de azufre*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value   |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|-----------|
| Bloque                  | 2                  | 0,00214           | 0,001            | 3,844  | 0,057 ns  |
| Fuente                  | 1                  | 0,00201           | 0,002            | 7,193  | 0,023 *   |
| Dosis                   | 2                  | 0,00288           | 0,001            | 5,160  | 0,028 *   |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 0,00048           | 0,000            | 0,857  | 0,4536 ns |
| Error                   | 10                 | 0,00279           | 0,000            |        |           |
| Total                   | 17                 | 0,01029           |                  |        |           |
| CV:                     | 18,67              |                   |                  |        |           |
| Promedio                | 0,089              |                   |                  |        |           |

ns: no significativo; \*: significativo al 0,05

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% complementa los resultados del análisis de varianza, evidenciando la presencia de diferencias significativas en la concentración de azufre entre las fuentes de citoquininas evaluadas. Con relación al factor fuente (Tabla 20), se observa que el tratamiento con Triggrr presentó una media superior (0,100 %) en comparación con Cythor (0,078 %). Este resultado indica que la fuente Triggrr influyó de manera más efectiva en la concentración de azufre, sugiriendo una respuesta diferenciada del cultivo frente a las fuentes hormonales evaluadas.

**Tabla20**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente  | S (%)   |
|---------|---------|
| Triggrr | 0,100 a |
| Cythor  | 0,078 b |

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

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 21), se evidencia una tendencia decreciente en la concentración de S a medida que se incrementa la dosis: 200 mL (0,071 %), 400 mL (0,096 %) y 600 mL (0,100 %). No obstante, a diferencia del caso anterior, las diferencias numéricas sí son estadísticamente significativas ( $p < 0,05$ ), ya que la dosis de 200 mL presenta un menor valor en comparación con las dosis de 400 y 600 mL. Esto implica

que, aunque se observa un aumento del contenido de azufre con dosis mayores, esta variación es suficiente para atribuir un efecto real de las dosis sobre esta variable.

**Tabla21**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis (mL Cil <sup>-1</sup> ) | S (%)    |
|-------------------------------|----------|
| 600                           | 0,100 a  |
| 400                           | 0,096 ab |
| 200                           | 0,071 b  |

## 4.2 Extracción de los macronutrientes (kg ha<sup>-1</sup>)

### 4.2.1 Nitrógeno

El análisis de varianza presentado en la Tabla 22 para la extracción de nitrógeno indica que ninguno de los factores evaluados ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre la variable en estudio. En efecto, el factor fuente, la dosis aplicada y su interacción (Fuente\*Dosis) presentan valores de probabilidad mayores a 0,05, lo que evidencia la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. No obstante, la interacción Fuente\*Dosis muestra un valor de  $p = 0,062$ , cercano al umbral de significancia, lo que podría sugerir una leve tendencia a la interacción entre los factores, aunque sin alcanzar significancia estadística. Asimismo, el efecto de los bloques tampoco resultó significativo ( $p = 0,500$ ), lo que sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una baja influencia de la variabilidad ambiental dentro del área de estudio.

El coeficiente de variación fue de 19,16 %, lo que indica una variabilidad moderada en los datos experimentales. Este nivel de variación es aceptable en condiciones de campo, aunque refleja cierta dispersión que podría haber contribuido a la falta de significancia estadística entre los tratamientos. El promedio de la extracción de nitrógeno fue de 75,410 kg ha<sup>-1</sup>, lo que representa el comportamiento general de la variable evaluada, sin evidenciar diferencias atribuibles a los factores en estudio.

**Tabla22***Análisis de varianza para la extracción de nitrógeno*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 310,18648         | 155,093          | 0,743  | 0,500 ns |
| Fuente                  | 1                  | 36,66534          | 36,665           | 0,176  | 0,684 ns |
| Dosis                   | 2                  | 907,74991         | 453,875          | 2,174  | 0,164 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 1543,81098        | 771,905          | 3,697  | 0,062 ns |
| Error                   | 10                 | 2087,98199        | 208,798          |        |          |
| Total                   | 17                 | 4886,39469        |                  |        |          |
| CV:                     | 19,16              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 75,410             |                   |                  |        |          |

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% complementa los resultados del análisis de varianza, confirmando la ausencia de diferencias significativas en la extracción de nitrógeno entre las fuentes de citoquininas evaluadas. Con relación al factor fuente (Tabla 23), se observa que el tratamiento con Triggrr presentó una media ligeramente inferior ( $73,983 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en comparación con Cythor ( $76,847 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Sin embargo, estadísticamente no existen diferencias significativas entre ellas ( $p > 0,05$ ).

**Tabla23***Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente  | N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) |
|---------|---------------------------|
| Cythor  | 76,847 a                  |
| Triggrr | 73,983 a                  |

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

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 24), se evidencia que las diferencias numéricas no son estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). Esto implica que, aunque se observa variación en la extracción de nitrógeno entre las dosis evaluadas, dicha diferencia no es suficiente para atribuir un efecto real de las dosis sobre esta variable.

**Tabla24***Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis ( $\text{mL Cil}^{-1}$ ) | N ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) |
|--------------------------------|---------------------------|
| 400                            | 84,225 a                  |
| 200                            | 75,171 a                  |
| 600                            | 66,835 a                  |

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

#### 4.2.2 Fósforo

El análisis de varianza presentado en la Tabla 25 para la extracción de fósforo indica que algunos de los factores evaluados ejercieron un efecto estadísticamente significativo sobre la variable en estudio. En particular, el efecto de los bloques resultó altamente significativo ( $p = 0,004$ ), lo que evidencia la presencia de variabilidad ambiental dentro del área experimental, influyendo de manera importante en los resultados obtenidos. Por otro lado, el factor fuente no mostró un efecto significativo ( $p = 0,336$ ), lo que indica que no hubo diferencias estadísticas atribuibles a este factor. En cuanto a la dosis, presentó un valor de  $p = 0,062$ , el cual, aunque no es significativo al nivel de 0,05, sugiere una ligera tendencia a influir sobre la variable evaluada. La interacción Fuente\*Dosis mostró un efecto significativo ( $p = 0,011$ ), lo que indica que la respuesta en la extracción de fósforo depende de la combinación específica entre la fuente y la dosis aplicada. Esto sugiere que los tratamientos no actúan de manera independiente, sino que el efecto de uno de los factores está condicionado por el nivel del otro.

El coeficiente de variación fue de 15,72 %, lo que indica una variabilidad relativamente baja en los datos experimentales, reflejando una buena precisión en el ensayo. El valor promedio de la extracción de fósforo fue de 12,85 kg ha<sup>-1</sup>, representando el comportamiento general de la variable bajo las condiciones del experimento, donde las diferencias observadas se atribuyen principalmente a la interacción entre los factores y al efecto de los bloques.

**Tabla25**

*Análisis de varianza para la extracción de fósforo*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 77,94173          | 38,971           | 9,555  | 0,004 ** |
| Fuente                  | 1                  | 4,16642           | 4,166            | 1,022  | 0,336 ns |
| Dosis                   | 2                  | 30,22823          | 15,114           | 3,706  | 0,062 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 59,47694          | 29,738           | 7,292  | 0,011 *  |
| Error                   | 10                 | 40,78387          | 4,078            |        |          |
| Total                   | 17                 | 212,84667         |                  |        |          |
| CV:                     | 15,72              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 12,85              |                   |                  |        |          |

ns: no significativo; \*: significativo al 0,05; \*\*: significativo al 0,01 de probabilidad

Por otro lado, al analizar los efectos simples de la fuente dentro de cada nivel de dosis (Tabla 26), se evidencia que en la dosis de 200 mL el efecto de la fuente no es estadísticamente significativo, lo que indica que no existen diferencias atribuibles a la fuente en este nivel. En cambio, en la dosis de 400 mL se observa un efecto significativo de la fuente, al igual que en la dosis de 600 mL, lo que demuestra que la fuente influye de manera significativa sobre la variable evaluada en estos niveles.

Esto implica que el efecto de la fuente no es constante, sino que depende de la dosis aplicada, manifestándose únicamente en dosis medias y altas (400 y 600 mL), mientras que en la dosis baja (200 mL) no se detecta un efecto estadísticamente significativo.

**Tabla26**

*Análisis de efectos simples de fuente dentro de cada nivel de dosis*

| FV         | GL | SC     | CM     | Fcal. | Pr>Fc    |
|------------|----|--------|--------|-------|----------|
| Fuente/200 | 1  | 13,410 | 13,410 | 3,288 | 0,099 ns |
| Fuente/400 | 1  | 25,750 | 25,750 | 6,314 | 0,030 *  |
| Fuente/600 | 1  | 24,482 | 24,482 | 6,003 | 0,034 *  |
| Error      | 10 | 40,783 | 4,078  |       |          |

ns: no significativo; \*: significativo al 0,05

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% evidencia la existencia de diferencias significativas en la concentración de fósforo (P) entre las fuentes evaluadas bajo la dosis de 400 mL/200 L. Con relación al factor fuente (Tabla 27), se observa que el tratamiento con Triggrr presentó una media superior (16,746 kg ha<sup>-1</sup>) en comparación con Cythor (12,603 kg ha<sup>-1</sup>). Este resultado sugiere que la fuente Triggrr favoreció en mayor medida la acumulación de fósforo en comparación con Cythor, lo que podría estar asociado a una mayor eficiencia en la absorción o movilización de este nutriente dentro de la planta, reflejando un efecto diferencial de las citoquininas según su origen o composición.

**Tabla27**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuentes en la dosis de 400 mL*

| Fuente  | P (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|---------|--------------------------|
| Triggrr | 16,746 a                 |
| Cythor  | 12,603 b                 |

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

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% muestra que existen diferencias significativas en la concentración de fósforo (P) entre las fuentes evaluadas bajo la dosis de 600 mL. Con relación al factor fuente (Tabla 28), se observa que el tratamiento con Cythor

presentó una media superior (13,843 kg ha<sup>-1</sup>) en comparación con Triggrr (9,803 kg ha<sup>-1</sup>). Este resultado sugiere que, a esta dosis, la fuente Cythor favoreció en mayor medida la acumulación de fósforo en comparación con Triggrr, lo que podría estar relacionado con una mejor eficiencia en la absorción o aprovechamiento del nutriente bajo mayores niveles de aplicación, evidenciando un comportamiento diferencial de las citoquininas según la dosis utilizada.

**Tabla28**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuentes en la dosis de 600 mL*

| Fuente  | P (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|---------|--------------------------|
| Cythor  | 13,843 a                 |
| Triggrr | 9,803 b                  |

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

La Tabla 29 muestra un análisis de efectos simples de la dosis dentro de cada nivel de los factores evaluados. En el caso de la interacción dosis × Cvthor, no existen diferencias significativas entre las dosis dentro de los niveles de Cvthor; es decir, la dosis no tiene un efecto estadísticamente detectable en este factor. Por el contrario, en la interacción dosis × Triggrr, se ha evidenciado que las dosis sí generan diferencias importantes dentro de Triggrr.

**Tabla29**

*Análisis de efectos simples de dosis dentro de cada fuente*

| FV            | GL | SC     | CM     | Fcal.  | Pr>Fc    |
|---------------|----|--------|--------|--------|----------|
| Dosis/Cythor  | 2  | 2,502  | 1,251  | 0,307  | 0,742 ns |
| Dosis/Triggrr | 2  | 87,202 | 43,601 | 10,691 | 0,003 ** |
| Error         | 10 | 40,783 | 4,078  |        |          |

ns: no significativo; \*\*: significativo al 0,01 de probabilidad

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 30), se observa una variación en el contenido de fósforo (P) según el nivel aplicado: 400 mL (16,746 kg ha<sup>-1</sup>), 200 mL (10,546 kg ha<sup>-1</sup>) y 600 mL (9,803 kg ha<sup>-1</sup>), evidenciándose una tendencia decreciente a medida que aumenta la dosis, excepto en la dosis intermedia. Se aprecia que la dosis de 400 mL presenta un mayor extracción de fósforo, mientras que las otras dosis no difieren entre sí.

**Tabla30***Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis en la fuente Triggrr foliar*

| Triggrr (mL Cil <sup>-1</sup> ) | P (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|---------------------------------|--------------------------|
| 400                             | 16,746 a                 |
| 200                             | 10,546 b                 |
| 600                             | 9,803 b                  |

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

#### 4.2.3 Potasio

El análisis de varianza presentado en la Tabla 31 para la extracción de potasio indica que ninguno de los factores evaluados ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre la variable en estudio. En efecto, el factor fuente, la dosis aplicada y su interacción (Fuente\*Dosis) presentan valores de probabilidad mayores a 0,05, lo que evidencia la ausencia de diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Sin embargo, la dosis mostró un valor de  $p = 0,050$ , el cual se encuentra en el límite del nivel de significancia, lo que podría indicar una ligera tendencia a influir sobre la extracción de potasio, aunque sin alcanzar una significancia estadística clara. Asimismo, el efecto de los bloques tampoco resultó significativo ( $p = 0,176$ ), lo que sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una baja influencia de la variabilidad ambiental dentro del área de estudio.

El coeficiente de variación fue de 18,58 %, lo que indica una variabilidad moderada en los datos experimentales. Este nivel de variación es aceptable en condiciones de campo, aunque refleja cierta dispersión que podría haber contribuido a la falta de significancia estadística. El valor promedio de la extracción de potasio fue de 165,392 kg ha<sup>-1</sup>, lo que representa el comportamiento general de la variable evaluada, sin evidenciar diferencias atribuibles a los factores en estudio.

**Tabla31***Análisis de varianza para la extracción de potasio*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 3919,63854        | 1959,819         | 2,076  | 0,176 ns |
| Fuente                  | 1                  | 3,41476           | 3,415            | 0,004  | 0,953 ns |
| Dosis                   | 2                  | 7703,93874        | 3851,969         | 4,081  | 0,050 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 5221,41861        | 2610,709         | 2,766  | 0,110 ns |
| Error                   | 10                 | 9438,74346        | 943,874          |        |          |
| Total                   | 17                 | 26287,15411       |                  |        |          |
| CV:                     | 18,58              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 165,392            |                   |                  |        |          |

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% indica que no existen diferencias significativas en la extracción de potasio (K) entre las fuentes evaluadas. Con relación al factor fuente (Tabla 32), se observa que el Triggrr presentó una media ligeramente superior ( $165,827 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en comparación con Cythor ( $164,956 \text{ kg ha}^{-1}$ ), sin embargo, no existen diferencias estadísticas significativas entre ellas ( $p > 0,05$ ).

Este resultado sugiere que el tipo de fuente de citoquinina no influyó de manera diferenciada en la extracción de potasio, evidenciando un comportamiento similar del cultivo frente a ambas fuentes en términos de absorción o acumulación de este nutriente.

**Tabla32**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente                                                                         | K (%)     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Triggrr                                                                        | 165,827 a |
| Cythor                                                                         | 164,956 a |
| Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) |           |

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 33), se observa una ligera variación en la extracción de potasio (K) según el nivel aplicado: 400 mL ( $194,515 \text{ kg ha}^{-1}$ ), 600 mL ( $153,258 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y 200 mL ( $148,403 \text{ kg ha}^{-1}$ ), evidenciándose una tendencia a disminuir en comparación con la dosis más alta. No obstante, las diferencias numéricas no son estadísticamente significativas. Esto implica que, aunque se observan variaciones en la extracción de potasio entre dosis, dichas diferencias no son suficientes para atribuir un efecto real de las dosis sobre esta variable.

**Tabla33**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis (mL Cil <sup>-1</sup> )                                                  | K ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) |
|--------------------------------------------------------------------------------|---------------------------|
| 400                                                                            | 194,515 a                 |
| 600                                                                            | 153,258 a                 |
| 200                                                                            | 148,403 a                 |
| Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) |                           |

#### 4.2.4 Calcio

El análisis de varianza presentado en la Tabla 34 para la extracción de calcio indica que ninguno de los factores evaluados ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre dicha variable. En efecto, tanto el factor fuente, como la dosis aplicada y su interacción, presentan valores de probabilidad mayores a 0,05. Asimismo, el efecto de los bloques

tampoco resultó significativo, lo que sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una baja influencia de la variabilidad ambiental dentro del área de estudio.

El coeficiente de variación fue de 28,69 %, lo que indica una variabilidad alta en los datos experimentales, lo cual es relativamente elevado y podría haber influido en la falta de significancia estadística. El valor promedio de la extracción de calcio fue de 6,198 kg ha<sup>-1</sup>, que representa el nivel general de la variable evaluada, sin evidenciar diferencias atribuibles a los tratamientos.

**Tabla34**

*Análisis de varianza para la extracción de calcio*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 5,67681           | 2,838            | 0,897  | 0,438 ns |
| Fuente                  | 1                  | 2,56889           | 2,569            | 0,812  | 0,388 ns |
| Dosis                   | 2                  | 7,39841           | 3,699            | 1,169  | 0,349 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 2,24674           | 1,123            | 0,355  | 0,709 ns |
| Error                   | 10                 | 31,63872          | 3,164            |        |          |
| Total                   | 17                 | 49,42958          |                  |        |          |
| CV:                     | 28,69              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 6,198              |                   |                  |        |          |

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% complementa los resultados del análisis de varianza, evidenciando que no existen diferencias significativas en el contenido de calcio (Ca) entre las fuentes evaluadas.

Con relación al factor fuente (Tabla 35), se observa que el Triggrr presentó una media ligeramente superior (6,576 kg ha<sup>-1</sup>) en comparación con Cythor (5,821 kg ha<sup>-1</sup>), no existiendo diferencias significativas entre ellas ( $p > 0,05$ ). Este resultado sugiere que el tipo de fuente empleada no influyó de manera diferenciada en la extracción de calcio, evidenciando un comportamiento similar del cultivo frente a ambas alternativas evaluadas.

**Tabla35**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente  | Ca (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|---------|---------------------------|
| Cythor  | 6,576 a                   |
| Triggrr | 5,821 a                   |

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

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 36), se observa una ligera variación en el contenido de calcio (Ca) según el nivel aplicado: 400 mL (7,105 kg ha<sup>-1</sup>), 600 mL (5,718 kg ha<sup>-1</sup>) y 200 mL (5,773 kg ha<sup>-1</sup>), mostrando valores mayores en la dosis de 400 mL en comparación con las demás. No obstante, no fueron estadísticamente significativas ( $p > 0,05$ ). Esto implica que, aunque se observan variaciones en la extracción de calcio entre las dosis evaluadas, estas no son suficientes para atribuir un efecto real de la dosis sobre esta variable.

**Tabla 36**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis (mL Cil <sup>-1</sup> ) | Ca (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------------|---------------------------|
| 400                           | 7,105 a                   |
| 200                           | 5,773 a                   |
| 600                           | 5,718 a                   |

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

#### 4.2.5 Magnesio

El análisis de varianza presentado en la Tabla 37 para la extracción de magnesio indica que ninguno de los factores evaluados ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre dicha variable. En efecto, tanto el factor fuente, como la dosis aplicada y su interacción presentan valores de probabilidad mayores a 0,05. Asimismo, el efecto de los bloques tampoco resultó significativo ( $p = 0,105$ ), lo que sugiere una adecuada homogeneidad experimental y una baja influencia de la variabilidad ambiental dentro del área de estudio.

El coeficiente de variación fue de 19,78 %, lo que indica una variabilidad moderada en los datos experimentales, lo cual es aceptable en estudios de campo, aunque refleja cierta dispersión que podría haber contribuido a la falta de significancia estadística. El valor promedio de la extracción de magnesio fue de 8,919 kg ha<sup>-1</sup>, que representa el nivel general de la variable evaluada, sin evidenciar diferencias atribuibles a los tratamientos.

**Tabla37***Análisis de varianza para la extracción de magnesio*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 17,67338          | 8,837            | 2,839  | 0,105 ns |
| Fuente                  | 1                  | 1,33934           | 1,339            | 0,430  | 0,526 ns |
| Dosis                   | 2                  | 7,62724           | 3,814            | 1,225  | 0,334 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 12,46458          | 6,232            | 2,002  | 0,185 ns |
| Error                   | 10                 | 31,12416          | 3,112            |        |          |
| Total                   | 17                 | 70,22869          |                  |        |          |
| CV:                     | 19,78              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 8,919              |                   |                  |        |          |

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% complementa los resultados del análisis de varianza, mostrando que no existen diferencias significativas en la concentración de magnesio (Mg) entre las fuentes evaluadas.

Con relación al factor fuente (Tabla 38), se observa que el Cythor presentó una media ligeramente superior (9,192 kg ha<sup>-1</sup>) en comparación con Triggrr (8,646 kg ha<sup>-1</sup>). No obstante, no fueron estadísticamente diferentes. Este resultado sugiere que el tipo de fuente utilizada no influyó de manera diferenciada en la extracción de magnesio, evidenciando una respuesta similar del cultivo frente a ambas fuentes evaluadas

**Tabla38***Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente  | Mg (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|---------|---------------------------|
| Cythor  | 9,192 a                   |
| Triggrr | 8,646 a                   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p &gt; 0,05)

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 39), se evidencia una tendencia decreciente en la extracción de Mg (kg ha<sup>-1</sup>) a medida que se incrementa la dosis: 200 mL (8,738 kg ha<sup>-1</sup>), 400 mL (9,791 kg ha<sup>-1</sup>) y 600 mL (8,228 kg ha<sup>-1</sup>). No obstante, no se observaron diferencias significativas. Esto implica que, aunque existe una aparente variación en la extracción de magnesio entre las dosis evaluadas, dicha diferencia no es suficiente para atribuir un efecto real de las dosis sobre esta variable.

**Tabla39***Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis (mL Cil <sup>-1</sup> ) | Mg (kg ha <sup>-1</sup> ) |
|-------------------------------|---------------------------|
| 400                           | 9,791 a                   |
| 200                           | 8,738 a                   |
| 600                           | 8,228 a                   |

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0,05$ )**4.2.6 Azufre**

El análisis de varianza presentado en la Tabla 40 para la extracción de azufre indica que ninguno de los factores evaluados ejerció un efecto estadísticamente significativo sobre dicha variable. En efecto, tanto el factor fuente, como la dosis aplicada y su interacción presentan valores de probabilidad mayores a 0,05. Asimismo, el efecto de los bloques tampoco resultó significativo, aunque este valor se encuentra cercano al nivel de significancia, lo que podría indicar una ligera influencia de la variabilidad ambiental; sin embargo, estadísticamente se considera no significativo.

El coeficiente de variación fue de 28,15 %, lo que indica una variabilidad relativamente alta en los datos experimentales, lo cual podría haber influido en la falta de significancia estadística entre los tratamientos. El valor promedio de la extracción de azufre fue de 7,737 kg ha<sup>-1</sup>, que representa el nivel general de la variable evaluada, sin evidenciar diferencias atribuibles a los tratamientos.

**Tabla40***Análisis de varianza para la extracción de azufre*

| Fuentes de variabilidad | Grados de libertad | Suma de cuadrados | Cuadrados medios | Fcalc. | p-value  |
|-------------------------|--------------------|-------------------|------------------|--------|----------|
| Bloque                  | 2                  | 35,97474          | 17,987           | 3,793  | 0,059 ns |
| Fuente                  | 1                  | 7,64405           | 7,644            | 1,612  | 0,233 ns |
| Dosis                   | 2                  | 4,65221           | 2,326            | 0,490  | 0,626 ns |
| Fuente*Dosis            | 2                  | 13,38123          | 6,691            | 1,411  | 0,288 ns |
| Error                   | 10                 | 47,42772          | 4,743            |        |          |
| Total                   | 17                 | 109,07996         |                  |        |          |
| CV:                     | 28,15              |                   |                  |        |          |
| Promedio                | 7,737              |                   |                  |        |          |

ns: no significativo

La prueba de comparación de medias de Tukey al 5% complementa los resultados del análisis de varianza, evidenciando que no existen diferencias significativas en la concentración de azufre (S) entre las fuentes evaluadas.

Con relación al factor fuente (Tabla 41), se observa que el tratamiento con Triggrr presentó una media ligeramente superior ( $8,388 \text{ kg ha}^{-1}$ ) en comparación con Cythor ( $7,085 \text{ kg ha}^{-1}$ ). Sin embargo, estadísticamente no existen diferencias significativas entre ellas ( $p > 0,05$ ). Este resultado sugiere que el tipo de fuente empleada no influyó de manera diferenciada en la extracción de azufre, evidenciando un comportamiento similar del cultivo frente a ambas fuentes evaluadas.

**Tabla41**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre fuente*

| Fuente  | S ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) |
|---------|---------------------------|
| Triggrr | 8,388 a                   |
| Cythor  | 7,085 a                   |

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

Por otro lado, al analizar el efecto de las dosis (Tabla 42), se evidencia una tendencia decreciente en la extracción de S ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) a medida que se incrementa la dosis: 200 mL ( $7,821 \text{ kg ha}^{-1}$ ), 400 mL ( $7,076 \text{ kg ha}^{-1}$ ) y 600 mL ( $8,313 \text{ kg ha}^{-1}$ ). No obstante, las diferencias numéricas no son estadísticamente significativas. Esto implica que, aunque existe una aparente variación en el contenido de azufre entre las dosis evaluadas, dicha diferencia no es suficiente para atribuir un efecto real de las dosis sobre esta variable.

**Tabla42**

*Prueba de comparación de medias de Tukey al 5% entre dosis*

| Dosis ( $\text{mL Cil}^{-1}$ ) | S ( $\text{kg ha}^{-1}$ ) |
|--------------------------------|---------------------------|
| 600                            | 8,313 a                   |
| 200                            | 7,821 a                   |
| 400                            | 7,076 a                   |

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

Resumiendo, la extracción de nutrientes se puede apreciar en las Tablas 43 y 44 los valores obtenidos:

**Tabla43**

*Extracción de nutrientes*

| Rendimiento<br>(Tn ha <sup>-1</sup> ) | Materia seca<br>(Tn ha <sup>-1</sup> ) | N      | P      | K       | Ca    | Mg    | S     |
|---------------------------------------|----------------------------------------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|
| ..... kg ha <sup>-1</sup> .....       |                                        |        |        |         |       |       |       |
| 43,052                                | 8,697                                  | 75,411 | 12,846 | 165,391 | 6,199 | 8,920 | 7,736 |

**Tabla44**

*Extracción de nutrientes por tonelada de tubérculo*

| N                              | P     | K     | Ca    | Mg    | S     |
|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| ..... kg t <sup>-1</sup> ..... |       |       |       |       |       |
| 1,752                          | 1,477 | 2,193 | 0,483 | 0,054 | 1,248 |

## CAPITULO V. DISCUSIONES

Los resultados obtenidos en la presente investigación evidencian que la aplicación de citoquininas no generó efectos estadísticamente significativos en la mayoría de los macronutrientes evaluados (N, P, K, Ca y Mg), tanto en su concentración como en su extracción, con excepción del azufre (S), que sí presentó diferencias significativas. Este comportamiento permite analizar la respuesta del cultivo de papa desde una perspectiva fisiológica y agronómica, considerando la interacción entre fitohormonas, disponibilidad de nutrientes y condiciones ambientales.

En relación con el nitrógeno, los resultados mostraron ausencia de diferencias significativas entre tratamientos, lo que indica que la aplicación de citoquininas no modificó de manera sustancial su concentración en los tubérculos. Este resultado puede explicarse debido a que el nitrógeno es altamente dependiente de la disponibilidad en el suelo y del manejo de fertilización, lo cual puede limitar la respuesta a bioestimulantes. En este sentido, estudios como el de Kiba et al. (2011) señalan que las citoquininas actúan principalmente como reguladores de señalización del nitrógeno más que como inductores directos de su absorción, lo que implica que su efecto depende de la disponibilidad previa del nutriente. Asimismo, Werner et al. (2003) indican que el incremento en la eficiencia del uso del nitrógeno por acción de citoquininas se manifiesta principalmente bajo condiciones controladas o de deficiencia, lo que podría explicar la falta de respuesta significativa en condiciones de campo como las del valle de Chancay.

Del mismo modo, los resultados obtenidos para la concentración de fósforo muestran ausencia de diferencias significativas entre tratamientos. Este comportamiento coincide con lo reportado por Marschner (2011), quien indica que la absorción de fósforo está altamente condicionada por su baja movilidad en el suelo y por la arquitectura radicular, factores que no siempre son modificados por la aplicación de fitohormonas. Asimismo, Zorrilla et al. (2002) mencionan que las citoquininas regulan la respuesta interna al fósforo más que su absorción directa, lo que sugiere que su efecto puede no ser evidente en términos cuantitativos en condiciones de campo.

Respecto al potasio, los resultados tampoco mostraron diferencias significativas, lo cual puede atribuirse a que este nutriente se encuentra altamente influenciado por la disponibilidad en el suelo y su función osmótica en la planta. Marschner (2011) señala que

el potasio participa en procesos fisiológicos esenciales como la regulación estomática y el transporte de carbohidratos, pero su absorción no está directamente regulada por fitohormonas, sino por gradientes electroquímicos. En este contexto, la aplicación de citoquininas podría no haber tenido un efecto suficiente para modificar su concentración en los tubérculos.

En cuanto a calcio y magnesio, la ausencia de diferencias significativas puede explicarse por su limitada movilidad dentro de la planta, especialmente en el caso del calcio, cuya translocación depende del flujo transpiratorio (Kirkby & Pilbeam, 1984). Esto implica que la acción de las citoquininas sobre la redistribución de nutrientes podría ser limitada para estos elementos, lo cual coincide con lo observado en los resultados experimentales.

Por otro lado, el azufre (S) fue el único nutriente que presentó diferencias significativas, evidenciando una respuesta a la aplicación de citoquininas. Este resultado sugiere que las citoquininas podrían influir en la síntesis de compuestos orgánicos sulfurados, como aminoácidos (cisteína y metionina), lo cual está relacionado con el metabolismo proteico. Según Tisdale et al. (1993), el azufre tiene un rol complementario al nitrógeno en la formación de proteínas, por lo que cualquier estimulación metabólica inducida por citoquininas podría reflejarse en su mayor acumulación. Este hallazgo también puede asociarse al efecto de las citoquininas en la activación metabólica y en la prolongación de la actividad fotosintética, lo que incrementa la demanda de ciertos nutrientes específicos.

En términos de extracción de macronutrientes, los resultados mostraron un comportamiento similar al de la concentración, con ausencia de diferencias significativas en la mayoría de los nutrientes. Esto sugiere que la cantidad total de nutrientes removidos del suelo no fue influenciada por la aplicación de citoquininas. Según Greenwood et al. (1990), la extracción de nutrientes está estrechamente relacionada con la producción de biomasa y el rendimiento, por lo que si estos no se ven significativamente afectados, es poco probable que la extracción muestre diferencias. Asimismo, Dobermann y Fairhurst (2000) señalan que la extracción depende principalmente del rendimiento del cultivo y no necesariamente de factores hormonales.

No obstante, en el caso del fósforo en extracción, se observaron efectos significativos en la interacción fuente  $\times$  dosis, lo que indica que bajo ciertas combinaciones específicas las citoquininas pueden influir en la dinámica de absorción y acumulación de este nutriente. Este comportamiento coincide parcialmente con lo reportado por Abouelsaad y Brengi

(2022), quienes encontraron incrementos en P y K en papa bajo ciertas concentraciones de citoquininas, lo que sugiere que el efecto depende de la dosis y del tipo de compuesto aplicado.

## CAPITULO VI. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1 Conclusiones

En base a los resultados obtenidos en la investigación, se establecen las siguientes conclusiones:

- a) La aplicación de citoquininas no produjo efectos estadísticamente significativos en la concentración de macronutrientes nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en los tubérculos de papa, lo que indica que, bajo las condiciones del experimento, estas fitohormonas no modificaron de manera sustancial la absorción de dichos nutrientes.
- b) Se determinó que el único macronutriente que presentó diferencias significativas fue el azufre (S), evidenciando que las citoquininas sí pueden influir en procesos específicos del metabolismo vegetal, particularmente en aquellos relacionados con la síntesis de compuestos proteicos y la actividad fisiológica de la planta.
- c) Respecto a la extracción de macronutrientes, los resultados mostraron que no existieron diferencias significativas en la mayoría de los nutrientes evaluados (N, K, Ca, Mg y S), lo que sugiere que la aplicación de citoquininas no influyó en la cantidad total de nutrientes removidos del suelo a través de la cosecha.
- d) Se identificó que en la extracción de fósforo se presentaron diferencias significativas en la interacción entre fuente y dosis, lo que indica que bajo ciertas combinaciones específicas de tratamiento las citoquininas pueden influir en la dinámica de absorción y acumulación de este nutriente.
- e) Aunque no se observó diferencias estadísticas, existe una tendencia numérica en algunos tratamientos, donde dosis intermedias (400 mL) y el uso de Triggrr foliar mostraron valores ligeramente superiores en comparación con otros tratamientos, lo que sugiere un posible efecto fisiológico no suficientemente marcado para ser estadísticamente significativo.

## 6.2 Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos, se plantean las siguientes recomendaciones:

- a) Optimizar el uso de citoquininas mediante la evaluación de diferentes momentos de aplicación, especialmente en etapas fisiológicas críticas como la tuberización y llenado de tubérculos, donde la demanda nutricional es mayor y podría existir una mayor respuesta del cultivo a bioestimulantes.
- b) Realizar investigaciones complementarias que evalúen niveles más amplios de dosis y diferentes formulaciones comerciales de citoquininas, ya que los resultados muestran tendencias no significativas que podrían manifestarse de manera más clara bajo otras condiciones de manejo o concentraciones.
- c) Incluir en futuros estudios variables adicionales como rendimiento, biomasa, área foliar, eficiencia en el uso de nutrientes (EUN) y parámetros fisiológicos, con la finalidad de comprender de manera más integral el efecto de las citoquininas en el cultivo de papa.
- d) Considerar el efecto de factores edafoclimáticos, tales como tipo de suelo, disponibilidad hídrica y temperatura, debido a que estos influyen significativamente en la absorción de nutrientes y podrían enmascarar el efecto de las citoquininas en condiciones de campo.
- e) Evaluar la interacción de las citoquininas con otros reguladores de crecimiento o bioestimulantes, como auxinas, giberelinas o aminoácidos, ya que la literatura reporta mejores resultados cuando estas sustancias actúan de manera combinada.
- f) Incrementar el número de repeticiones y reducir la variabilidad experimental, con el fin de aumentar la sensibilidad estadística y detectar posibles diferencias entre tratamientos.
- g) Continuar investigando el efecto de las citoquininas sobre nutrientes específicos, como el azufre, donde sí se evidenció respuesta significativa, con el objetivo de profundizar en los mecanismos fisiológicos que explican dicha interacción y su posible aprovechamiento en la producción agrícola.

## CAPITULO VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abouelsaad, I., & Brengi, S. (2022). Effects of Cytokinin Types and Concentrations on Potato Growth, Yield and Quality under Field Conditions. *Alexandria Science Exchange Journal*, 43 (3), 495-502. [https://journals.ekb.eg/article\\_263858\\_295e1336919a18b6bff401ee3a984cef.pdf](https://journals.ekb.eg/article_263858_295e1336919a18b6bff401ee3a984cef.pdf)
- Aloni, R., Aloni, E., Langhans, M., & Ullrich, C. (2006). Role of cytokinin and auxin in shaping root architecture: regulating vascular differentiation, lateral root initiation, root apical dominance and root gravitropism. *Annals of botany*, 97(5), 883-893. <https://doi.org/10.1093/aob/mcl027>
- Antaurco, J., Nieto, D., Montesinos, F., Cárdenas, J., & Menacho, J. (2019). Niveles de citoquinina y su efecto sobre la producción de caigua (*Cyclanthera pedata* L.). *Infinitum*, 9(2). <https://doi.org/10.51431/infinitum.v9i2.577>
- Barzegar, T., Mahmoodi, S., Nekounam, F., Ghahremani, Z. y Khademi, O. (2022). Efectos del ácido húmico y la citoquinina sobre el rendimiento, atributos bioquímicos y elementos nutrientes del rábano (*Raphanus sativus* L.) cv. Sandía. *Revista de Nutrición Vegetal*, 45 (10), 1582-1598. <https://doi.org/10.1080/01904167.2021.2003395>
- Burton, WG (1966). *La papa: Un estudio de su historia y de los factores que influyen en su rendimiento, calidad y almacenamiento*. Edimburgo y Londres: Oliver y Boyd.
- Caballero, L. (2002). *La papa en el Perú: Historia, biodiversidad y producción*. Lima: INIA.
- Centro Internacional de la Papa. (2010). *Manejo productivo del cultivo de papa*. Lima: CIP. <https://hdl.handle.net/10568/55845>
- Davies, P. (Ed.). (2004). *Plant hormones: biosynthesis, signal transduction, action!*. Springer Science & Business Media. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-2686-7>
- Djaman, K., Djaman, D., Puppala, N. y Darapuneni, M. (2024). Remoción de nutrientes de las plantas y propiedades químicas residuales del suelo según el impacto de la fecha

y densidad de siembra del maíz. *PLoS ONE*, 19(3): e0299193.  
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0299193>

Dobermann, A. (2000). *Rice: Nutrient disorders & nutrient management*. Int. Rice Res. Inst.  
[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=VF77b7GB-woC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Rice:+Nutrient+disorders+%26+nutrient+management.+Potash+%26+Phosphate+Institute.&ots=E2W0SOjbpF&sig=c0wUUyksNYWofgClu2C0ki2Vu\\_Y&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Rice%3A%20Nutrient%20disorders%20%26%20nutrient%20management.%20Potash%20%26%20Phosphate%20Institute.&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=VF77b7GB-woC&oi=fnd&pg=PP1&dq=Rice:+Nutrient+disorders+%26+nutrient+management.+Potash+%26+Phosphate+Institute.&ots=E2W0SOjbpF&sig=c0wUUyksNYWofgClu2C0ki2Vu_Y&redir_esc=y#v=onepage&q=Rice%3A%20Nutrient%20disorders%20%26%20nutrient%20management.%20Potash%20%26%20Phosphate%20Institute.&f=false)

Doorenbos, J. y Kassam, A. (1979). *Respuesta del rendimiento al agua* (Documento de la FAO sobre riego y drenaje 33). FAO.  
<https://www.fao.org/3/i2800e/i2800e.pdf>

Eamus, D., Taylor, D., Macinnis, M., Shanahan, S., & De Silva, L. (2008). Comparing model predictions and experimental data for the response of stomatal conductance and guard cell turgor to manipulations of cuticular conductance, leaf-to-air vapour pressure difference and temperature: feedback mechanisms are able to account for all observations. *Plant, Cell & Environment*, 31(3), 269-277.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2007.01771.x>

Fageria, N. (2009). *The use of nutrients in crop plants*. CRC Press.  
<https://doi.org/10.1201/9781420075113>

Fan, X. y col. (2021). Interacciones entre la absorción de macronutrientes y micronutrientes y la homeostasis en plantas. *Frontiers in Plant Science*, 12.  
<https://doi.org/10.3389/fpls.2021.663477>

FAO. (2023). *Solanum tuberosum (papa)*. FAO, Producción y Protección Vegetal.  
<https://www.fao.org/home/en/>

Food and Agriculture Organization (FAO). (2023). *Potato statics and production trends worldwide*.  
<https://www.fao.org/plant-production-protection/news-and->

[events/news/news-detail/fao-announces-the-theme-for-international-day-of-potato-2025/en?utm\\_source](https://www.fao.org/news/news-detail/fao-announces-the-theme-for-international-day-of-potato-2025/en?utm_source)

- Gabr, S., Roshdy, A., Mostafa, S., Abo, I. y Abdel, M. (2022). Impactos del potasio, las auxinas y las citoquininas en el rendimiento y la calidad de la papa variedad Hermes. *Revista de Ciencias Agrícolas y Ambientales*, 21 (3), 101-126. <https://doi.org/10.21608/jaesj.2023.173652.1036>
- Gan, S., & Amasino, R. (1995). Inhibition of leaf senescence by autoregulated production of cytokinin. *science*, 270(5244), 1986-1988. <https://doi.org/10.1126/science.270.5244.1986>
- Gómez, L., & Flores, R. (2013). *Ecofisiología del cultivo de papa*. Universidad Nacional de Colombia.
- Goñy, L, y Casas, A. (2021). Extracción de macronutrientes en pimiento páprika cv. Papri King en Barranca, Perú. *Peruvian Agricultural Research*, 3(1), 23-34. <https://doi.org/10.51431/par.v3i1.662>
- Greenwood, D., Lemaire, G., Gosse, G., Cruz, P., Draycott, A., & Neeteson, J. (1990). Decline in percentage N of C3 and C4 crops with increasing plant mass. *Annals of botany*, 66(4), 425-436. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aob.a088040>
- Harris, P. (Ed.). (2012). *The potato crop: the scientific basis for improvement*. Springer Science & Business Media. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-94-011-2340-2>
- Hawkes, JG (1990). *La papa: evolución, biodiversidad y recursos genéticos*. Prensa del Instituto Smithsonian. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4374561/>
- Hemberg, T. (1956). El efecto de la kinetina en la patata. *Physiologia Plantarum* , 9, 372–384. <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1399-3054.1970.tb06482.x>
- Ishfaq, M., Kiran, A., Rehman, H., Farooq, M., Hassan, N. y Wakeel, A. (2022). *Nutrición foliar: Potencial y desafíos en la agricultura multifacética*. *Botánica Ambiental y Experimental*, 200, 104909. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.104909>

- Kiba, T., Kudo, T., Kojima, M., & Sakakibara, H. (2011). Hormonal control of nitrogen acquisition: roles of auxin, abscisic acid, and cytokinin. *Journal of experimental botany*, 62(4), 1399-1409. <https://doi.org/10.1093/jxb/erq410>
- Kirkby, EA y Pilbeam, D. (1984). El calcio como nutriente vegetal. En *Tinker y Läuchli* (Eds.), *Avances en Nutrición Vegetal* (págs. 53-113). Praeger.
- Koch, M., Naumann, M., & Pawelzik, E. (2020). The importance of nutrient management for potato production Part I: Plant nutrition and yield. *Potato Research*, 63, 97–119. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11540-019-09431-2>
- Marschner, H. (Ed.). (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press. <https://www.sciencedirect.com/book/9780123849052>
- Mengel, K., & Kirkby, E. (2012). *Principles of plant nutrition*. Springer Science & Business Media.  
[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=sWhNDJdbLgEC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Principles+of+plant+nutrition+\(5th+ed.\).+Kluwer+Academic+Publishers.&ots=z5JZ77ZtgD&sig=68f0HrCbv6rozruVg LJgCBXVRtc&redir\\_esc=y#v=onepage&q=Principles%20of%20plant%20nutrition%20\(5th%20ed.\).%20Kluwer%20Academic%20Publishers.&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=sWhNDJdbLgEC&oi=fnd&pg=PA1&dq=Principles+of+plant+nutrition+(5th+ed.).+Kluwer+Academic+Publishers.&ots=z5JZ77ZtgD&sig=68f0HrCbv6rozruVg LJgCBXVRtc&redir_esc=y#v=onepage&q=Principles%20of%20plant%20nutrition%20(5th%20ed.).%20Kluwer%20Academic%20Publishers.&f=false)
- Nascimento, J., & col. (2024). *Transformación de datos estadísticos en ciencias agrarias: uso e interpretación de ANOVA*. <https://doi.org/10.12688/f1000research.144805.2>
- Nyéki, A. y Neményi, M. (2022). Predicción del rendimiento de cultivos en agricultura de precisión. *Agronomía*, 12(10), 2460. <https://doi.org/10.3390/agronomy12102460>
- Obregón, L. (2021). Efecto de la citoquinina en las características nutricionales del cultivo de pepinillo. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/5286>
- Pourfarokhi, M., Sakinejad, T., Lak, S., Zarifinia, N. y Mojaddam, M. (2025). Influencia de la auxina y la citoquinina en la absorción de nutrientes, la fijación de nitrógeno y la nodulación radicular en variedades de caupí. *Revista de Nutrición Vegetal*, 1-16. <https://doi.org/10.1080/01904167.2025.2492292>

- Prasad, R. y col. (2022). *Citoquinina y su papel clave para enriquecer los nutrientes de las plantas y mejorar la productividad: Una revisión*. *Frontiers / revisión*. <https://doi.org/10.3389/fgene.2022.883924>
- Rosen, C. (2023, octubre 25). *Potato nutrient management research: 5 things we've learned*. *Minnesota Crop News*. [https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2023/10/potato-nutrient-management-research-5.html?utm\\_source](https://blog-crop-news.extension.umn.edu/2023/10/potato-nutrient-management-research-5.html?utm_source)
- Ruffel, S., Gojon, A., & Lejay, L. (2014). Signal interactions in the regulation of root nitrate uptake. *Journal of Experimental Botany*, 65(19), 5509-5517. <https://doi.org/10.1093/jxb/eru321>
- Sakakibara, H. (2006). Cytokinins: activity, biosynthesis, and translocation. *Annu. Rev. Plant Biol.*, 57(1), 431-449. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.57.032905.105231>
- Salisbury, F., y Ross, C. (1992). *Fisiología vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericano.
- Senamhi. (2022). *Manual de observaciones fenológicas*. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>
- Shuan Tarazona, A. F., & Urteaga Loli, M. B. (2023). Efecto de diferentes fuentes y dosis de citoquininas en el rendimiento de *Capsicum annuum* L. “pimiento” bajo condiciones de Paramonga. <http://hdl.handle.net/20.500.14067/8717>
- Sinche Alayo, J. J. (2022). Reguladores de crecimiento en el cuajado, calibre y sólidos solubles totales de frutos de tomate cherry “*solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*” en Arequipa. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/14895>
- Skoog, F. y Miller, C. (1957). Regulación química del crecimiento y la formación de órganos en tejidos vegetales. *Biological Reviews*, 32, 55–84.
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I., & Murphy, A. (2015). *Plant physiology and development 6th ed* Sinauer Associates Sunderland. MA, USA. <https://biologywala.com/wp-content/uploads/2021/06/compressed-6th-ed.-Plant-Physiology-by-Lincoln-Taiz-Eduardo-Zeiger-biologywala.com-compressed.pdf>

- Tisdale, SL, Nelson, WL, Beaton, JD, y Havlin, JL (1993). *Fertilidad del suelo y fertilizantes* (5.<sup>a</sup> ed.). Macmillan.
- Torabian, S., Farhangi, S., Qin, R., Noulas, C., Sathuvalli, V., Charlton, B., & Loka, D. (2021). Potassium: A vital macronutrient in potato production. *Agronomy*, 11(3), 543. <https://www.mdpi.com/2073-4395/11/3/543>
- Werner, T., & Schmülling, T. (2009). Cytokinin action in plant development. *Current opinion in plant biology*, 12(5), 527-538. <https://doi.org/10.1016/j.pbi.2009.07.002>
- Werner, T., Motyka, V., Laucou, V., Smets, R., Van, H., & Schmülling, T. (2003). Cytokinin-deficient transgenic Arabidopsis plants show multiple developmental alterations indicating opposite functions of cytokinins in the regulation of shoot and root meristem activity. *The Plant Cell*, 15(11), 2532-2550. <https://doi.org/10.1105/tpc.014928>
- Westermann, D. (2005). Nutritional requirements of potatoes. *American journal of potato research*, 82(4), 301-307. <https://doi.org/10.1007/BF02871960>
- Zarzecka, K. y col. (2024). Valor nutricional de los tubérculos de papa de pulpa coloreada en función de su contenido de micronutrientes. *Agronomía*, 14(7), 1537. <https://doi.org/10.3390/agronomy14071537>
- Zhang, W., Wu, X., Wang, D., Wu, D., Fu, Y., Bian, C. y Zhang, Y. (2022) Leaf cytokinin accumulation promotes potato growth in mixed nitrogen supply by coordination of nitrogen and carbon metabolism. *Plant Science*, 324, 111416. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2022.111416>
- Zorrilla, J., Martín, A., Leyva, A., & Paz, J. (2005). Interaction between phosphate-starvation, sugar, and cytokinin signaling in Arabidopsis and the roles of cytokinin receptors CRE1/AHK4 and AHK3. *Plant physiology*, 138(2), 847-857. <https://doi.org/10.1104/pp.105.060517>
- Zwack, P., & Rashotte, A. (2015). Interactions between cytokinin signalling and abiotic stress responses. *Journal of experimental botany*, 66(16), 4863-4871. <https://doi.org/10.1093/jxb/erv172>

## **ANEXOS**

## INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JOE PEREZ

PROCEDENCIA : LIMA/ HUARAL/ CHANCAY

MUESTRA : PAPAS

REFERENCIA : H.R. 87283

BOLETA : 7694

FECHA : 27/11/2025

| N. Lab. | CLAVE DE CAMPO | N %  | P %  | K %  | Ca % | Mg % | S %  |
|---------|----------------|------|------|------|------|------|------|
| 4164    | T1B1           | 0.81 | 0.15 | 1.84 | 0.06 | 0.11 | 0.11 |
| 4165    | T1B2           | 0.81 | 0.16 | 1.81 | 0.06 | 0.11 | 0.11 |
| 4166    | T1B3           | 1.09 | 0.17 | 1.97 | 0.12 | 0.12 | 0.06 |
| 4167    | T2B1           | 0.90 | 0.10 | 1.80 | 0.08 | 0.11 | 0.06 |
| 4168    | T2B2           | 0.81 | 0.15 | 1.78 | 0.07 | 0.09 | 0.07 |
| 4169    | T2B3           | 0.64 | 0.15 | 1.89 | 0.07 | 0.09 | 0.04 |
| 4170    | T3B1           | 0.78 | 0.13 | 1.73 | 0.05 | 0.10 | 0.08 |
| 4171    | T3B2           | 0.98 | 0.17 | 1.88 | 0.08 | 0.11 | 0.10 |
| 4172    | T3B3           | 0.92 | 0.17 | 1.97 | 0.08 | 0.11 | 0.09 |

*Dra. Lily Tello Peramás*

*Jefa de Laboratorio*

***Figura 1: Análisis foliar, primeros tres tratamientos***

## INFORME DE ANÁLISIS ESPECIAL EN FOLIAR

SOLICITANTE : JOE PEREZ

PROCEDENCIA : LIMA/ HUARAL/ CHANCAY

MUESTRA : PAPAS

REFERENCIA : H.R. 87283

BOLETA : 7694

FECHA : 27/11/2025

| N. Lab. | CLAVE DE CAMPO | N %  | P %  | K %  | Ca % | Mg % | S %  |
|---------|----------------|------|------|------|------|------|------|
| 4173    | T4B1           | 1.15 | 0.15 | 1.87 | 0.06 | 0.11 | 0.11 |
| 4174    | T4B2           | 0.99 | 0.16 | 1.76 | 0.05 | 0.11 | 0.09 |
| 4175    | T4B3           | 0.76 | 0.11 | 1.79 | 0.09 | 0.11 | 0.02 |
| 4176    | T5B1           | 1.26 | 0.17 | 2.30 | 0.07 | 0.10 | 0.07 |
| 4177    | T5B2           | 0.81 | 0.19 | 2.50 | 0.08 | 0.13 | 0.12 |
| 4178    | T5B3           | 0.84 | 0.14 | 1.73 | 0.06 | 0.09 | 0.07 |
| 4179    | T6B1           | 0.70 | 0.09 | 1.75 | 0.06 | 0.08 | 0.01 |
| 4180    | T6B2           | 0.67 | 0.17 | 1.90 | 0.07 | 0.11 | 0.13 |
| 4181    | T6B3           | 0.70 | 0.12 | 1.78 | 0.07 | 0.09 | 0.10 |

***Dra. Lily Tello Peramás***  
***Jefa de Laboratorio***

***Figura 2: Análisis foliar segundos tratamientos***



*Figura 3: Secado de la papa en plástico*



*Figura 4: Peso seco de los tratamientos 1 y 2*



*Figura 5: Peso seco de los tratamientos 3 y 4*



*Figura 6: Peso seco de los tratamientos 5 y 6*