



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y**

**RECURSOS NATURALES**

**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES TIPOS DE  
MICRONUTRIENTES QUELANTES EN EL DESARROLLO  
VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum L*),  
VARIEDAD SUPERCHOLA, EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA,  
CANTÓN MEJÍA, PARROQUIA MACHACHI 2024”**

Proyecto de Investigación presentado previo a la obtención del Título de  
Ingeniero Agrónomo

**Autor:** Montatixe Cola Joel  
Mauricio

**Tutor:**  
Yauli Chicaiza Guido Euclides

**LATACUNGA – ECUADOR**

**Febrero 2025**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Montatixe Cola Joel Mauricio, con cédula de ciudadanía No. 17263040331, declaro ser autor del presente Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES TIPOS DE MICRONUTRIENTES QUELANTES EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L), VARIEDAD SUPERCHOLA, EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTÓN MEJÍA, PARROQUIA MACHACHI 2024”**, siendo el Ingeniero Mg. Guido Euclides Yauli Chicaiza, Tutor del presente trabajo; y, eximo expresamente a la Universidad Técnica de Cotopaxi y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales.

Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, son de mi exclusiva responsabilidad.

Latacunga, 20 de febrero del 2025



Joel Mauricio Montatixe Cola  
C.C: 1726304031  
**ESTUDIANTE**

## **CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR**

Comparecen a la celebración del presente instrumento de cesión no exclusiva de obra, que celebran de una parte **MONTATIXE COLA JOEL MAURICIO**, identificado con cédula de ciudadanía **1726304031** de estado civil soltero, a quien en lo sucesivo se denominará **EL CEDENTE**; y, de otra parte, la Doctora Idalia Eleonora Pacheco Tigselema, en calidad de Rectora, y por tanto representante legal de la Universidad Técnica de Cotopaxi, con domicilio en la Av. Simón Rodríguez, Barrio El Ejido, Sector San Felipe, a quien en lo sucesivo se le denominará **LA CESIONARIA** en los términos contenidos en las cláusulas siguientes:

**ANTECEDENTES: CLÁUSULA PRIMERA.** – **EL CEDENTE** es una persona natural estudiante de la carrera de Agronomía, titular de los derechos patrimoniales y morales sobre el trabajo de grado **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES TIPOS DE MICRONUTRIENTES QUELANTES EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum L*), VARIEDAD SUPERCHOLA, EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTÓN MEJÍA, PARROQUIA MACHACHI 2024.”**, la cual se encuentra elaborada según los requerimientos académicos propios de la Facultad; y, las características que a continuación se detallan: **Historial Académico**

Inicio de la carrera: mayo 2020 – septiembre 2020

Finalización de la carrera: octubre 2024 – marzo 2025

Aprobación en Consejo Directivo: 12 de diciembre del 2024

Tutor: Ing. Guido Euclides Yauli Chicaiza, Mg.

Tema: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES TIPOS DE MICRONUTRIENTES QUELANTES EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum L*), VARIEDAD SUPERCHOLA, EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTÓN MEJÍA, PARROQUIA MACHACHI 2024.”**

**CLÁUSULA SEGUNDA.** - **LA CESIONARIA** es una persona jurídica de derecho público creada por ley, cuya actividad principal está encaminada a la educación superior formando profesionales de tercer y cuarto nivel normada por la legislación ecuatoriana la misma que establece como requisito obligatorio para publicación de trabajos de investigación de grado en su repositorio institucional, hacerlo en formato digital de la presente investigación.

**CLÁUSULA TERCERA.** - Por el presente contrato, **EL CEDENTE** autoriza a **LA CESIONARIA** a explotar el trabajo de grado en forma exclusiva dentro del territorio de la República del Ecuador.

**CLÁUSULA CUARTA.** - **OBJETO DEL CONTRATO:** Por el presente contrato **EL CEDENTE**, transfiere definitivamente a **LA CESIONARIA** y en forma exclusiva los siguientes derechos patrimoniales; pudiendo a partir de la firma del contrato, realizar, autorizar o prohibir:

- a) La reproducción parcial del trabajo de grado por medio de su fijación en el soporte informático conocido como repositorio institucional que se ajuste a ese fin.
- b) La publicación del trabajo de grado.
- c) La traducción, adaptación, arreglo u otra transformación del trabajo de grado con fines académicos y de consulta.
- d) La importación al territorio nacional de copias del trabajo de grado hechas sin autorización del titular del derecho por cualquier medio incluyendo mediante transmisión.
- e) Cualquier otra forma de utilización del trabajo de grado que no está contemplada en la ley como excepción al derecho patrimonial.



**CLAUSULA QUINTA.** - El presente contrato se lo realiza a título gratuito por lo que **LA CESIONARIA** no se halla obligada a reconocer pago alguno en igual sentido **EL CEDENTE** declara que no existe obligación pendiente a su favor.

**CLÁUSULA SEXTA.** - El presente contrato tendrá una duración indefinida, contados a partir de la firma del presente instrumento por ambas partes.

**CLÁUSULA SÉPTIMA. - CLÁUSULA DE EXCLUSIVIDAD.** - Por medio del presente contrato, se cede en favor de **LA CESIONARIA** el derecho a explotar la obra en forma exclusiva, dentro del marco establecido en la cláusula cuarta, lo que implica que ninguna otra persona incluyendo **EL CEDENTE** podrá utilizarla.

**CLÁUSULA OCTAVA. - LICENCIA A FAVOR DE TERCEROS.** - **LA CESIONARIA** podrá licenciar la investigación a terceras personas siempre que cuente con el consentimiento de **EL CEDENTE** en forma escrita.

**CLÁUSULA NOVENA.** - El incumplimiento de la obligación asumida por las partes en la cláusula cuarta, constituirá causal de resolución del presente contrato. En consecuencia, la resolución se producirá de pleno derecho cuando una de las partes comunique, por carta notarial, a la otra que quiere valerse de esta cláusula.

**CLÁUSULA DÉCIMA.** - En todo lo no previsto por las partes en el presente contrato, ambas se someten a lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, Código Civil y demás del sistema jurídico que resulten aplicables.

**CLÁUSULA UNDÉCIMA.** - Las controversias que pudieran suscitarse en torno al presente contrato, serán sometidas a mediación, mediante el Centro de Mediación del Consejo de la Judicatura en la ciudad de Latacunga. La resolución adoptada será definitiva e inapelable, así como de obligatorio cumplimiento y ejecución para las partes y, en su caso, para la sociedad. El costo de tasas judiciales por tal concepto será cubierto por parte del estudiante que lo solicitare.

En señal de conformidad las partes suscriben este documento en dos ejemplares de igual valor y tenor en la ciudad de Latacunga, a los 20 días del mes de febrero del 2025.



Joel Mauricio Montatixe Cola  
**EL CEDENTE**

Dra. Idalia Pacheco Tigselema, Ph.D.  
**LA CESIONARIA**

## AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

En calidad de Tutor del Proyecto de Investigación sobre el título:

**“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES TIPOS DE MICRONUTRIENTES QUELANTES EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*), VARIEDAD SUPERCHOLA, EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTÓN MEJÍA, PARROQUIA MACHACHI”**, de Montatixe Cola Joel Mauricio de la carrera de Agronomía, considero que el presente trabajo investigativo es merecedor del aval de aprobación al cumplir las normas, técnicas y formatos previstos, así como también ha incorporado las observaciones y recomendaciones propuestas en la pre-defensa.

Latacunga, 20 de febrero del 2025



Ing. Guido Euclides Yauli Chicaiza, Mg.

C.C: 0501604409

**DOCENTE TUTOR**

## AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN

En calidad de Tribunal de Lectores, aprobamos el presente Informe de Investigación de acuerdo a las disposiciones reglamentarias emitidas por la Universidad Técnica de Cotopaxi; y, por la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales; por cuanto, el postulante: Montatixe Cola Joel Mauricio con el título de Proyecto de Investigación: **“EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES TIPOS DE MICRONUTRIENTES QUELANTES EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum*), VARIEDAD SUPERCHOLA, EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTÓN MEJÍA, PARROQUIA MACHACHI**, ha considerado las recomendaciones emitidas oportunamente y reúne los méritos suficientes para ser sometido al acto de sustentación del trabajo de titulación.

Por lo antes expuesto, se autoriza grabar los archivos correspondientes en un CD, según la normativa institucional.

Latacunga, 20 de febrero del 2025



Ing. Diana Toapanta Gallegos, Mg.  
C.C: 1002749800  
**LECTOR 1 (PRESIDENTE)**



Ing. Alexandra Tapia Borja, Mg.  
C.C: 0502661754  
**LECTOR 2 (MIEMBRO)**



Ing. Guadalupe de las Mercedes Lopez Castillo, Mg.  
C.C: 1801902907  
**LECTOR 3 (MIEMBRO)**

## **AGRADECIMIENTO**

*Agradezco a Dios por brindarme la fortaleza, la sabiduría y la perseverancia necesarias para culminar esta etapa importante de mi vida. Mi más profundo agradecimiento a mi madre, cuyo amor incondicional, sacrificio y apoyo constante han sido mi mayor motivación, incluso en los momentos de mayor dificultad. Asimismo, expreso mi gratitud a mis docentes de la Universidad Técnica de Cotopaxi, en especial al Ing. Yauli Chicaiza Guido Euclides, por su valioso apoyo y guía durante todo el proceso de mi proyecto de investigación. Su experiencia, disposición para resolver dudas y su compromiso con el desarrollo de mi trabajo fueron fundamentales para alcanzar los objetivos propuestos.*

**Joel Mauricio Montatixe Cola**

## **DEDICATORIA**

*Dedico este trabajo a todas las personas que han sido fundamentales en esta etapa de mi vida. En especial, a mi madre, Blanca Cola, que a pesar de las adversidades ha sido un pilar esencial, brindándome su amor, sabios consejos y su apoyo incondicional que me han impulsado a dar siempre lo mejor de mí. Su esfuerzo y sacrificio constante han sido la base que me han permitido alcanzar esta meta. A mis queridos abuelitos, María Chilig y José Cola, por su cariño inagotable y su apoyo incondicional en cada paso de mi vida. A mi hermano, Nelson Cola, por su acompañamiento y apoyo a lo largo de mi carrera. A todos mis familiares, quienes con sus palabras de aliento y motivación me han acompañado y fortalecido en este proceso. Gracias a cada uno de ustedes por ser parte de este logro. Y, por último, pero no menos importante, a mi enamorada, Grace, quien me ha acompañado incondicionalmente desde el inicio de mi carrera, por su apoyo sincero y constante, y por sus palabras de ánimo.*

*Joel Mauricio Montatixe Cola*

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**TÍTULO:** “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES TIPOS DE MICRONUTRIENTES QUELANTES EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum L*), VARIEDAD SUPERCHOLA, EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTÓN MEJÍA, PARROQUIA MACHACHI 2024”

**Autor:** Montatixe Cola Joel Mauricio

### RESUMEN

La presente investigación titulada “Evaluación del efecto de tres tipos de micronutrientes quelantes en el desarrollo vegetativo del cultivo de papa (*Solanum tuberosum L*), variedad Superchola, en la provincia de Pichincha, cantón Mejía, parroquia Machachi 2024”, tuvo como objetivo principal evaluar el efecto agronómico de tres micronutrientes quelantes en parámetros críticos de crecimiento, proporcionando una nutrición adicional para optimizar el desarrollo del cultivo. Para ello, se analizaron siete variables agrupadas en tres categorías: crecimiento aéreo, desarrollo radicular y productividad, con el fin de determinar la influencia de los tratamientos en el desarrollo del cultivo. Se empleó una metodología experimental con un diseño de bloques completamente al azar (DBCA) y un arreglo factorial (3x2+1), considerando tres tipos de micronutrientes quelantes y dos frecuencias de aplicación, además de un tratamiento testigo sin aplicación. Los datos recolectados fueron sometidos a análisis estadístico mediante ANOVA y prueba de Tukey al 5% para establecer diferencias significativas entre los tratamientos. Los resultados evidenciaron que el micronutriente quelante sintético obtuvo el mejor desempeño en todas las variables evaluadas, alcanzando una altura de la planta de 73.67 cm y un diámetro de tallo de 16.75 mm a los 85 días. Asimismo, se registró un peso de raíz de 136.58 g, un volumen de raíz de 206 ml, 73 estolones y un promedio de 130 tubérculos, todos estos datos obtenidos en la etapa de tuberización. En este sentido, el uso de micronutrientes quelantes, representan una opción viable para mejorar el rendimiento nutricional del cultivo de papa, reduciendo la dependencia de fertilizantes simples y contribuyendo a un manejo más sostenible en los suelos agrícolas de Machachi.

**Palabras clave:** Micronutrientes quelantes, *Solanum tuberosum L*, desarrollo vegetativo

**UNIVERSIDAD TÉCNICA DE COTOPAXI**

## FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS Y RECURSOS NATURALES

**THEME** ‘EVALUATION OF THE EFFECT OF THREE TYPES OF CHELANT MICRONUTRIENTS ON THE VEGETATIVE DEVELOPMENT OF POTATO (*Solanum tuberosum* L), SUPERCHOLA VARIETY, IN THE PROVINCE OF PICHINCHA, CANTÓN MEJÍA, PARROQUIA MACHACHI 2024’.

**Author:** Montatixe Cola Joel Mauricio

### ABSTRACT

The present research entitled ‘Evaluation of the effect of three types of chelating micronutrients on the vegetative development of the potato crop (*Solanum tuberosum* L), Superchola variety, in the province of Pichincha, canton Mejía, parish Machachi 2024’, had as main objective to evaluate the agronomic effect of three chelating micronutrients on critical growth parameters, providing additional nutrition to optimize the development of the crop. For this purpose, seven variables grouped into three categories were analysed: aerial growth, root development and productivity, in order to determine the influence of the treatments on crop development. An experimental methodology was used with a completely randomized block design (DBCA) and a factorial arrangement (3x2+1), considering three types of chelating micronutrients and two application frequencies, in addition to a control treatment without application. . The data collected were subjected to statistical analysis using ANOVA and Tukey's test at 5% to establish significant differences between treatments. The results showed that the synthetic chelating micronutrient obtained the best performance in all the variables evaluated, reaching a plant height of 73.67 cm and a stem diameter of 16.75 mm after 85 days. Also, a root weight of 136.58 g, a root volume of 206 ml, 73 stolon and an average of 130 tubers were recorded, all these data obtained at the tuberization stage. In this sense, the use of chelating micronutrients represents a viable option to improve the nutritional yield of the potato crop, reducing the dependence on simple fertilizers and contributing to a more sustainable management in the agricultural soils of Machachi.

**KEY WORDS:** Chelating micronutrients, *Solanum tuberosum* L, vegetative development.

### ÍNDICE DE CONTENIDO

DECLARACIÓN DE AUTORÍA .....	ii
------------------------------	----

CONTRATO DE CESIÓN NO EXCLUSIVA DE DERECHOS DE AUTOR .....	iii
AVAL DEL TUTOR DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN .....	v
AVAL DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE TITULACIÓN .....	vi
AGRADECIMIENTO .....	vii
DEDICATORIA .....	viii
RESUMEN .....	ix
ABSTRACT .....	x
1 INFORMACIÓN GENERAL .....	1
2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO .....	2
3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO .....	3
4 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN .....	3
4.1 Formulación del problema .....	6
5 OBJETIVOS.....	6
6 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS .....	7
7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA .....	9
7.1 Papa ( <i>Solanum tuberosum</i> L) .....	9
7.1.1 Origen y evolución .....	9
7.2 Requerimientos edáficos y climáticos .....	10
7.2.1 Temperatura .....	10
7.2.2 Luminosidad .....	11
7.2.3 Agua .....	11

7.2.4	Suelo	.....	
		.....	12
7.3	Morfología	.....	
			14
7.3.1	Raíz	.....	
		.....	14
7.3.2	Tallos	.....	
		.....	14
7.3.3	Estolones	.....	
			15
7.3.4	Tubérculos	.....	
			15
7.3.5	Brotos	.....	
		....	16
7.3.6	Hojas	.....	
		.....	16
7.3.7	Inflorescencia	.....	17
			flor
7.3.8	Fruto	.....	
		.....	17
7.4	Etapas fenológicas de la papa	.....	
			17
7.5	Nutrición y manejo de nutrientes	.....	
			20
7.5.1	Compuestos	.....	20
			quelantes
7.5.2	Quelatos	.....	21
		de	hierro

7.5.3	Quelatos	de	manganeso	21
7.5.4	Quelatos	de	cobre	22
7.5.5	Quelatos	de	zinc	22
7.5.6	Micronutrientes y su importancia en la nutrición vegetal			23
7.5.7	Micronutriente sintético con quelación EDTA			23
7.5.8	Micronutriente orgánico con quelación a base de aminoácidos			24
7.5.9	Micronutrientes de cadena corta con quelación a base de ácidos orgánicos			25
8	VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS			26
8.1	Hipótesis Nula			26
8.2	Hipótesis alternativa			26
9	METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL			26
9.1	Ubicación de la investigación			26
9.2	Caracterización del lugar			27
9.2.1	Clima			27
9.2.2	Características	del	suelo	27
9.2.3	Humedad			27
9.3	Equipos y materiales			28

9.3.1	Material	experimental	28
9.3.2	Equipos	y herramientas	28
9.3.3	Materiales	de oficina	29
9.3.4	Materiales	varios	29
9.4	Factores de estudio .....		
	29		
9.4.1	Factor A	(Micronutrientes Quelantes)	29
9.4.2	Factor B	(Frecuencias)	29
9.4.3	Testigo .....		
	... 29		
9.5	Tratamientos .....		
	30		
9.6	Tipo de Investigación .....		
	31		
9.6.1	Cuantitativa .....		
	31		
9.7	Método de Investigación .....		
	31		
9.7.1	Experimental .....		
	31		
9.8	Técnica de investigación .....		
	31		
9.8.1	De	campo	31
9.8.2	Bibliográfica .....		
	32		

9.9	Diseño de Investigación .....	32
9.10	Características del ensayo .....	33
9.11	Esquema del ADEVA .....	33
9.12	Variables en estudio y datos registrados .....	33
9.12.1	Altura de la planta .....	33
9.12.2	Diámetro del tallo .....	34
9.12.3	Número de tallos por planta .....	34
9.12.4	Peso de la raíz .....	34
9.12.5	Volumen de la raíz .....	34
9.12.6	Número de estolones .....	35
9.12.7	Número de tubérculos .....	35
9.13	Manejo de la investigación .....	35
9.13.1	Características del lugar .....	35
9.13.2	Preparación del suelo .....	35
9.13.3	Delimitación de tratamientos y rotulación .....	35
9.13.4	Desinfección del suelo .....	36
9.13.5	Desinfección de las semillas .....	36
9.13.6	Abonadura .....	36

9.13.7	Siembra	.....	
	..	36	
9.13.8	Aplicación de los tratamientos	.....	36
9.13.9	Rascadillo	.....	
		37	
9.13.10	Medio Aporque y Aporque	.....	37
9.13.11	Control fitosanitario	.....	37
10	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	.....	38
10.1	Altura de la planta	.....	38
10.2	Diámetro del tallo	.....	43
10.3	Peso de la raíz	.....	46
10.4	Número de Tallos	.....	50
10.5	Volumen de la raíz	.....	51
10.6	Número de estolones	.....	55
10.7	Número de tubérculos	.....	59
11	IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)	.....	63
11.1	Impactos técnicos	.....	63
11.2	Impactos ambientales	.....	63
11.3	Impacto económico y social	.....	63
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	.....	64
12.1	Conclusiones	.....	64

12.2	Recomendaciones .....	64
13	BIBLIOGRAFÍA .....	65
14	ANEXOS .....	80
14.1	ANEXO 1. ALTURA DE LA PLANTA A LOS 40 DÍAS .....	80
14.2	ANEXO 2. ALTURA DE LA PLANTA A LOS 55 DÍAS .....	80
14.3	ANEXO 3. ALTURA DE LA PLANTA A LOS 70 DÍAS .....	81
14.4	ANEXO 4. ALTURA DE LA PLANTA A LOS 85 DÍAS .....	81
14.5	ANEXO 5. DIAMETRO DEL TALLO A LOS 40 DÍAS .....	81
14.6	ANEXO 6. DIAMETRO DEL TALLO A LOS 55 DÍAS .....	82
14.7	ANEXO 7. DIAMETRO DEL TALLO A LOS 70 DÍAS .....	82
14.8	ANEXO 8. DIAMETRO DEL TALLO A LOS 85 DÍAS .....	82
14.9	ANEXO 9. PESO DE LA RAIZ A LOS 3 MESES .....	83
14.10	ANEXO 10. NÚMERO DE TALLOS A LOS 55 DÍAS .....	83
14.11	ANEXO 11. VOLUMEN DE LA RAIZ EN LA ETAPA DE TUBERIZACIÓN .....	83
14.12	ANEXO 12. NÚMERO DE ESTOLONEN EN LA ETAPA DE TUBERIZACIÓN .....	84
14.13	ANEXO 13. NUMERO DE TUBÉRCULOS EN LA ETAPA DE TUBERIZACIÓN .....	84
14.14	ANEXO 14. FOTOGRAFIAS .....	85
14.15	PRESUPUESTO .....	88
14.16	ESQUEMA DEL ENSAYO.....	92
14.17	DATOS INFORMATIVOS DEL ESTUDIANTE .....	93
14.18	DATOS INFORMATIVOS DEL DOCENTE TUTOR.....	94
14.19	AVAL DEL TRADUCTOR.....	96

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados .....	7
<b>Tabla 2:</b> Descripción taxonómica .....	10
<b>Tabla 3:</b> Propiedades Físico químicas y biológicas del suelo .....	13
<b>Tabla 4:</b> Localización de la investigación .....	26
<b>Tabla 5:</b> Tratamientos .....	30
<b>Tabla 6</b> Características del ensayo .....	33
<b>Tabla 7</b> Esquema del ADEVA .....	33
<b>Tabla 8</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable altura de la planta.....	38
<b>Tabla 9</b> Prueba de Tukey al 5% para la variable altura de la planta en tratamientos .....	39
<b>Tabla 10</b> Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable altura de la planta .....	40
<b>Tabla 11</b> Prueba de Tukey al 5% para el Factor B en la variable altura de la planta .....	41
<b>Tabla 12</b> Prueba de Tukey al 5% para el Factor AxB en la variable altura de la planta42	
<b>Tabla 13</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable diámetro del tallo .....	43
<b>Tabla 14</b> Prueba de Tukey al 5% para la variable diámetro del tallo en tratamientos .....	44
<b>Tabla 15</b> Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable diámetro del tallo .....	45
<b>Tabla 16</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable peso de la raíz .....	46
<b>Tabla 17</b> Prueba de Tukey al 5% para la variable peso de la raíz en tratamientos .....	47
<b>Tabla 18</b> Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable peso de la raíz .....	48
<b>Tabla 19</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable número de tallos .....	50
<b>Tabla 20</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable volumen de la raíz .....	51
<b>Tabla 21</b> Prueba de Tukey al 5% para la variable volumen de la raíz en tratamientos .....	52
<b>Tabla 22</b> Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable volumen de la raíz .....	53
<b>Tabla 23</b> Prueba de Tukey al 5% para el Factor B en la variable volumen de la raíz .....	54
<b>Tabla 24</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable número de estolones .....	55
<b>Tabla 25</b> Prueba de Tukey al 5% para la variable número de estolones en tratamientos56	
<b>Tabla 26</b> Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable número de estolones57	
<b>Tabla 27</b> Prueba de Tukey al 5% para el Factor B en la variable número de estolones58	
<b>Tabla 28</b> Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable número de tubérculos .....	59
<b>Tabla 29</b> Prueba de Tukey al 5% para la variable número de tubérculos en tratamientos .....	60
<b>Tabla 30</b> Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable número de tubérculos61	

**Tabla 31** Prueba de Tukey al 5% para el Factor B en la variable número de tubérculos<sup>62</sup>

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1</b> Fases fenológicas de la papa .....	20
<b>Figura 2:</b> Localización de la investigación .....	29
<b>Figura 3</b> Promedios para tratamientos en la variable altura de la planta .....	43
<b>Figura 4</b> Promedio para el factor A en la variable altura de la planta .....	44
<b>Figura 5</b> Promedios para tratamientos en la variable diámetro del tallo .....	48
<b>Figura 6</b> Promedio del factor A para la variable diámetro del tallo .....	49
<b>Figura 7</b> Promedios para tratamientos en la variable peso de la raíz .....	51
<b>Figura 8</b> Promedio del factor A para la variable peso de la raíz .....	52
<b>Figura 9</b> Promedio de medias para la variable número de tallos .....	54
<b>Figura 10</b> Promedio para tratamientos en la variable volumen de la raíz .....	57
<b>Figura 11</b> Promedio del factor A para la variable volumen de la raíz .....	58
<b>Figura 12</b> Promedio del factor B para la variable volumen de la raíz .....	59
<b>Figura 13</b> Promedios para tratamientos en la variable número de estolones .....	61
<b>Figura 14</b> Promedio del factor A para la variable número de estolones .....	62
<b>Figura 15</b> Promedios para tratamientos en la variable número de tubérculos .....	65
<b>Figura 16</b> Promedio del factor A para la variable número de tubérculos .....	66
<b>Figura 17</b> Promedio del factor B para la variable número de tubérculos .....	67

## ÍNDICE DE IMÁGENES

<b>Imagen 1</b> Arado y surcado .....	85
<b>Imagen 2</b> Desinfección del suelo .....	85
<b>Imagen 3</b> Delimitación de parcelas y rotulado .....	85
<b>Imagen 4</b> Aplicación de tratamiento .....	86
<b>Imagen 5</b> Toma de datos .....	86



## 1 INFORMACIÓN GENERAL

**Título del Proyecto:** “EVALUACIÓN DEL EFECTO DE TRES TIPOS DE MICRONUTRIENTES QUELANTES EN EL DESARROLLO VEGETATIVO DEL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum L*), VARIEDAD SUPERCHOLA, EN LA PROVINCIA DE PICHINCHA, CANTÓN MEJÍA, PARROQUIA MACHACHI 2024”

**Fecha de inicio:** 30 septiembre/2024 **Fecha**

**de finalización:** 30 diciembre/2024

**Lugar de ejecución:**

**Barrio:** Puichig

**Parroquia:** Machachi

**Cantón:** Mejía

**Provincia:** Pichincha

**Zona:** 9

**Institución:** Universidad Técnica de Cotopaxi

**Facultad que auspicia:** Facultad de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales

**Carrera que auspicia:** Carrera de Agronomía **Equipo**

**de Trabajo:**

**Tutor:** Ing. Yauli Chicaiza Guido Euclides, Mg

**Lector 1:** Ing. Diana Toapanta Gallegos, Mg.

**Lector 2:** Ing. Alexandra Tapia Borja, Mg.

**Lector 3:** Guadalupe de las Mercedes Lopez Castillo, Mg.

**Coordinador del Proyecto:**

Nombre: Montatixe Cola Joel Mauricio

Teléfono: 0987489591

Correo electrónico: joel.montatixe4031@utc.edu.ec

**Área de Conocimiento:** Agronomía, Nutrición Vegetal

**Línea de investigación:** Desarrollo de seguridad alimentaria

**Sublínea de investigación:** Producción Agrícola Sostenible

## 2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

La papa es uno de los productos agrícolas más importantes en la provincia de Pichincha, desempeñando un papel fundamental en la economía local debido a su alta producción y consumo (Choque, Oviedo, Mamani, & Aparicio, 2021). Sin embargo, para garantizar un crecimiento óptimo del cultivo, es esencial proporcionar una nutrición adecuada que refuerce su rendimiento. La calidad y productividad de la papa se ven significativamente afectadas por la deficiencia de nutrientes en el suelo, lo que limita su desarrollo y disminuye el rendimiento del cultivo (Monteza, 2020). Por ello, esta investigación se enfoca en proporcionar una nutrición adicional mediante el balance adecuado de micronutrientes, corrigiendo deficiencias de hierro, zinc y manganeso, elementos clave que pueden limitar el rendimiento óptimo del suelo.

El desarrollo óptimo del cultivo de papa (***Solanum tuberosum* L**) en Machachi está condicionado por las características físico - químicas del suelo, que influyen directamente en la absorción de nutrientes. Aunque los suelos volcánicos de la región presentan una fertilidad natural media, su pH ácido (5.8 - 6.2) limita la disponibilidad de ciertos microelementos esenciales, provocando ineficiencia en la absorción de nutrientes, lo que afecta el crecimiento vegetativo y reduce el rendimiento de los tubérculos (Zurita, 2018).

Para poder abordar esta limitación, esta investigación evalúa el efecto de los micronutrientes quelantes (sintético, orgánico y de cadena corta) en el desarrollo vegetativo del cultivo de papa, con el propósito de mejorar la absorción y disponibilidad de nutrientes.

Estudios previos han demostrado que los quelantes pueden aumentar la eficiencia nutricional al reducir las interacciones con cationes de aluminio ( $Al^{3+}$ ) y hierro ( $Fe^{3+}$ ), que tienden a formar compuestos insolubles con el fósforo en suelos ácidos. Además, favorecen la absorción de micronutrientes como calcio (Ca) y manganeso (Mn), promoviendo un metabolismo más eficiente y mejorando la fisiología de la planta (Gutierrez, 2018).

### **3 BENEFICIARIOS DEL PROYECTO**

Según el último censo realizado por el (Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC), 2022) la población de Machachi es de 32.814 habitantes. En la provincia de Pichincha se cultivan 1.369 hectáreas de papa, de las cuales se cosechan 1.148, con una producción estimada de 12.369 toneladas. En el cantón, aproximadamente el 30% de la población rural se dedica a la agricultura, lo que representa un estimado de 1.686 personas.

#### **Beneficiarios directos:**

- 1.686 agricultores, de los cuales 800 son hombres y 886 son mujeres.

#### **Beneficiarios indirectos:**

- Considerando que cada agricultor representa una familia de aproximadamente 4 personas, se estima que el impacto indirecto alcanzará a 6.744 personas, de las cuales 3.202 son hombres y 3.542 son mujeres.

### **4 EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

A nivel mundial, el cultivo de papa (***Solanum tuberosum L***) enfrenta grandes desafíos relacionados con el deterioro del suelo, el cambio climático y la dependencia de fertilizantes simples. Como uno de los cultivos más consumidos en el planeta, su sostenibilidad es crucial para la seguridad alimentaria. Sin embargo, el uso excesivo de agroquímicos y las prácticas agrícolas intensivas han generado un agotamiento progresivo de los suelos, reduciendo su fertilidad y afectando los rendimientos (Dominguez, Nuñez, Piñeiro, & Barral, 2019).

En Latinoamérica, la variabilidad de suelos impone desafíos específicos en la fertilidad agrícola. En regiones andinas de países como Perú, Bolivia y Ecuador, los suelos tienden a ser ácidos (pH menor a 5.5) lo que disminuye la disponibilidad de nutrientes clave como fósforo (P), calcio (Ca) y magnesio (Mg). La baja capacidad de intercambio catiónico en estos suelos limita la retención de nutrientes, lo que obliga a los productores a recurrir al uso excesivo de fertilizantes químicos, muchas veces sin análisis previos, lo que puede generar toxicidad en el suelo y contaminación de fuentes de agua (Calizaya, y otros, 2023).

En contraste, en Ecuador, los suelos poseen un pH ácido, con valores entre 5.8 y 6.2, lo que limita la disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales como fósforo (P), calcio (Ca) y manganeso (Mn) (Espin , 2024 ). Sin embargo, el uso de quelantes con micronutrientes como el zinc, cobre y manganeso ha demostrado influir positivamente en el desarrollo y crecimiento de las plantas. La papa es el segundo cultivo más importante en la Sierra ecuatoriana después del maíz, con una creciente producción que involucra a aproximadamente 80.000 agricultores en su cultivo y comercialización (Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP), 2024 ).

En provincias como Carchi, el rendimiento promedio de la papa es de 21.7 t/ha, influenciado por la heterogeneidad climática y los vientos cálidos provenientes de la zona amazónica que afectan la franja de la cordillera occidental (Andrade, y otros, 2022). Un estudio realizado por (Hinojosa, y otros, 2021), señala que en provincias como Imbabura y Cotopaxi, la saturación de bases varía entre 40% y 60%, indicando una fertilidad moderada. No obstante, el contenido de aluminio intercambiable oscila entre 1.5 y 3.0 cmol/kg, lo que puede reducir la absorción de calcio y fósforo.

A nivel local, Machachi, se caracteriza por su escalonamiento vertical y diversidad en el relieve, lo que da lugar a suelos clasificados como Andisoles, suborden Udands y gran grupo Fulvudands (Zurita, 2018). Estos suelos tienen alta profundidad, buen drenaje y elevada materia

orgánica, pero presentan un pH ácido (5.8 – 6.2), lo que genera limitaciones en la absorción de nutrientes esenciales. Además, la alta presencia de alofán contribuye a la fijación de fósforo, reduciendo su disponibilidad para las plantas.

Uno de los principales factores que afectan la productividad en Machachi es la fijación de fósforo afectando directamente la formación del tubérculo. Asimismo, el contenido de calcio (Ca) y manganeso (Mn) en estos suelos no siempre es suficiente para suplir las necesidades del cultivo, lo que compromete la estructura celular y la resistencia a enfermedades. La elevada capacidad de intercambio catiónico (18 – 20 meq/100g) indica un buen potencial para la retención de nutrientes, pero si no se gestiona adecuadamente, puede provocar acumulación de aluminio intercambiable, inhibiendo la absorción de calcio y manganeso (Zurita, 2018).

El proceso de quelación de nutrientes ha sido identificado como una solución eficaz para mejorar la biodisponibilidad de los micronutrientes. Según (Llatas, 2022), la quelación en la agricultura permite la solubilización y estabilidad de nutrientes esenciales, mejorando la absorción radicular. Agentes quelantes orgánicos como el EDTA forman complejos estables con iones metálicos como zinc, hierro y manganeso, evitando su inmovilización en el suelo y aumentando su disponibilidad para las plantas. La aplicación de quelantes ha demostrado aumentar en un 30 % la absorción de micronutrientes, optimizando el rendimiento del cultivo. (Mendoza & Mina, 2021) señalan que la absorción radicular eficiente es clave para la correcta captación de agua y nutrientes, favoreciendo la bioestimulación y un crecimiento adecuado del cultivo.

#### **4.1 Formulación del problema**

¿Cómo influye la aplicación foliar de micronutrientes quelantes en la absorción de nutrientes y el rendimiento del cultivo de papa en los suelos agrícolas de Machachi?

## **5 OBJETIVOS**

### 5.1 General

- Evaluar el efecto de tres tipos de micronutrientes quelantes, con dos frecuencias en el desarrollo vegetativo del cultivo de papa (*Solanum Tuberosum* L) var.

“SUPERCHOLA”

### 5.2 Específicos

- Determinar el comportamiento agronómico en la absorción de nutrientes en las plantas de papa tratadas con micronutrientes quelantes en comparación con las parcelas de control.
- Analizar la frecuencia de aplicación más efectiva en el cultivo de papa.

## 6 ACTIVIDADES Y SISTEMA DE TAREAS EN RELACIÓN A LOS OBJETIVOS PLANTEADOS

*Tabla 1 Actividades y sistema de tareas en relación a los objetivos planteados*

OBJETIVO	ACTIVIDADES	METODOLOGÍA	RESULTADOS
ESPECÍFICO 1	Selección	y	p r

e  
p

<p>Determinar comportamiento agronómico en la absorción de nutrientes en las plantas de papa tratadas con cada tipo de quelantes comparación con las parcelas de control.</p> <p>Se utilizará un</p>	<p>aración del suelo.</p> <p>Siembra de papa en parcelas experimentales. Aplicación de tratamientos (micronutrientes de quelantes y control).</p> <p>Monitoreo del comportamiento de las micronutrientes plantas: altura de la en planta, diámetro del tallo, peso de la raíz, número de tallos, volumen de la raíz, número de estolones y número de tubérculos.</p> <p>Análisis estadístico de los datos.</p>	<p>Diseño de Bloques Completamente Azar (DBCA) con un arreglo factorial de <math>3 \times 2 + 1</math> (<math>A \times B + 1</math>), donde Factor A es el tipo de micronutriente (sintético, orgánico y cadena corta) y Factor B es la frecuencia de aplicación (cada 10 y 15 días).</p> <p>Se utilizarán semillas de la variedad <i>Superchola</i>, asegurando</p> <p>Caracterización del</p>	<p>y al establecimiento del diseño experimental. Base de datos con registros para análisis comparativo.</p> <p>Determinar el efecto de los micronutrientes quelantes en la absorción de nutrientes para el crecimiento del cultivo. Comparación de las variables evaluadas según el tratamiento aplicado.</p>
--	--	---	---

---

uniformidad en la plantación. Identificar el micronutriente quelante eficiente en más producción de desarrollo la del vegetativo. del

Implementación de diferentes tipos de micronutrientes quelantes.

Medición periódica de las variables a evaluar.

Aplicación de pruebas estadísticas,

ANOVA y prueba de Tukey para evaluar diferencias significativas entre tratamientos.

<b>OBJETIVO</b>	<b>ACTIVIDADES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	<b>RESULTADOS</b>
<b>ESPECÍFICO 2</b>			
Analizar la frecuencia de aplicación más efectiva en el cultivo de papa.	Aplicación de dosis, las mismas que fueron establecidas en el producto. Aplicación de tratamientos con diferentes	Implementación de tratamientos con las frecuencias establecidas (cada 10 y 15 días). Medición periódica de las variables.	Registro sistemático de cada aplicación y control de variables. Base de datos con registros para análisis comparativo.

frecuencias cada 10 días y 15 días. Uso de herramientas como ANOVA y prueba de Tukey al 5% para determinar diferencias significativas entre tratamientos. Identificación de la frecuencia de aplicación más efectiva con respaldo estadístico.

Monitoreo del comportamiento agronómico en cada frecuencia establecida.

Análisis estadístico de los datos.

---

Elaborado por: (Montatixe, 2024)

## 7 FUNDAMENTACIÓN CIENTÍFICO TÉCNICA

### 7.1 Papa (*Solanum tuberosum* L)

La papa es uno de los cultivos agrícolas más importante a escala mundial, destacándose por su alto valor nutricional, ya que es una fuente rica en carbohidratos, minerales, vitaminas y compuestos bioactivos. Su capacidad de adaptación a diversas condiciones agroecológicas la convierte en un cultivo clave para la seguridad alimentaria y el desarrollo agrícola. Según (Mendoza & Mina, 2021), este tubérculo no solo se considera una fuente esencial de alimentos y carbohidratos, sino que también desempeña un papel significativo en la generación de empleo y en el crecimiento económico de comunidades rurales, especialmente en regiones andinas donde su producción es predominante.

#### 7.1.1 Origen y evolución

La papa (***Solanum tuberosum* L**) tiene su origen en los Andes de América del Sur, específicamente en áreas como Perú y Bolivia. Según un informe de la (FAO, 2020), esta especie de la familia *Solanaceae* es una planta dicotiledónea que desarrolla órganos

subterráneos llamados tubérculos, los cuales actúan como una reserva de energía en forma de almidón, su principal fuente metabólica. Se estima que la domesticación de la papa ocurrió hace más de 8.000 años, y con el tiempo se han desarrollado nuevas variedades caracterizadas por su alta resistencia y adaptabilidad a condiciones climáticas extremas (Guamán, 2022).

Los estudios filogenéticos y taxonómicos han sido fundamentales para la identificación de especies y subespecies del género *Solanum*, especialmente en el ámbito de la mejora genética y la resistencia a enfermedades. De acuerdo con (Alvarado, 2021), la aplicación de técnicas moleculares ha permitido establecer relaciones evolutivas entre especies silvestres y cultivadas, facilitando el desarrollo de variedades con mayor capacidad de adaptación al cambio climático y mayor resistencia a patógenos como *Phytophthora infestans*.

**Tabla 2:** Descripción taxonómica

<b>Categoría Taxonómica</b>	<b>Descripción</b>
Reino	Plantae (Plantas)
División	<i>Magnoliophyta</i> (Plantas con flor)
Clase	<i>Magnoliopsida</i> (Dicotiledóneas)
Orden	<i>Solanales</i>
Familia	<i>Solanáceas</i> (Solanáceas)
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Solanum tuberosum</i>

Nota: Descripción taxonómica de la papa *Solanum tuberosum* L, obtenido de: (Guamán, 2022).

## 7.2 Requerimientos edáficos y climáticos

### 7.2.1 Temperatura

La producción de papa está fuertemente influenciada por las condiciones climáticas, siendo la temperatura un factor determinante para el crecimiento óptimo del cultivo. Para lograr una adecuada tuberización, así como un crecimiento vegetativo óptimo y la correcta formación de tubérculos, se requiere un rango de temperatura entre 15°C y 20°C (Ulloa , Camacho , & Brenes , 2024).

Además, las variaciones térmicas entre el día y la noche deben mantener un rango mínimo de 10°C, ya que los cambios bruscos de temperatura pueden afectar negativamente el crecimiento vegetativo y la formación de los tubérculos. Este proceso debe complementarse con fotoperiodos cortos, lo que proporciona condiciones ideales para optimizar el rendimiento del cultivo (Zeballos, 2024).

### **7.2.2 Luminosidad**

La luminosidad es un factor clave en el crecimiento de la planta, ya que permite el adecuado funcionamiento de los cloroplastos, lo que desencadena una serie de reacciones en las que intervienen el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) y el agua para la formación de azúcares. Estos compuestos son transportados y almacenados en los tubérculos, contribuyendo a su desarrollo.

Además, la luminosidad juega un papel clave en el fotoperiodo, lo cual regula el crecimiento y la formación de tubérculos (Palomino, 2024). El fotoperiodo actúa como un estímulo que las hojas perciben y transmiten a los ápices de crecimiento, favoreciendo la acumulación de carbohidratos y, por lo tanto, la producción del (Sandaña, 2022).

### **7.2.3 Agua**

El suelo debe mantener una saturación adecuada, ya que esto influye directamente en el crecimiento de la planta, la absorción de nutrientes y la eficiencia del proceso fotosintético. Un déficit de agua puede provocar clorosis, una condición fisiológica caracterizada por la pérdida de clorofila. Según (Pino, 2018), esta afección se manifiesta con el amarillamiento de las hojas entre las nervaduras y está relacionado con la deficiencia de nutrientes esenciales como el hierro y el manganeso, lo que impacta negativamente en el rendimiento del cultivo.

Por otro lado, un exceso de humedad favorece el desarrollo de enfermedades. De acuerdo con (Cespédes, 2018), “la acumulación de agua reduce considerablemente la aireación del suelo, limita la oxigenación en el sistema radicular y favorece la aparición de infecciones

en la planta. Estas condiciones incrementan la diseminación de esporas de plagas”. Por ello, el rango óptimo de humedad del suelo debe situarse entre el 60% y el 80% de su capacidad de campo cuando el tubérculo ya está formado (Chiguano, 2024).

Asimismo, para determinar el requerimiento hídrico del cultivo, es fundamental considerar la Evapotranspiración (ET<sub>o</sub>), la cual expresa la cantidad de agua que se evapora en la atmosfera en un lugar y tiempo específico. A partir de este valor, se calcula la Evapotranspiración estándar del cultivo (ET<sub>c</sub>), cuya relación con la (ET<sub>o</sub>) está definida mediante el coeficiente de cultivo (K<sub>c</sub>) (Quimbita, 2024).

#### **7.2.4 Suelo**

Para el cultivo de papa, los suelos más adecuados son aquellos con textura franco – arcillosa, franco – arenosa, franco – franco y franco – limosa. Es fundamental que el suelo sea liviano y tenga un correcto drenaje para evitar la acumulación excesiva de humedad. Además, la profundidad del suelo debe ser superior a 0.50 m, lo que permite un desarrollo óptimo de los tubérculos y estolones, facilitando así la cosecha (Zuñiga, Morales, & Estrada, 2017).

En la Tabla 3 se presentan las características fisicoquímicas y biológicas ideales para el cultivo de papa.

**Tabla 3:** *Propiedades Físico químicas y biológicas del suelo*

<b>Propiedad</b>	<b>Rango Óptimo</b>
<b>Propiedades Físicas</b>	
Textura	Franca
Profundidad efectiva	> 50 cm
Densidad aparente	1.20 g x cm <sup>3</sup>
Color	Oscuro
Contenido de materia orgánica	> 3.5%
Drenaje	Bueno
Capacidad de retención de agua	Buena capacidad de campo
Topografía	Plana, semi plana y ondulada de 4% hasta 8 % de pendiente
<b>Propiedades Químicas pH</b>	
	5.5 – 6
N (Nitrógeno)	Variable
P (Fósforo)	> 28 mg kg <sup>-1</sup>
K (Potasio)	> 5%
Ca <sup>++</sup> (Calcio)	65%
Mg <sup>++</sup> (Magnesio)	18%
Acidez total	< 10%
Conductividad eléctrica	< 4 dsm <sup>-1</sup>
<b>Propiedades Biológicas</b>	
Presencia de microorganismos beneficiosos a la fertilidad del suelo	Muy alta

Nota: Rangos adecuados para el crecimiento óptimo del cultivo de papa, fuente: (Molina, et al., 2014).

El cultivo de papa enfrenta desafíos debido a su alta susceptibilidad a plagas y enfermedades, como el tizón tardío, que genera graves pérdidas económicas para los agricultores. Según (Wilches, 2019), el manejo integrado de plagas, la rotación de cultivos y el monitoreo constante ayudan a minimizar los daños causados por patógenos y plagas como *Phytophthora infestans*.

En este contexto, la implementación adecuada de estas estrategias no solo mejora el rendimiento del cultivo, sino que también reduce la dependencia de agroquímicos, contribuyendo a la sostenibilidad agrícola. Sin embargo, para que estos procedimientos sean efectivos, es fundamental realizar supervisiones regionalizadas mediante el uso de técnicas avanzadas de detección temprana. Entre estas técnicas se encuentran los sensores remotos y la teledetección, que permite identificar cambios en el vigor vegetativo, la humedad del suelo y la presencia de plagas o enfermedades. Además, es posible utilizar pruebas de diagnóstico molecular, como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR), a través del análisis de ADN o ARN (Canto, 2019).

### **7.3 Morfología**

#### **7.3.1 Raíz**

Si la planta de papa se desarrolla a partir de una semilla, se formará una raíz axonomorfa con ramificaciones laterales. Durante el crecimiento del tubérculo, primero se desarrollan las raíces adventicias, las cuales emergen en la base de cada brote. Además, los nudos ubicados en la parte subterránea de cada tallo generan raíces a través de los estolones (Inostroza, Méndez, & Sotomayor, 2023).

Es importante destacar que, si el sistema radicular de la papa es débil, será fundamental que el suelo cuente con condiciones físicas, químicas y biológicas adecuadas. Esto permitirá que la raíz presente variaciones en su desarrollo, desde una estructura delicada a superficial hasta un sistema de fibroso a profundo (Tene, 2024).

#### **7.3.2 Tallos**

El sistema de tallos de la planta de papa está compuesto por tallos, estolones y tubérculos. Las plantas que provienen de semilla desarrollan un único tallo principal, mientras que aquellas originadas de un tubérculo semilla generan varios tallos. Al realizar un corte

transversal de estos tallos, se observa que tienen formas circulares o angulares, que pueden presentar alas o costillas. Las alas pueden ser rectas, dentadas u onduladas, y el color del tallo varía entre verde, rojizo, morado o marrón. Su estructura tiende a ser parcialmente sólida o tubular, lo que se debe a la desintegración de las células madre (Espinoza E. , 2022).

### **7.3.3 Estolones**

Los estolones de la papa (**Solanum tuberosum L**) desempeñan un rol crucial en la formación de los tubérculos subterráneos. Según (Jerez, Roberquí, Morales, & Escobar, 2017), los nudos de estas extensiones especializadas desarrollan raíces adventicias e inician la formación de los tubérculos de reserva cuando las condiciones ambientales son favorables, como temperaturas adecuadas y fotoperiodos óptimos (p.76).

Estas estructuras alargadas funcionan como vías para el almacenamiento y transporte de carbohidratos hacia los tubérculos en formación, favoreciendo la acumulación de almidón y el desarrollo de los tubérculos. Según (Arias, 2021), los estolones no solo tienen esta función de transporte, sino que también son determinantes para el crecimiento del cultivo.

La longitud y el número de estolones están influenciados por factores genéticos y ambientales, lo que representan un aspecto clave en la mejora agrícola de la papa. En este sentido, los estolones más cortos pueden mejorar la eficiencia y la productividad del cultivo (Peña J. , 2023).

### **7.3.4 Tubérculos**

Los tubérculos de la papa (**Solanum tuberosum L**) son órganos subterráneos engrosados que actúan como fuente de almacenamiento de carbohidratos, principalmente almidón, y tienen como función principal la propagación vegetativa de las plantas. Estos órganos requieren condiciones adecuadas de temperatura y fotoperiodo, ya que son esenciales para la producción agrícola. Los tubérculos también sirven como reservorio de energía durante

los periodos de hibernación, regulando la brotación y el crecimiento posterior a través de mecanismos internos. La formación de los tubérculos depende de varios factores, tales como la nutrición, el ambiente y la genética, lo cual es clave para lograr una producción sostenible del cultivo (Rodríguez J. , 2018).

### **7.3.5 Brotes**

El desarrollo vegetativo de la planta de papa comienza a partir del brote que emerge del “ojo” del tubérculo (Canto, 2019). La presencia y crecimiento de estos brotes pueden influir tanto en el rendimiento como en la calidad del tubérculo, dependiendo del manejo adecuado en el momento de la siembra (Choque, Oviedo, Mamani, & Aparicio, 2021). Este proceso está regulado por factores internos, como la acción de reguladores hormonales que interactúan a nivel fisiológico, así como también por factores externos, entre los que destacan la temperatura, la humedad y la luz, los cuales controlan la aparición y elongación de los brotes (Klaver, 2023).

La optimización del número de brotes por tubérculo es un factor clave para mejorar la producción en cultivos comerciales. Además, es posible influir en estos procesos mediante el uso de tecnologías de inducción de brotes, como tratamientos hormonales o condiciones de ambiente controlado, las cuales han demostrado ser más eficientes y de menor costo en comparación con los sistemas tradicionales de corte y siembra de tubérculos (Canto, 2019).

### **7.3.6 Hojas**

Las hojas de papa (*Solanum tuberosum L*) cumplen una función fundamental en la fotosíntesis y la producción de biomasa. Están compuestas por un raquis central del que se desprenden folíolos de diferentes tamaños, siendo los terminales los más desarrollados. Además, presentan tricomas y una cutícula cerosa que los otorga protección frente a plagas y enfermedades (Perez, Castillo, Navarrete, & Gamarra, 2021).

Las hojas también desempeñan un papel clave en la detección temprana de enfermedades que pueden afectar la eficiencia fotosintética y la producción de almidón (Castillo, 2021). En condiciones óptimas, su correcto desarrollo está directamente relacionado con el aumento del rendimiento del cultivo.

### ***7.3.7 Inflorescencia flor***

La inflorescencia de la flor de la papa (***Solanum tuberosum L***) es de tipo cimosa y se caracteriza por presentar un pedúnculo central que se divide en dos o más ramas, cada una sosteniendo un racimo de flores. Según (Albornoz, 2023), las flores de la papa pueden presentar diversos colores, como violeta, rojo o blanco.

La inflorescencia desempeña un papel fundamental en la polinización y producción de semillas. En este sentido, (Human, 2023) menciona que “las flores tienen cinco estambres y un pistilo, siendo necesarios para la fertilización y la producción de frutos” (p.36). Tanto el desarrollo de la inflorescencia como la producción floral están influenciados por factores genéticos y condiciones ambientales.

### ***7.3.8 Fruto***

El fruto de la papa (***Solanum tuberosum L***) tiene una forma redonda y una apariencia similar a la de una cereza. Según (Torres, 2021), el fruto se desarrolla a partir de la flor de la planta y puede presentar colores que varían entre verde y morado, dependiendo de la variedad. Sin embargo, su presencia no siempre es visible debido a factores genéticos o ambientales.

Las semillas contenidas en el fruto permiten la reproducción por vía sexual, lo que podría contribuir a la variabilidad genética de la especie. No obstante, en los sistemas de producción modernos, el fruto no es aprovechado por completo, ya que generalmente la propagación del cultivo se realiza principalmente mediante la siembra vegetativa a partir de tubérculos (Lagos, y otros, 2022).

#### **7.4 Etapas fenológicas de la papa**

El ciclo fenológico de la papa se divide en cinco fases y tiene una duración aproximada de 120 días. Para lograr un óptimo desarrollo del cultivo, es fundamental un manejo adecuado de factores como la nutrición, el riego y el control de plagas. Una gestión eficiente de estos elementos contribuye a maximizar la producción, como se ilustra en la Figura 1.



Figura 1 Fases fenológicas de la papa



Nota: Etapas fenológicas, obtenido de: (Vignola, et al., 2017); (Castellanos , 2021 ).



## 7.5 Nutrición y manejo de nutrientes

La nutrición mineral en el cultivo de la papa (***Solanum tuberosum L***) es un factor determinante para alcanzar un rendimiento óptimo. Según (Gutierrez, 2018), los macronutrientes esenciales como el nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) son importantes para el desarrollo adecuado de la planta. Sin embargo, el uso de micronutrientes quelantes, como hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn), puede favorecer significativamente el crecimiento y la productividad del cultivo, especialmente en suelos de origen volcánico, donde la disponibilidad de estos elementos es limitada.

### 7.5.1 *Compuestos quelantes*

Los compuestos quelantes están formados por un ion metálico unido a una molécula orgánica a través de enlaces múltiples, lo que da lugar a una estructura conocida como quelato. El proceso de quelación evita que el ion metálico se precipite o se inactive en el suelo, favoreciendo así la absorción de nutrientes por las raíces. Estos compuestos desempeñan un papel clave en la nutrición vegetal, especialmente en la disponibilidad de micronutrientes esenciales como hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn), los cuales son más difíciles de absorber en suelos con pH desfavorable o con deficiencias de estos elementos. Los quelantes más utilizados incluyen EDTA, EDDHA, DTPA y citratos (Rodríguez & Buitrago, 2019).

Además de mejorar la disponibilidad de micronutrientes, los compuestos quelantes optimizan los sistemas agrícolas intensivos. La combinación de quelatos de hierro y zinc contribuye a la biofortificación de los cultivos, aumentando su contenido nutricional y ayudando a combatir la deficiencia de micronutrientes en la alimentación (Mayorga, 2021). Asimismo, los quelatos tienen un impacto positivo en la sostenibilidad agrícola, ya que minimizan las pérdidas por lixiviación, reduciendo la necesidad de aplicaciones frecuentes de fertilizantes. Esto no solo

disminuye los costos de producción, sino que también mitiga el impacto ambiental asociado al uso excesivo de fertilizantes químicos en cultivos de sistemas intensivos (Molina, y otros, 2021).

Por otro lado, al garantizar una disponibilidad constante de micronutrientes, los compuestos quelantes mejoran la eficiencia en el uso del agua y otros recursos agrícolas. Por ello, su implementación en programas de fertilización debe estar acompañada de prácticas sostenibles en el manejo de suelos, promoviendo sistemas de producción más eficientes y menos contaminantes.

### ***7.5.2 Quelatos de hierro***

Los quelantes de hierro son esenciales en la agricultura debido a su papel en la síntesis de clorofila y la fotosíntesis. Estos compuestos evitan la precipitación del hierro en suelos alcalinos, donde su disponibilidad suele ser limitada. Los quelantes más utilizados incluyen deferoxamina y deferiprona, los cuales mejoran significativamente la absorción del hierro en las plantas (Rodríguez & Buitrago, 2019). Estudios recientes han demostrado que su uso incrementa el rendimiento agrícola y previene la clorosis férrica, especialmente en cultivos de alta demanda como el maíz y la papa (Izquierdo & Armas, 2018). Además, la aplicación foliar de estos compuestos ha demostrado ser una estrategia eficiente para mejorar la asimilación del hierro, reduciendo costos fertilización y optimizando la calidad del cultivo (Mayorga, 2021).

### ***7.5.3 Quelatos de manganeso***

El manganeso es un micronutriente esencial para la activación enzimática y la fotosíntesis en las plantas. Sin embargo, su disponibilidad en el suelo suele ser limitada, especialmente en suelos con drenaje deficiente, donde tiende a transformarse en formas insolubles. Los quelatos de manganeso, como Mn-EDTA, han demostrado mejorar el rendimiento de los cultivos al incrementan la actividad fotosintética y fortalecer la resistencia de las plantas al estrés oxidativo (Izquierdo & Armas, 2018). La aplicación de estos compuestos

favorece la formación de cloroplastos, mejora el desarrollo foliar y contribuye a un mayor crecimiento de biomasa (Sosa & García, 2023).

#### ***7.5.4 Quelatos de cobre***

El cobre es un micronutriente esencial en la formación de proteínas y enzimas, actuando como cofactor en procesos metabólicos clave, como la actividad de la oxidasa de polifenol y el superóxido dismutasa, ambos involucrados en procesos antioxidantes y en la lignificación de las paredes celulares, asegurando un desarrollo óptimo de la planta (Silva, 2024). Los compuestos quelantes de cobre, como Cu-EDTA, aseguran su disponibilidad continua en el suelo, evitando su fijación en suelos calcáreos o ácidos (Olazabal, 2019). Una aplicación correcta de estos quelatos mejora la resistencia estructural de los cultivos frente a enfermedades y plagas, lo que resulta especialmente beneficioso en frutales y hortalizas, al prevenir el deterioro del producto en la postcosecha. Además, el cobre quelante contribuye a la reducción del estrés abiótico y optimiza la eficiencia metabólica de la planta.

#### ***7.5.5 Quelatos de zinc***

El zinc es un micronutriente esencial en diversos procesos metabólicos y en la síntesis de auxinas, desempeñando un papel clave en suelos erosionados y de baja fertilidad. Los quelatos de zinc, como el EDTA de MR-IV, favorecen la formación de raíces y el desarrollo temprano de los cultivos mediante técnicas de fertirrigación (Sosa & García, 2023). Además, cuando se aplica de forma foliar, su absorción es más rápida y efectiva, lo que promueve un crecimiento vigoroso y mayores rendimientos (Mayorga, 2021). La fertilización foliar con quelatos de zinc ha demostrado ser una estrategia eficiente para corregir deficiencias en suelos erosionados o lixiviados, mejorando la absorción de nutrientes en cultivos de papa y favoreciendo la formación de tubérculos (Calderón, 2023). Asimismo, el quelato de zinc es

utilizado en la biofortificación agronómica, incrementando su concentración en los alimentos y contribuyendo a la reducción de deficiencias nutricionales (Molina, y otros, 2021).

#### ***7.5.6 Micronutrientes y su importancia en la nutrición vegetal***

Los micronutrientes desempeñan un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo de las plantas, ya que intervienen en múltiples procesos metabólicos, enzimáticos y estructurales. Sin embargo, su disponibilidad en el suelo puede verse limitada por factores edafológicos como el pH, la capacidad de intercambio catiónico y la interacción con otros elementos (Mayorga, 2021). Para mejorar la eficiencia en la absorción de micronutrientes, se han desarrollado diferentes estrategias de quelación que permiten mantener estos elementos en forma soluble y disponible para las plantas. Actualmente, existen agentes quelantes sintéticos, orgánicos y de cadena corta, los cuales varían en función de su estabilidad, biodisponibilidad y compatibilidad con las condiciones edafoclimáticas.

#### ***7.5.7 Micronutriente sintético con quelación EDTA***

Los micronutrientes sintéticos son compuestos diseñados para mejorar la solubilidad y estabilidad de los nutrientes esenciales en soluciones del suelo. Entre estos, el ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) es uno de los agentes quelantes más utilizados en la agricultura debido a su alta estabilidad química y su capacidad para retener cationes metálicos en solución. Este agente forma complejos altamente solubles con micronutrientes como hierro (Fe), zinc (Zn), cobre (Cu) y manganeso (Mn), evitando su precipitación en suelos alcalinos y asegurando su disponibilidad para la planta (Cueva, 2020).

El mecanismo de acción del EDTA se basa en la formación de estructuras estables que impiden la inmovilización de los nutrientes en la matriz del suelo (Arbelaez, 2023). En sistemas donde la producción eleva el pH, los micronutrientes metálicos tienden a precipitarse y quedar fuera del alcance de las raíces, lo que reduce la eficiencia en la nutrición vegetal. La quelación

con EDTA permite mantener estos elementos en solución, favoreciendo su transporte a través de la rizosfera y mejorando la absorción radicular y foliar. Además, debido a su estabilidad química, el EDTA no se descompone fácilmente en el suelo, lo que prolonga la disponibilidad de los micronutrientes en comparación con otras fuentes no queladas (Arbelaez, 2023).

En cultivos como la papa, la aplicación de micronutrientes quelantes con EDTA ha demostrado una alta eficiencia en la absorción de hierro y zinc, mejorando la actividad enzimática relacionada con la fotosíntesis y el metabolismo energético. Un estudio realizado por (Arbelaez, 2023) afirma que la aplicación de Fe-EDTA en suelos calcáreos incrementa la absorción de este nutriente en un 30-40 %, reduciendo los síntomas de deficiencia y favoreciendo el crecimiento vegetativo.

#### ***7.5.8 Micronutriente orgánico con quelación a base de aminoácidos***

Los micronutrientes orgánicos utilizan aminoácidos como agentes quelantes para mejorar la disponibilidad de los nutrientes esenciales en el suelo y dentro de la planta. La capacidad de los aminoácidos para formar complejos quelatados se debe principalmente a la presencia de grupos funcionales con capacidad de donar electrones a los cationes metálicos, estabilizando su estructura y evitando que se precipiten. Esta interacción forma estructuras en anillo que protegen a los micronutrientes de la inmovilización, favoreciendo su absorción por parte de las raíces y los tejidos foliares (Gol-Soltani, y otros, 2024).

Los aminoácidos más utilizados en la quelación de micronutrientes incluyen el ácido aspártico, ácido glutámico y cisteína, los cuales presentan una gran afinidad por metales como el hierro, manganeso, zinc y cobre. Estos compuestos mejoran la disponibilidad de los micronutrientes y promueven el crecimiento vegetal al participar en procesos metabólicos clave. De acuerdo con (Dolev, y otros, 2020), a diferencia de los agentes quelantes sintéticos, los

aminoácidos son biodegradables y estos pueden ser asimilados por la planta como fuente de nitrógeno, convirtiéndolos en una opción eficiente y sustentable.

La aplicación de micronutrientes quelantes en base a aminoácidos ha demostrado ser una solución efectiva para cultivos que requieren una alta disponibilidad de hierro y zinc, especialmente en condiciones de estrés abiótico. Un estudio realizado por (Monteza, 2020) se destaca que, en cultivos hortícolas la aplicación de aminoácidos quelantes con Fe y Zn mejora la absorción de estos nutrientes en un 25 %, optimizando la formación de clorofila y la actividad fotosintética. Además, estos compuestos han demostrado tener un efecto positivo en la reducción del estrés oxidativo en las plantas, ya que actúan como agentes protectores contra la acumulación de radicales libres.

#### ***7.5.9 Micronutrientes de cadena corta con quelación a base de ácidos orgánicos***

Los micronutrientes quelantes con ácidos orgánicos representan una alternativa sostenible para mejorar la disponibilidad de nutrientes en suelos con alta inmovilización de cationes metálicos. Agentes como el ácido cítrico y el ácido oxálico tienen la capacidad de formar complejos solubles con elementos como el hierro y el zinc, favoreciendo su movilidad y absorción radicular. Debido a su naturaleza biodegradable, los ácidos orgánicos se descomponen rápidamente en el suelo, minimizando los impactos ambientales y evitando acumulaciones innecesarias de compuestos sintéticos (Molina, y otros, 2021).

La eficiencia de los ácidos orgánicos en la quelación de micronutrientes radica en su capacidad para liberar iones metálicos bloqueados en el suelo. En suelos calcáreos, donde la disponibilidad de hierro y zinc suele ser limitada, la aplicación de ácido cítrico incrementa la solubilidad de estos elementos, mejorando su absorción y reduciendo los síntomas de deficiencia. Además, los ácidos orgánicos estimulan la actividad microbiana en la rizosfera lo que promueve la mineralización y optimización de nutrientes a largo plazo.

Un estudio realizado por (Quispe, 2020) demostró que aplicar hierro quelatado con ácido cítrico en cultivos mejora la absorción de este nutriente en un 20-30%, incrementando la eficiencia fotosintética y el crecimiento de la planta. En sistemas agrícolas sostenibles el uso de ácidos orgánicos como agentes quelantes se ha convertido en una práctica recomendada para mejorar la fertilización con micronutrientes sin generar impactos negativos en el ecosistema.

## **8 VALIDACIÓN DE LAS PREGUNTAS CIENTÍFICAS O HIPÓTESIS**

### **8.1 Hipótesis Nula**

La aplicación de distintos micronutrientes quelantes (sintético, orgánico y cadena corta) y la frecuencia de aplicación no influyen significativamente en el desarrollo vegetativo del cultivo de papa.

### **8.2 Hipótesis alternativa**

La aplicación de distintos micronutrientes quelantes (sintético, orgánico y cadena corta) y la frecuencia de aplicación influyen significativamente en el desarrollo vegetativo del cultivo de papa.

## **9 METODOLOGÍA Y DISEÑO EXPERIMENTAL**

### **9.1 Ubicación de la investigación**

El presente estudio se llevó a cabo en la localidad de Machachi, abarcando tanto la fase de campo como la evaluación de los impactos en cada planta de papa.

**Tabla 4:** *Localización de la investigación*

---

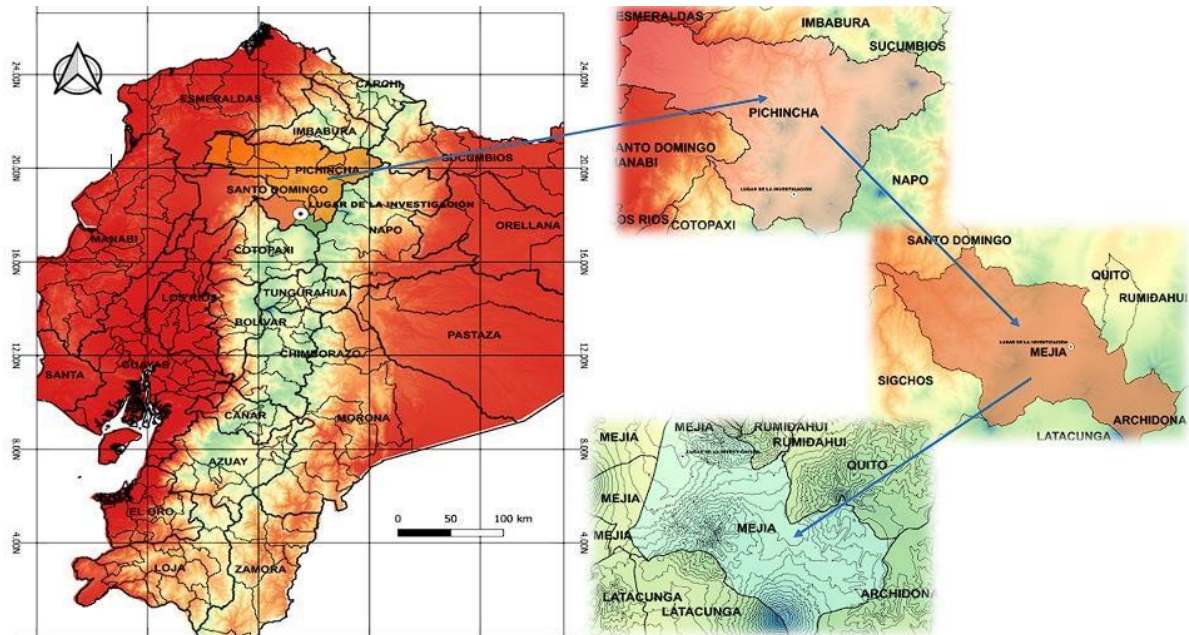
<b>Provincia</b>	<b>Cantón</b>	<b>Parroquia</b>	<b>Localidad</b>	<b>Altitud</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
------------------	---------------	------------------	------------------	----------------	-----------------	----------------

---

Pichincha Mejía Machachi Puichig 2850 0°29'29.02''S 78°32'36.39''O  
msnm

Fuente: Google Earth

**Figura 2:** Localización de la investigación



Nota: Adaptado de QGIS, Elaborado por: Montatixe Joel (2025)

## 9.2 Caracterización del lugar

### 9.2.1 Clima

El clima en Machachi es subtropical, de alta montaña, conocido como templado húmedo, las temperaturas medias oscilan en un rango de entre 8°C y 14°C, con altos niveles de precipitación con un promedio anual aproximado de 800 a 1300 mm (Pacheco, Mora, Durán, & Pastran, 2024).

### 9.2.2 Características del suelo

El área presenta suelos Andisoles, los cuales se derivan de cenizas volcánicas, son sustratos con alta porosidad, tienen buena retención de agua y una gran fertilidad natural. Es

muy común en áreas de elevaciones intermedias a altas en los Andes y tienen alta riqueza de materia orgánica (5-10%) pero es potencialmente limitada por su susceptibilidad a la erosión. Los macronutrientes destacados son el potasio y el fósforo (Rezabala, 2024)

### ***9.2.3 Humedad***

El contenido de humedad en el suelo alcanza los 200 mm, mientras que la humedad relativa en Machachi varía entre el 70% y el 90%. Algunos días lluviosos suelen ir acompañados de heladas, y las variaciones de temperatura son comunes. La evaporación anual oscila de 2500 y 2600 mm. Debido a que la humedad relativa del aire se mantiene entre el 70% y el 90%, el contenido de humedad atmosférica es aproximadamente de 200 a 220 mm. Según los datos recopilados de estaciones meteorológicas durante un período de 18 a 26 años, la precipitación promedio en la zona varía entre 500 y 800 mm anuales, de los cuales solo entre 100 y 130 mm contribuyen al riego natural del suelo. Las lluvias son bajas durante las temporadas cálidas, mientras que la humedad puede alcanzar niveles elevados entre 350 y 480°C (equivalente a condiciones térmicas acumuladas). La contribución efectiva de la precipitación a la evaporación es aproximadamente de 600 a 900 mm. Finalmente, el contenido sólido promedio del agua de riego es del 5% (Campos, 2015).

## **9.3 Equipos y materiales**

### ***9.3.1 Material experimental***

- Semillas de papa (*Solanum tuberosum*) var. "SUPERCHOLA"
- Micronutriente quelante sintético con quelación EDTA.
- Micronutriente quelante orgánico con quelación a base de aminoácidos.
- Micronutriente quelante de cadena corta con quelación a base de ácidos orgánicos.

### ***9.3.2 Equipos y herramientas***

- Pala, rastrillo y azadón
- Calibrador
- Cinta métrica y flexómetro
- Balanza para la medición de biomasa

#### ***9.3.3 Materiales de oficina***

- Cuadernos de campo y hojas de registro.
- Lápices, bolígrafos y calculadora.
- Computadora para análisis de datos

#### ***9.3.4 Materiales varios***

- Estacas y marcadores de parcela
- Envases y recipientes para muestras de suelo y biomasa.

### **9.4 Factores de estudio**

#### ***9.4.1 Factor A (Micronutrientes Quelantes)***

- T1: Quelante sintético
- T2: Quelante orgánico
- T3: Quelante de cadena corta

#### ***9.4.2 Factor B (Frecuencias)***

- F1: Cada 10 días
- F2: Cada 15 días

#### ***9.4.3 Testigo***

El testigo no se efectuó ningún tratamiento.



## 9.5 Tratamientos

**Tabla 5:** *Tratamientos*

	<b>Tratamiento</b>	<b>Codificación</b>	<b>Producto comercial</b>	<b>Dosis en ml</b>	<b>Volumen de agua</b>
T1	QUELANTE SINTETICO A LOS 10 DIAS	T1F1	TRADECORP	10 ML	1L
T2	QUELANTE ORGANICO A LOS 10 DIAS	T2F1	TRADECORP	10 ML	1L
T3	QUELANTE DE CADENA CORTA A LOS 10 DIAS	T3F1	TRIAMIN	10 ML	1L
T4	QUELANTE SINTETICO A LOS 15 DIAS	T1F2	TRIAMIN	10 ML	1L
T5	QUELANTE ORGANICO 15 DIAS	T2F2	ACIDO ORGANICO	10 ML	1L
T6	QUELANTE DOBLE UNION 15 DIAS	T3F2	ACIDO ORGANICO	10 ML	1L
T7	TESTIGO ABSOLUTO	T0F0	N/A	N/A	N/A

Elaborado por: (Montatixe, 2025)



## **9.6 Tipo de Investigación**

### ***9.6.1 Cuantitativa***

Esta investigación siguió un enfoque cuantitativo, ya que se basa en la recopilación y análisis de datos numéricos relacionados con variables como la altura de la planta, el número de tallos, el peso de la raíz, entre otras. Este enfoque permitió medir con precisión los efectos de los distintos tratamientos y establecer comparaciones objetivas entre ellos. La cuantificación de los resultados permitió no solo describir tendencias en el desarrollo del cultivo, sino también validar la efectividad de los quelatos aplicados en función de su impacto en la productividad agrícola.

## **9.7 Método de Investigación**

### ***9.7.1 Experimental***

Esta investigación es de tipo experimental, ya que su objetivo fue analizar el efecto de distintos tratamientos de micronutrientes quelantes sobre el desarrollo vegetativo y el rendimiento del cultivo de papa. La experimentación implicó la manipulación deliberada de variables independientes en un entorno controlado, con el propósito de evaluar sus consecuencias sobre variables dependientes, como el crecimiento de la planta y la formación de tubérculos. Los estudios experimentales en campo permiten establecer relaciones de causa – efecto, asegurando que los resultados obtenidos sean atribuibles a los tratamientos aplicados y no a factores externos (Peña, Ruesga, Exposito, & Gardon, 2015).

## **9.8 Técnica de investigación**

### ***9.8.1 De campo***

La investigación se lleva a cabo bajo una modalidad de campo, lo cual facilitó la evaluación del efecto directo que tienen los tratamientos en condiciones reales, mediante el uso de parcelas específicas para las pruebas agrícolas. Según (Cajal, 2023), la modalidad de campo

es ideal para investigaciones prácticas en agricultura, ya que permite obtener resultados directamente aplicables a las condiciones de productividad del cultivo. En este estudio, se aplicó micronutrientes quelantes y se evaluó su influencia en el desarrollo vegetativo de la papa. Al mismo tiempo, se analizó cómo las variables relacionadas con el tamaño y la forma de los tubérculos varían en respuesta a los distintos tratamientos, con el fin de determinar cuál de ellos podría optimizar el rendimiento del cultivo.

### **9.8.2 Bibliográfica**

Esta investigación se apoyó en la exploración bibliográfica y documental de investigaciones previas, la cual permitió contextualizar y fundamentar científicamente los resultados obtenidos. Esta metodología se apoya en la recopilación y análisis de investigaciones previas, lo que facilitó la interpretación de los efectos observados en campo y su comparación con otros estudios similares. Además, proporciona una base teórica para la selección y aplicación de los tratamientos asegurando que la investigación se sustente en conocimientos actualizados y válidos en el ámbito de la agronomía.

### **9.9 Diseño de Investigación**

El diseño experimental se basó en la estructura de las parcelas, las cuales fueron asignadas aleatoriamente según el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Con un arreglo factorial  $A \times B + 1$  es decir  $3 \times 2 + 1 \times 3$  donde se utilizó 3 micronutrientes quelantes y dos frecuencias de aplicación más un testigo con tres repeticiones, con un total de 21 parcelas experimentales distribuidas en bloques homogéneos, abarcando una superficie total de 376 m<sup>2</sup>. Cada tratamiento utilizó 22 plántulas por parcela, sumando un total de 462 plántulas para toda la investigación. Para minimizar el efecto de borde, se seleccionaron cuatro plántulas centrales de cada parcela para la toma de datos. Las dimensiones de cada parcela fueron de 5 metros de largo y 2.6 metros de ancho, con un espaciamiento de 0.6 metros entre surcos.

## 9.10 Características del ensayo

*Tabla 6 Características del ensayo*

Número de parcelas por repetición	7 parcelas
Número de repeticiones	3 repeticiones
Total, de parcelas	21 parcelas
Largo de la parcela	5m
Ancho de la parcela	2.6m
Área total por parcela	13m <sup>2</sup>
Número de plantas por parcela	22 plantas
Número de plantas por repetición	154 plantas
Distancia entre plantas	45cm
Distancia entre surco	1m
Número total de parcelas	21 parcelas
Separación entra tratamientos	60cm
Superficie total del ensayo	376 m <sup>2</sup>
Número de plantas a evaluar por tratamiento	4 plantas
Número de plantas a evaluar toda la investigación	84 plantas
Número de plantas total de la investigación	462 plantas

Elaborado por (Montatixe, 2025)

## 9.11 Esquema del ADEVA

*Tabla 7 Esquema del ADEVA*

<b>FUENTE DE VARIACIÓN</b>	<b>GL</b>
Total	20
Tratamientos	6
Repetición	2
Factor A (M)	2
Factor B (F)	1
AxB	2
Testigosresto	1
Error	14

Elaborado por (Montatixe, 2025)

## 9.12 Variables en estudio y datos registrados

### 9.12.1 Altura de la planta

La altura de la planta se midió con una cinta métrica, desde la base del tallo principal hasta el ápice terminal, se tomaron como referencia 4 plantas del centro de cada tratamiento

(parcela neta) con el fin de evitar el efecto borde. Las lecturas se realizaron cada 15 días después de la brotación (40, 55, 70 y 85 días) desde la primera aplicación de los micronutrientes quelantes y sus frecuencias establecidas, abarcando así toda la etapa de desarrollo vegetativo.

#### ***9.12.2 Diámetro del tallo***

El diámetro del tallo se determinó con un calibrador a una altura de 5 cm del tallo principal, utilizando 4 plantas del centro de cada tratamiento para evitar el efecto borde. Las mediciones se llevaron a cabo cada 15 días después de la brotación (40, 55, 70 y 85 días) desde la primera aplicación de los micronutrientes y sus frecuencias establecidas.

#### ***9.12.3 Número de tallos por planta***

El número de tallos se contabilizó manualmente, eligiendo 4 plantas del centro de cada tratamiento para evitar el efecto borde. Las lecturas se realizaron a los 40 y 55 días desde la primera aplicación de los micronutrientes y las frecuencias establecidas.

#### ***9.12.4 Peso de la raíz***

Para determinar el peso del sistema radicular, se seleccionaron dos plantas ubicadas en el centro de cada tratamiento. Estas fueron cuidadosamente extraídas del suelo y sometidas a un lavado para eliminar el exceso de tierra, dejando únicamente las raíces limpias. La medición se realizó a los tres meses de cultivo, empleando un método destructivo.

#### ***9.12.5 Volumen de la raíz***

Para medir el volumen de la raíz, se seleccionó una planta del centro de cada tratamiento, eliminando todo el excedente de tierra mediante un lavado y extrayendo los estolones para dejar exclusivamente la raíz. La medición se llevó a cabo mediante el método volumétrico, obteniendo el valor por desplazamiento del líquido. Este proceso se realizó en la etapa de tuberización.

### ***9.12.6 Número de estolones***

Para tomar los datos del número de estolones, se seleccionó una planta de cada tratamiento, eliminando todo el excedente de tierra de la raíz mediante un lavado con abundante agua. Se extrajeron los estolones y se contabilizaron manualmente. Esta medición se realizó en la etapa de tuberización.

### ***9.12.7 Número de tubérculos***

Para la toma de datos del número de tubérculos, se seleccionó una planta de cada tratamiento, se extrajo del suelo y se contabilizaron los tubérculos de cada planta. Esta medición también se llevó a cabo en la etapa final de la tuberización.

## **9.13 Manejo de la investigación**

### ***9.13.1 Características del lugar***

El estudio se llevó a cabo en la parroquia de Machachi, destacada por su relevancia en el sector agrícola de la provincia de Pichincha. Se utilizó semillas de papa de la variedad Superchola, compradas directamente a los agricultores de la zona. Se sembró a una distancia de 1 m entre surcos y 45 cm entre plantas lo cual optimiza el espacio, permitiendo un adecuado desarrollo radicular y evitando la competencia entre plantas.

### ***9.13.2 Preparación del suelo***

La preparación mecánica del suelo se realizó mediante arado y rastra lo cual es esencial para crear un ambiente adecuado para el crecimiento de las raíces. Este proceso no solo facilita la siembra, sino que también mejora la aireación y la infiltración de agua, lo que es fundamental para el desarrollo saludable de las plantas.

### ***9.13.3 Delimitación de tratamientos y rotulación***

La correcta delimitación y rotulación de las parcelas fueron fundamentales para garantizar la trazabilidad y el manejo adecuado de cada tratamiento. Esto permitió una

evaluación precisa de los efectos de cada tratamiento sobre el cultivo, asegurando la validez de los resultados.

#### ***9.13.4 Desinfección del suelo***

En la desinfección del suelo en el momento de la siembra se utilizó productos como Daconil, Verimak, Zinocide, Nakar y Tiametowan, siendo estos cruciales para prevenir enfermedades que podrían afectar el desarrollo del cultivo. Realizar esa desinfección ayuda a crear un ambiente más saludable y reduce el riesgo de pérdidas.

#### ***9.13.5 Desinfección de las semillas***

Se aplicó el mismo tratamiento de desinfección a las semillas, ya que estos ayudan a proteger al cultivo desde su inicio. Este paso fue vital para minimizar la introducción de patógenos y garantizar que las plantas tengan un buen comienzo.

#### ***9.13.6 Abonadura***

La aplicación de un abono edáfico al momento de la siembra aseguró que las plantas tengan acceso inmediato a los nutrientes necesarios para su desarrollo inicial. Esto es importante en un cultivo como el de papa, el cual requiere de una nutrición adecuada para un buen rendimiento.

#### ***9.13.7 Siembra***

La siembra se realizó de manera manual, asegurando 1 semilla por sitio y respetando la distancia entre plantas y entre surcos, lo cual permitió un adecuado crecimiento y desarrollo de cada planta. Esto garantizó que cada planta tenga suficiente espacio para crecer, evitando una competencia por luz y nutrientes.

#### ***9.13.8 Aplicación de los tratamientos***

Los tratamientos se aplicaron en la etapa de brotación, es decir, a los 25 días, de forma foliar con una bomba de mochila, siguiendo las frecuencias propuestas por la investigación.

Para la primera frecuencia, las aplicaciones se realizaron a los 25, 35, 45, 55 y 65 días. En el tratamiento T1, se utilizó un micronutriente quelante sintético con EDTA, con la misma dosis del producto en 1 litro de agua, aplicándose cada 10 días. En el tratamiento T2, se empleó un micronutriente quelante orgánico con aminoácidos, también con la misma dosis del producto y una frecuencia de 10 días. Para el tratamiento T3, se utilizó un micronutriente quelante de cadena corta con ácido orgánico, aplicando la misma dosis del producto en la misma frecuencia de 10 días. Para la segunda frecuencia, las aplicaciones se llevaron a cabo a los 25, 40, 55, 70 y 85 días. En el tratamiento T4, se utilizó nuevamente el micronutriente quelante sintético con EDTA, con la misma dosis del producto disuelta en 1 litro de agua, aplicándose cada 15 días. En el tratamiento T5, se empleó un micronutriente quelante orgánico con aminoácidos, con la misma dosis del producto y una frecuencia de 15 días. Para el tratamiento T6, se utilizó un micronutriente quelante de cadena corta con ácido orgánico, aplicando la misma dosis del producto en una frecuencia de 15 días. El testigo fue evaluado sin ninguna aplicación.

#### ***9.13.9 Rascadillo***

La labor de rascadillo se realizó en la etapa de brotación, es decir cuando la planta ya alcanza entre 10 y 15 cm de altura, esto es importante para promover el crecimiento y mejorar la aireación del suelo.

#### ***9.13.10 Medio Aporque y Aporque***

El primer aporque y segundo aporque se realizó manualmente con un azadón a los 40 días después de la siembra, lo cual ayudó a proteger los tubérculos en el desarrollo y a su vez a mejorar la estructura del suelo alrededor de las plantas.

#### ***9.13.11 Control fitosanitario***

Se llevó a cabo un manejo integrado de plagas y enfermedades, lo cual fue crucial para mantener la salud del cultivo. Esto se llevó a cabo mediante un monitoreo continuo y con el uso

de productos como Fipronil, Fungymil, y otros, los cuales ayudaron a minimizar la incidencia de plagas y enfermedades, garantizando así un cultivo saludable y productivo. Las aplicaciones se realizaron al inicio de la siembra y en la etapa del desarrollo vegetativo, es decir, a los tres meses.

## 10 ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 10.1 Altura de la planta

*Tabla 8 Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable altura de la planta*

*Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)*

Fuente de variación	Grados de libertad	ALTURA 40DDT			ALTURA 55DDT			ALTURA 70DDT			ALTURA 85DDT		
		CM	Valor de F	p-valor	CM	Valor de F	pvalor	CM	Valor de F	p-valor	CM	Valor de F	p-valor
TRATAMIENTO	6	37	9.39	0.000 **	71.2	17.45	0.000 **	133	13.71	0.000 **	179	18.26	0.000 **
REPETICION	2	2.3	0.54	0.596	6.64	1.82	0.205	26	3.78	0.054	22.1	2.85	0.097
FACTOR A. (M)	2	45	12.75	0.001 **	75.2	16.01	0.000 **	165	15.13	0.001 **	206	25.61	0.000 **
FACTOR B. (F)	1	20	5.86	0.032 **	2.53	0.54	0.477 ns	0.9	0.08	0.780 Ns	0.11	0.01	0.911 ns
AxB	2	11	3.05	0.085 ns	33.4	7.12	0.009 **	22	2.04	0.173 Ns	5.67	0.7	0.514 ns
testigo vs resto	1	90	23	0.000 **	208	50.87	0.000 **	423	43.63	0.000 **	650	66.26	0.000 **
Error	14	3.9						9.7			9.81		
Total	20												
<b>CV (%)</b>		8.7			5.57			6.2			4.86		
<b>PROMEDIO (cm)</b>		23			36.3			50			64.5		

Elaborado por (Montatixe, 2025)

El análisis de varianza (ANOVA) mostró que el Tratamiento y el Factor A tuvieron un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ) en todos los días evaluados (40, 55, 70 y 85 días). El Factor B presentó un efecto significativo a los 40 días ( $p < 0.05$ ), lo que indica que este factor influyó en la altura en esta etapa, pero no en las mediciones posteriores. La

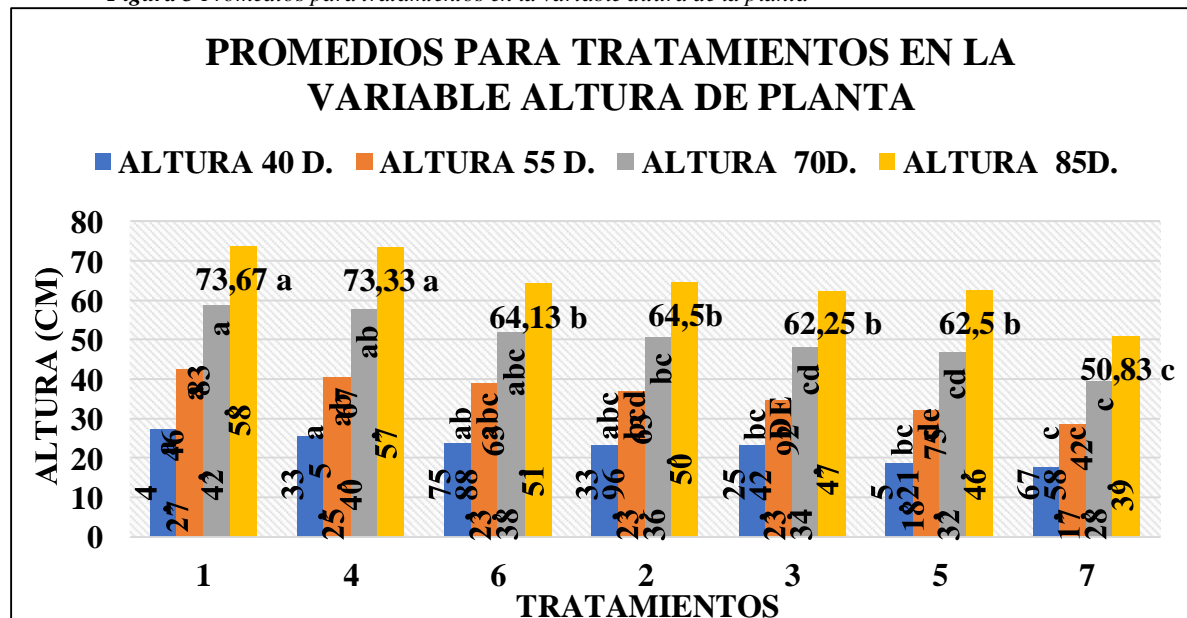
interacción AxB es estadísticamente significativa a los 55 días ( $p < 0.05$ ), indicando que la combinación de estos factores influyó en esta etapa de crecimiento. Además, el testigo mostró diferencias significativas con respecto al resto de los tratamientos, evidenciando que los tratamientos evaluados tuvieron un impacto en el crecimiento de las plantas. Los coeficientes de variación fueron bajos (4.86% - 8.7%), y el promedio de altura aumentó progresivamente de 23 cm a 64.5 cm a lo largo del tiempo.

*Tabla 9 Prueba de Tukey al 5% para la variable altura de la planta en tratamientos*

Tratamientos		Promedios y rangos							
TRA.	SIMBOLO	ALTURA 40DDT		ALTURA 55DDT		ALTURA 70DDT		ALTURA 85DDT	
1	T1F1	27.4	a	42.46	a	58.83	a	73.67	a
4	T1F2	25.33	a	40.5	ab	57.67	ab	73.33	a
6	T3F2	23.75	ab	38.88	abc	51.63	abc	64.13	b
2	T2F1	23.33	abc	36.96	bcd	50.63	bc	64.5	b
3	T1F1	23.25	abc	34.42	cd	47.92	c	62.25	b
5	T2F2	18.5	bc	32.21	de	46.75	cd	62.5	b
7	T0F0	17.67	c	28.58	e	39.42	d	50.83	c

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 3 Promedios para tratamientos en la variable altura de la planta*



La prueba de Tukey al 5% mostró la comparación de medias entre los diferentes tratamientos aplicados en la variable altura de la planta medida en distintos días después del

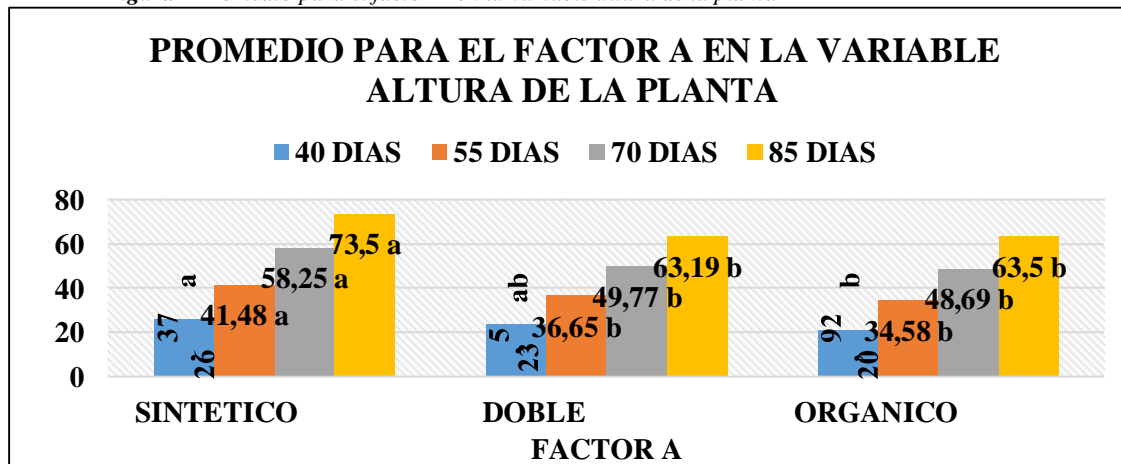
trasplante (DDT). Se pudo evidenciar que el tratamiento T1F1 presentó los valores más altos en todas las mediciones, con un promedio de 27.4 cm a los 40DDT y alcanzando 73.67 cm a los 85DDT, ubicándose en el primer rango estadístico. De manera similar, el tratamiento T1F2 también se encontró dentro de los valores más altos y compartió el mismo rango en varias mediciones. Por otro lado, el testigo T0F0, que no recibió ningún tratamiento, reportó los valores más bajos de altura en todas las mediciones, con 17.67 cm a los 40DDT y solo 50.83 cm a los 85DDT, ubicándose en el último rango en la prueba de significación. Otros tratamientos, como T3F2 y T2F1, presentaron valores intermedios y compartieron rangos con diferentes tratamientos dependiendo de la etapa de medición.

*Tabla 10 Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable altura de la planta*

FACTOR A	Promedios y rangos							
	ALTURA		ALTURA		ALTURA		ALTURA	
	40DDT	55DDT	70DDT	85DDT	40DDT	55DDT	70DDT	85DDT
SINTETICO	26.37	a	41.48	a	58.25	a	73.5	a
CADENA CORTA	23.5	ab	36.65	b	49.77	b	63.19	b
ORGANICO	20.92	b	34.58	b	48.69	b	63.5	b

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 4 Promedio para el factor A en la variable altura de la planta*



Para el Factor A, la prueba de Tukey al 5% en la variable altura de la planta evaluada a 40, 55, 70 y 85 DDT, se identificó diferentes rangos de significación. A lo largo del periodo evaluado, la mayor altura se obtuvo con la aplicación del micronutriente quelante sintético,

alcanzando 26.37 cm, 47.48 cm, 58.25 cm y 73.5 cm a los días evaluados, ubicándose en el primer rango en todas las mediciones. A los 40 DDT, el micronutriente de cadena corta obtuvo 23.5 cm, ubicándose en un rango intermedio (ab), mientras que el micronutriente orgánico alcanzó 20.92 cm y se situó en el segundo rango (b). A partir de los 55 DDT hasta los 85 DDT, ambos micronutrientes quelantes mantuvieron un comportamiento similar, con el micronutriente de cadena corta se alcanzó alturas de 36.65 cm, 49.77 cm y 63.19 cm, mientras que con el micronutriente orgánico se registró alturas de 34.58 cm, 48.69 cm y 63.5 cm, ubicándose ambas en el segundo rango.

*Tabla 11 Prueba de Tukey al 5% para el Factor B en la variable altura de la planta*

<b>Promedios y rangos</b>				
<b>FACTOR B</b>	<b>ALTURA 40DDT</b>	<b>ALTURA 55DDT</b>	<b>ALTURA 70DDT</b>	<b>ALTURA 85DDT</b>
F1	24.66 a	37.94 a	52 a	66.8 a
F2	22.53 b	37.19 a	52 a	66.7 a

Elaborado por (Montatixe, 2025)

La prueba de Tukey al 5% de significancia para la variable altura de la planta en diferentes días evaluados, consideró dos niveles del Factor B. En el día 40DDT, se observó una diferencia estadísticamente significativa entre F1 (24.66 cm) y F2 (22.53 cm), indicando que F1 presentó mayor altura en dicho momento. Sin embargo, en los días 55, 70 y 85 DDT, ambas medias comparten el mismo rango, lo que indica que no existen diferencias significativas entre los tratamientos en estos momentos del crecimiento.

*Tabla 12 Prueba de Tukey al 5% para el Factor AxB en la variable altura de la planta*

AxB	FRECUENCIA	Promedios y rangos				FACTOR
		ALTURA	ALTURA	ALTURA	ALTURA	
		40DDT	55DDT	70DDT	85DDT	
SINTETICO	1	27 a	42 a	59 a	74 a	
SINTETICO	2	25 a	41 a	58 a	73 a	
ORGANICO	1	24 a	39 ab	52 ab	65 b	
ORGANICO	2	23 ab	37 abc	51 ab	64 b	
CADENA						
CORTA	1	23 b	34 bc	48 b	63 b	
CADENA						
CORTA	2	19 b	32 c	47 b	62 b	

Elaborado por (Montatixe, 2025)

La prueba de Tukey al 5% para la variable altura de la planta, considerando la interacción del Factor AxB con la frecuencia, se determinó que en el día 40 DDT, las diferencias entre tratamientos fueron leves, pero se observó que el sintético 1 tiene la mayor altura (27 cm) y cadena corta 2 la menor altura (19 cm), con diferencias significativas según los rangos asignados. A los 55 DDT, Cadena Corta 2 presenta la menor altura (32 cm), diferenciándose significativamente de los demás tratamientos. En el día 70 DDT, el orgánico 2 tiene valores intermedios, lo que indica una diferencia moderada con algunos tratamientos. Para el día 85 DDT, no hay diferencias significativas entre la mayoría de los tratamientos, excepto con el sintético 1 (74 cm) y cadena corta 2 (62 cm) que muestran una leve variación.

Estos hallazgos de las pruebas de Tukey al 5% coinciden con estudios previos, (Gutierrez, 2018) demostró que los quelantes pueden aumentar la eficiencia nutricional al reducir las interacciones con cationes de aluminio ( $Al^{3+}$ ) y hierro ( $Fe^{3+}$ ), favoreciendo la absorción de micronutrientes esenciales como calcio (Ca) y manganeso (Mn), lo que mejora la fisiología de la planta y, por ende, su crecimiento. También concuerdan con lo reportado por (Rámirez, 2019), quien encontró que la aplicación de quelatos de hierro y zinc mejoró significativamente la altura de las plantas de papa.

## 10.2 Diámetro del tallo

**Tabla 13** Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable diámetro del tallo

Fuente de variación	Grados de libertad	DIÁMETRO 40DDT			DIÁMETRO 55DDT			DIÁMETRO 70DDT			DIÁMETRO 85DDT		
		CM	Valor de F	p-valor	CM	Valor de F	pvalor	CM	Valor de F	p-valor	CM	Valor de F	p-valor
TRATAMIENTO	6	2.7	3.84	0.018 **	3.14	4.48	0.01 **	5	7.45	0 **	7.58	10.31	0 **
REPETICION	2	3.1	9.68	0.003	0.6	0.83	0.459	0.8	1.25	0.32	1.04	1.53	0.26
FACTOR A. (M)	2	3.6	5	0.026 **	4.51	12.62	0.001 **	6.3	18.76	0 **	7.7	14.4	0 **
FACTOR B. (F)	1	0.8	1.09	0.317 ns	0.01	0.04	0.847 Ns	0.3	0.84	0.38 ns	0.42	0.79	0.39 ns
AxB	2	2	2.81	0.1 ns	1.1	3.07	0.084 Ns	1	2.91	0.09 ns	0.9	1.68	0.23 ns
testigo vs resto	1	4.3	6.08	0.027 **	7.63	10.86	0.005 **	15	22.69	0 **	27.9	37.9	0.0001 **
Error	14												
Total	20												
CV (%)		8.2			6.5			5.3			4.81		
PROMEDIO (mm)		10			12.9			15			17.8		

Elaborado por (Montatixe, 2025)

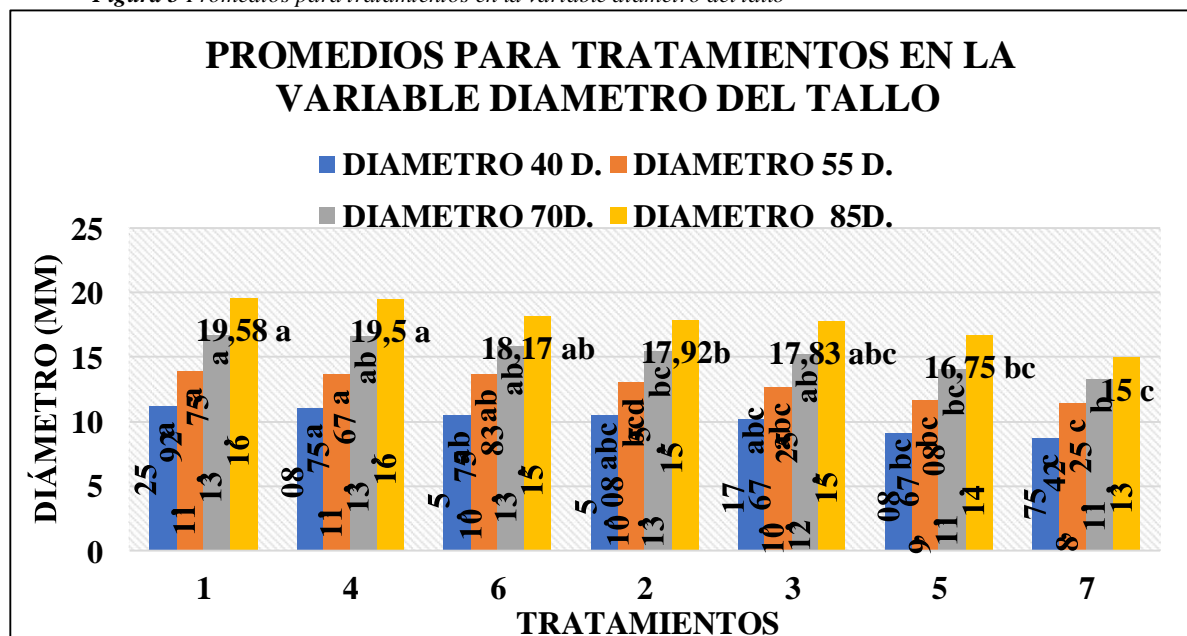
El análisis de varianza (ANOVA) mostró que el Tratamiento y el Factor A tuvieron un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ) en todos los días evaluados (40, 55, 70 y 85 días). El Factor B y la interacción AxB no presentaron diferencias significativas en ninguna medición, evidenciando que estos factores no afectan el diámetro del tallo de manera independiente ni combinada. Además, el testigo mostró diferencias significativas con respecto a los tratamientos evaluados, evidenciando que las aplicaciones realizadas favorecen el crecimiento del tallo. Los coeficientes de variación fueron relativamente bajos (4.81% - 8.2%), y el promedio del diámetro del tallo aumentó progresivamente de 10 mm a 17.8 mm a lo largo del tiempo.

**Tabla 14** Prueba de Tukey al 5% para la variable diámetro del tallo en tratamientos

Tratamientos		Promedios y rangos							
T	SIMBOLO	DIAMETRO 40DDT	DIAMETRO 55DDT	DIAMETRO 70DDT	DIAMETRO 85DDT	DIAMETRO 40DDT	DIAMETRO 55DDT	DIAMETRO 70DDT	DIAMETRO 85DDT
1	T1F1	11.25	a	13.92	a	16.75	a	19.58	a
4	T1F2	11.08	a	13.75	a	16.67	ab	19.5	a
6	T3F2	10.5	ab	13.75	ab	15.83	ab	18.17	ab
2	T2F1	10.5	abc	13.08	ab	15.5	ab	17.92	abc
3	T1F1	10.17	abc	12.67	abc	15.25	ab	17.83	abc
5	T2F2	9.08	bc	11.67	bc	14.08	ab	16.75	bc
7	TOF0	8.75	c	11.42	c	13.25	b	15	c

Elaborado por (Montatixe, 2025)

Figura 5 Promedios para tratamientos en la variable diámetro del tallo



La prueba de Tukey al 5% mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados en distintos días después del trasplante. El tratamiento T1F1 presentó los valores más altos en todas las mediciones con un diámetro promedio de 11.25 mm a los 40DDT y 19.58 mm a los 85 DDT, ubicándose en el primer rango estadístico. De manera similar, el tratamiento T1F2 mostró valores altos y compartió el primer rango en varias mediciones, con 11.08 mm a los 40DDT y 19.5 mm a los 85DDT. Por otro lado, el testigo TOF0, sin aplicación de tratamientos, reportó los valores más bajos, con un diámetro de 8.75 mm a los 40DDT y 15 mm a los 85DDT, situándose en el último rango en la prueba de significación. Tratamientos como

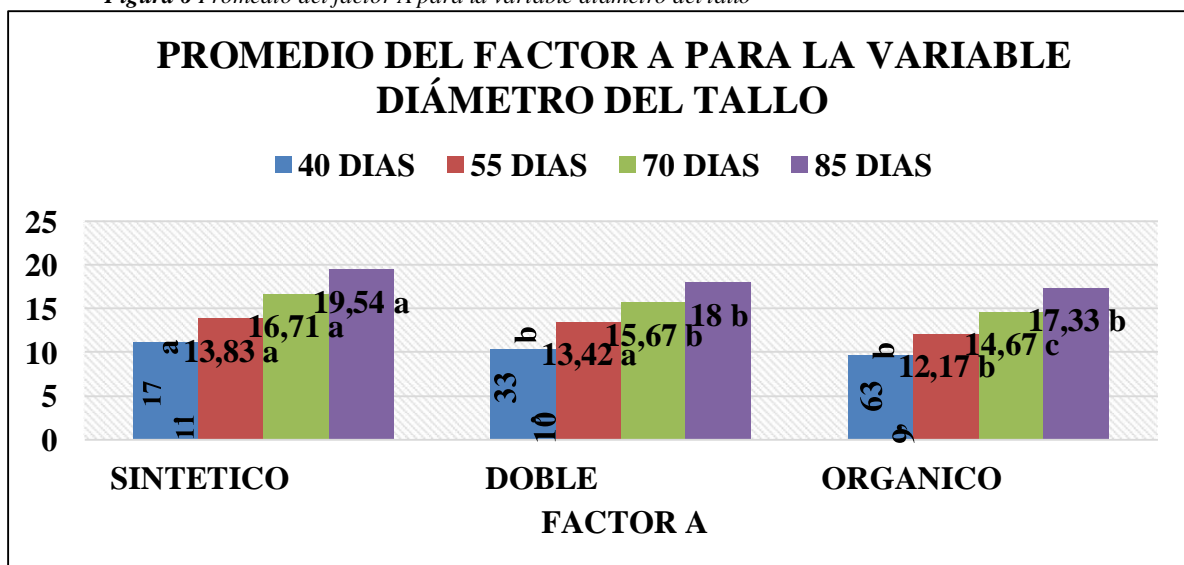
el T3F2 y T2F1 presentaron valores intermedios, compartiendo rangos con distintos tratamientos según el período de medición.

*Tabla 15 Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable diámetro del tallo*

FACTOR A	Promedios y rangos							
	DIAMETRO D 40DDT	DIAMETRO D 55DDT	DIAMETRO D 70DDT	DIAMETRO D 85DDT	DIAMETRO D 40DDT	DIAMETRO D 55DDT	DIAMETRO D 70DDT	DIAMETRO D 85DDT
SINTETICO	11.17	13.83	16.71	19.54	a	a	a	a
CADENA CORTA	10.33	13.42	15.67	18	b	a	b	b
ORGANICO	9.63	12.17	14.67	17.33	b	b	c	b

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 6 Promedio del factor A para la variable diámetro del tallo*



Para el Factor A, la prueba de Tukey al 5% en la variable diámetro del tallo evaluada a los 40, 55, 70 y 85 DDT, se identificaron tres rangos de significancia. En todas las evaluaciones, la aplicación de micronutriente quelante sintético presentó los mayores valores, alcanzando 11.17 mm, 13.83 mm, 16.71 mm y 19.54 mm a los días evaluados, ubicándose en el primer rango. Los micronutrientes quelantes de cadena corta mostraron valores intermedios, con 10.33 mm, 13.42 mm, 15.67 mm y 18 mm, ubicándose en el segundo rango en todas las evaluaciones, excepto a los 55DDT, Por otro lado, los micronutrientes quelantes orgánicos, presentó los menores valores de diámetro con 9.63 mm, 12.17 mm, 14.67 mm y 17.33 mm, ubicándose en

el segundo rango en todas las mediciones, excepto a los 70 DDT, donde descendió al tercer rango.

Estos hallazgos de las pruebas de Tukey al 5% son consistentes con los estudios de (Espinoza, Hernández, & González, 2020), quienes mencionan que los quelantes sintéticos mejoran la disponibilidad de micronutrientes esenciales para el crecimiento de los tejidos estructurales de la planta, promoviendo un desarrollo más robusto del tallo. De manera similar, (Hawrylak & Wójcik, 2023) encontraron que la biofortificación con quelantes contribuye a la uniformidad del diámetro del tallo, reduciendo el coeficiente de variación en el tiempo, lo mismo que concuerda con los resultados obtenidos en esta investigación.

### 10.3 Peso de la raíz

*Tabla 16 Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable peso de la raíz*

Fuente de variación	Grados de libertad	PESO		
		CUADRO MEDIOS	Valor de F	p-valor
TRATAMIENTO	6	530.6	16.41	0.0001 **
REPETICION	2	80.47	3.31	0.0716
FACTOR A. (M)	2	252.8	7.55	0.0075 **
FACTOR B. (F)	1	25.68	0.77	0.3982 ns
AxB	2	5.1	0.15	0.8604 ns
testigo vs resto	1	2642	81.73	0.0001 **
Error	14			
Total	20			
<b>CV (%)</b>	4.65	<b>PROMEDIO (g)</b>	122.4	

Elaborado por (Montatixe, 2025)

El análisis de varianza (ANOVA) cuyos datos fueron tomados al final de la investigación, mostró que el Tratamiento y el Factor A tienen un efecto estadísticamente significativo ( $p < 0.05$ ). El Factor B y la interacción AxB no presentan diferencias significativas, indicando que estos factores no afectan el peso de manera independiente ni combinada. Además, el testigo mostró diferencias significativas, evidenciando que las

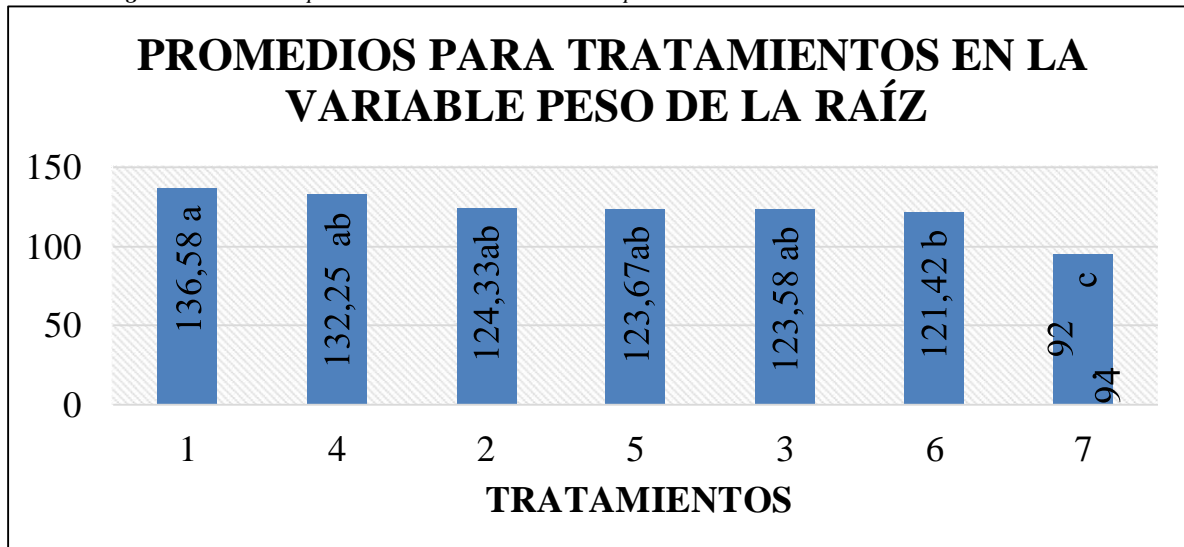
aplicaciones realizadas favorecen el peso de la raíz. El coeficiente de variación fue de 4.65%, y el promedio del peso de la raíz registrado fue de 122.4 g.

*Tabla 17 Prueba de Tukey al 5% para la variable peso de la raíz en tratamientos*

T	Tratamientos SIMBOLO	Promedios y rangos	
		PESO	
1	T1F1	136.58	a
4	T1F2	132.25	ab
2	T2F1	124.33	ab
5	T2F2	123.67	ab
3	T3F1	123.58	ab
6	T3F2	121.42	b
7	T0F0	94.92	c

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 7 Promedios para tratamientos en la variable peso de la raíz*



La prueba de Tukey al 5% mostró diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. El tratamiento T1F1 presentó el mayor peso promedio con 136.58 g, ubicándose en el primer rango de significación, seguido del tratamiento T1F2 con 132.25 g, que compartió rango con otros tratamientos. Estos tratamientos como T2F1, T2F2 y T3F1 presentaron valores intermedios, con promedios entre 124.33 g y 123.58 g. Por otro lado, T3F2 mostró un peso

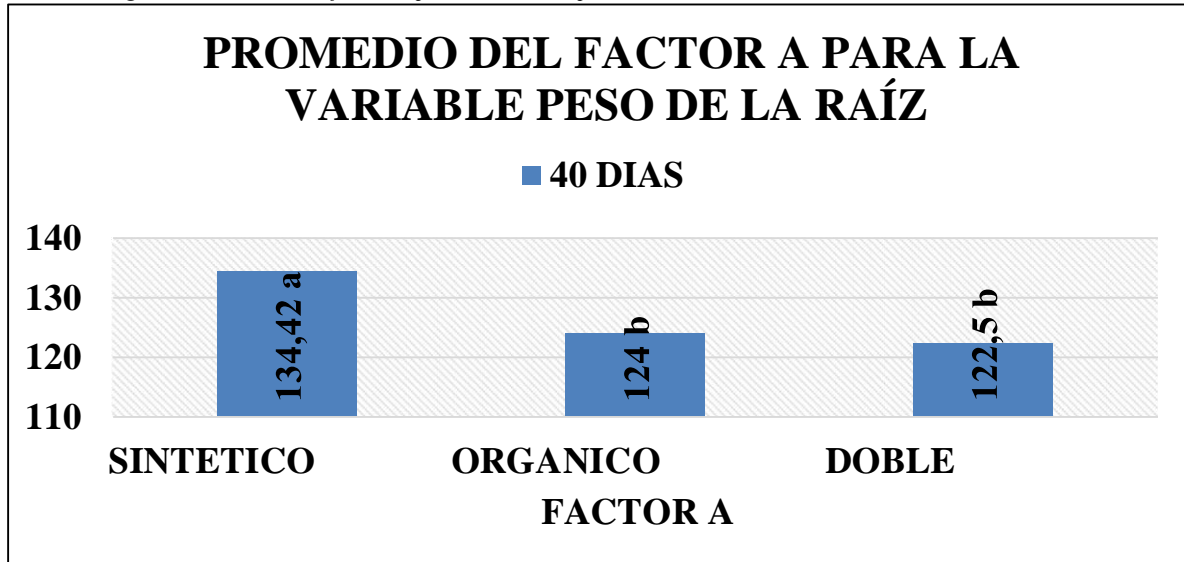
menor (121.42 g) y se ubicó en un rango inferior. El testigo sin tratamiento T0F0 registró el menor peso con 94.92 g, ubicándose en el último rango.

*Tabla 18 Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable peso de la raíz*

FACTOR A	Promedios y rangos	
	PESO	
SINTETICO	134.42	a
ORGANICO	124	b
CADENA CORTA	122.5	b

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 8 Promedio del factor A para la variable peso de la raíz*



Para el Factor A, la prueba de Tukey al 5% en la variable peso de la raíz, se identificaron dos rangos de significancia. El mayor peso se obtuvo utilizando micronutrientes quelantes sintéticos, alcanzando un promedio de 134.42 g, ubicándose en el primer rango. Por otro lado, los micronutrientes quelantes orgánicos y de cadena corta presentaron valores inferiores, y con promedios de 124 g y 122.5 g, ambos situándose en el segundo rango y último lugar en la prueba.

Estos hallazgos de las pruebas de Tukey al 5% coinciden con los estudios de (Mendoza

& Mina, 2021), quienes reportaron que la aplicación de micronutrientes quelantes favorecen la formación de raíces más profundas y vigorosas, optimizando la eficiencia en la absorción de agua y minerales. Asimismo, (Rodríguez J. , 2018) señaló que la deficiencia de micronutrientes puede afectar la capacidad del cultivo de papa para desarrollar un sistema radicular robusto, lo que influye directamente en su rendimiento y resistencia a condiciones adversas. En comparación con otros estudios, (Rámirez, 2019) determinó que la aplicación de quelatos de hierro y zinc mejora significativamente el desarrollo radicular en cultivos de papa, reforzando la evidencia de que el uso de estos compuestos puede ser una estrategia efectiva para incrementar la biomasa de la raíz.

## 10.4 Número de Tallos

*Tabla 19 Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable número de tallos*

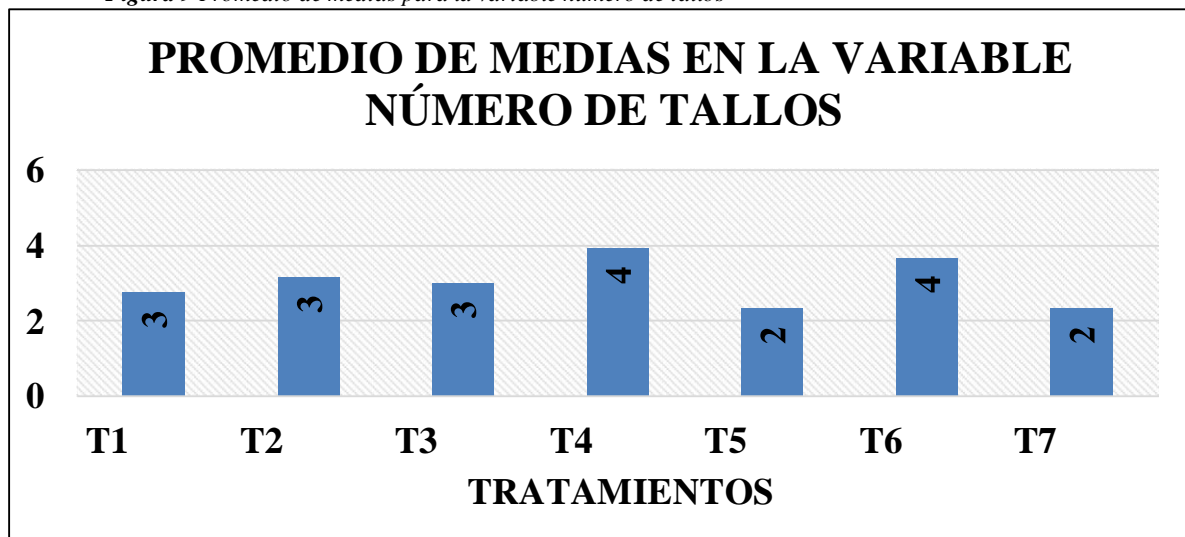
<b>NÚMERO DE TALLOS</b>				
<b>Fuente de variación</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>CUADRO MEDIOS</b>	<b>Valor de F</b>	<b>p-valor</b>
TRATAMIENTO	6	1.13	1.4	0.2832 ns
REPETICIÓN	2	2.65	5.26	0.023
FACTOR A. (M)	2	0.68	0.74	0.4978 ns
FACTOR B. (F)	1	0.5	0.54	0.4752 ns
AxB	2	1.63	1.77	0.2127 ns
testigo vs resto	1	1.67	2.06	0.173 ns
Error	14			
Total	20			

<b>CV (%)</b>	29.76
<b>PROMEDIO (N)</b>	3

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 9 Promedio de medias para la variable número de tallos*



El análisis de varianza (ANOVA) cuyos datos fueron tomados al final de la investigación, mostró que el Tratamiento, el Factor A (M), el Factor B (F) y la interacción AxB no presentan diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), indicando que ninguno de estos factores

influyó de manera determinante en el número de tallos. Además, el testigo no mostró diferencias significativas, evidenciando que las aplicaciones realizadas no generaron cambios significativos en el número de tallos respecto al testigo. El coeficiente de variación fue de 29.76%, y el promedio de tallos registrado fue de 3.

Mediante este análisis se confirmó que no hubo diferencias significativas entre los tratamientos aplicados y el testigo absoluto. Los resultados de acuerdo al ANOVA concuerdan con los estudios de (Mendoza & Mina, 2021), quienes señalaron que la aplicación de micronutrientes quelantes pueden favorecer la ramificación en ciertos cultivos, aunque su efecto en la papa no es concluyente. Sin embargo, en ese estudio no se evidenció un incremento significativo en la cantidad de tallos, lo que indica que otros factores, como el estado fisiológico del tubérculo semilla y las condiciones edafoclimáticas, tienen un rol más determinante en esta variable. Por otro lado, (Espinoza E. , 2022) reportó que el número de tallos en la papa puede estar influenciado por la disponibilidad de nutrientes en el suelo, especialmente nitrógeno y calcio.

### 10.5 Volumen de la raíz

*Tabla 20 Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable volumen de la raíz*

Fuente de variación	de libertad	VOLUMEN DE LA RAIZ			Grados
		CUADRO MEDIOS	Valor de F	p-valor	
TRATAMIENTO	6	3890	39.03	0.0001	**
REPETICION	2	180.1	2.09	0.1666	
FACTOR A. (M)	2	8151	77.22	0.0001	**
FACTOR B. (F)	1	1405	13.31	0.0033	**
AxB	2	220.5	2.09	0.1666	ns
testigo vs resto	1	5194	52.12	0.0001	**
Error	14				
Total	20				
<b>PROMEDIO (ml)</b>	142.9				<b>CV (%)</b>

6.99

Elaborado por: (Montatixe, 2025)

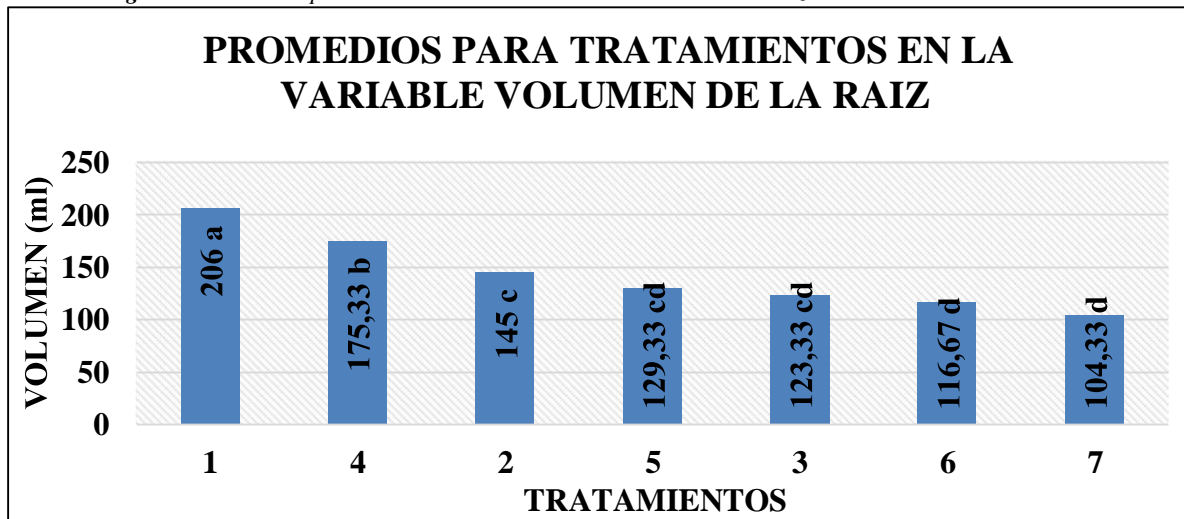
El análisis de varianza (ANOVA) cuyos datos fueron tomados al final de la investigación, mostró que el Tratamiento, el Factor A y el Factor B presentaron diferencias estadísticamente significativas, lo que indicó que estos factores influyeron de manera determinante en el volumen de la raíz. Por otro lado, la interacción AxB no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), indicando que este factor no tuvo un impacto relevante en esta variable. Además, el testigo mostró diferencias altamente significativas ( $p = 0.0001$ ), evidenciando que los tratamientos aplicados generaron cambios en el volumen de la raíz respecto al testigo. El coeficiente de variación fue de 6.99%, y el promedio de volumen de raíz registrado fue de 142.9 ml.

*Tabla 21 Prueba de Tukey al 5% para la variable volumen de la raíz en tratamientos*

<b>Tratamientos</b>		<b>Promedios y rangos</b>	
<b>T</b>	<b>SIMBOLO</b>	<b>VOLUMEN DE LA RAIZ</b>	
1	T1F1	206	a
4	T1F2	175.33	b
2	T2F1	145	c
5	T2F2	129.33	cd
3	T3F1	123.33	cd
6	T3F2	116.67	d
7	T0F0	104.33	d

Elaborado por (Montatixe, 2025)

Figura 10 Promedio para tratamientos en la variable volumen de la raíz



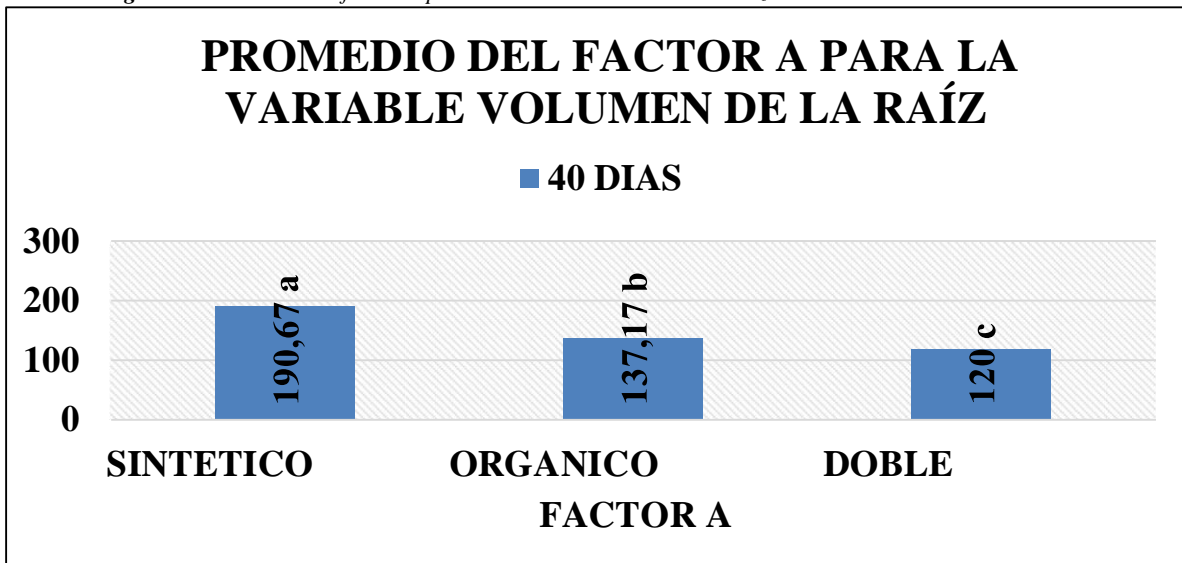
La prueba de Tukey al 5% mostró diferencias significativas entre los tratamientos. Se pudo evidenciar que el tratamiento T1F1 presentó el mayor volumen del sistema radicular, con un promedio de 206 ml, ubicándose en el primer rango de significación. Seguido por el tratamiento T1F2, con un volumen promedio de 175.33 ml, perteneciendo al segundo rango. Posteriormente, el tratamiento T2F1 presentó un volumen de 145 ml, situándose en el tercer rango. En un rango intermedio se ubicaron los tratamientos T2F2 y T3F1, con valores de 129.33 ml y 123.33 ml. Por último, se encuentran los tratamientos T3F2 y T0F0 los cuales presentaron los menores volúmenes de raíz, con 116.67 ml y 104.33 ml, ambos dentro del último rango.

Tabla 22 Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable volumen de la raíz

FACTOR A	Promedios (cc) y rangos	
	VOLUMEN DE RAIZ	
SINTETICO	190.67	a
ORGANICO	137.17	b
CADENA CORTA	120	c

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 11 Promedio del factor A para la variable volumen de la raíz*



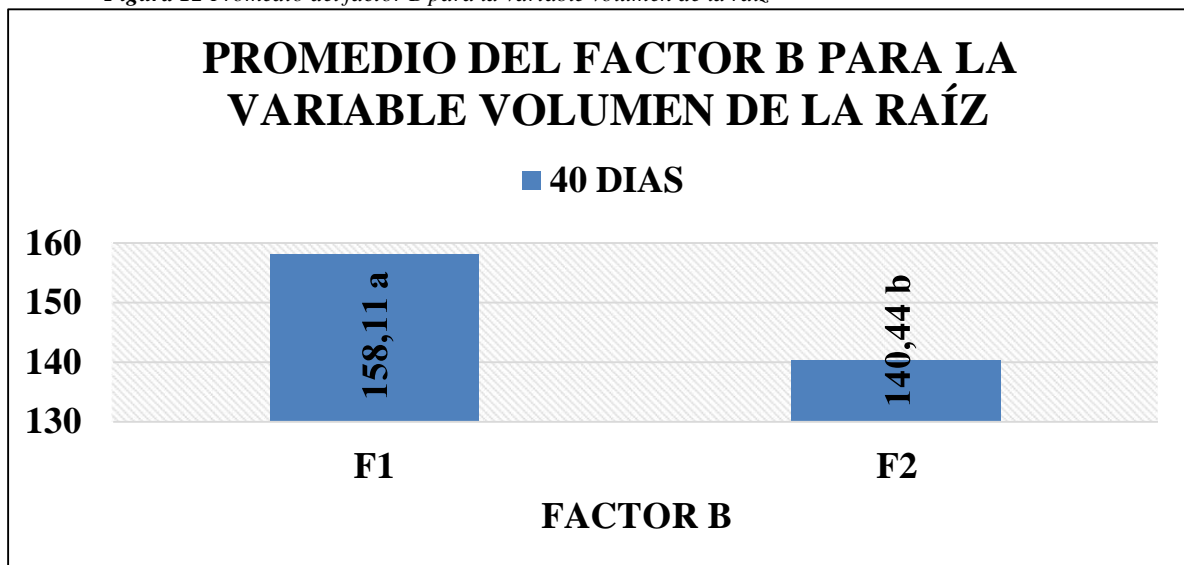
Para el Factor A, la prueba de Tukey al 5% en la variable volumen de la raíz, se identificaron tres rangos de significación. El mayor volumen de la raíz se obtuvo con la aplicación de micronutriente quelante sintético, con un promedio de 190.67 ml, ubicándose en el primer rango. Por otro lado, el micronutriente quelante orgánico presentó un volumen de raíz promedio de 137.17 ml, posicionándose en el segundo rango. Finalmente, el menor volumen de raíz se registró con la aplicación de micronutriente quelante de cadena corta, con un promedio de 120 ml, ocupando el tercer rango y último lugar en la prueba.

*Tabla 23 Prueba de Tukey al 5% para el Factor B en la variable volumen de la raíz*

Promedios y rangos		
FACTOR B	VOLUMEN DE RAIZ	
F1	158.11	a
F2	140.44	b

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 12 Promedio del factor B para la variable volumen de la raíz*



En la prueba de Tukey al 5% en relación a la frecuencia de aplicación, se identificaron dos rangos de significancia bien definidos en el volumen de la raíz. La mayor acumulación de volumen de raíz se obtuvo con la frecuencia F1, con un promedio de 158.11 ml, ubicándose en el primer rango. Por otro lado, la frecuencia F2 resultó en un menor volumen de raíz, con un promedio de 140.44 ml, situándose en el segundo rango, lo que indica un efecto significativamente menor en el desarrollo radicular.

Los resultados obtenidos en las pruebas de Tukey al 5% coinciden con lo reportado por (Mendoza & Mina, 2021), quienes indicaron que la aplicación de micronutrientes quelantes puede favorecer el desarrollo de un sistema radicular más robusto, aumentando la eficiencia en la absorción de agua y nutrientes. Además, (Rodríguez J. , 2018) menciona que la deficiencia de micronutrientes puede militar el crecimiento de las raíces en el cultivo de papa, reduciendo su volumen y capacidad de exploración en el suelo. Por otro lado, la investigación realizada por (Rámirez, 2019) encontró que la aplicación de quelatos de hierro y zinc en cultivos de papa favoreció un mayor desarrollo radicular, con incrementos significativos en la biomasa de las raíces.

## 10.6 Número de estolones

**Tabla 24** Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable número de estolones

Fuente de variación	Grados de libertad	NUMERO DE ESTOLONES		
		CUADRO MEDIOS	Valor de F	Valor p-valor
TRATAMIENTO	6	1141	56.51	0.0001 **
REPETICION	2	34.43	1.93	0.1873
FACTOR A. (M)	2	2850	124.5	0.0001 **
FACTOR B. (F)	1	156.1	6.82	0.0228 **
AxB	2	38.89	1.7	0.224 ns
testigo vs resto	1	912.1	45.17	0.0001 **
Error	14			
Total	20			
<b>CV (%)</b>	11.19	<b>PROMEDIO (ml)</b>	40	

Elaborado por (Montatixe, 2025)

El análisis de varianza (ANOVA) cuyos datos fueron tomados al final de la investigación, mostró que el Tratamiento, el Factor A y el Factor B presentaron diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ), lo que indica que estos factores influyeron de manera determinante en el número de estolones. Por otro lado, la interacción AxB no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), indicando que este factor no tuvo un impacto relevante en esta variable. Además, el testigo mostró diferencias altamente significativas ( $p = 0.0001$ ), evidenciando que los tratamientos aplicados generaron un cambio importante en el número de estolones en comparación con el testigo. El coeficiente de variación fue de 11.19%, y el promedio de número de estolones registrado fue de 40.

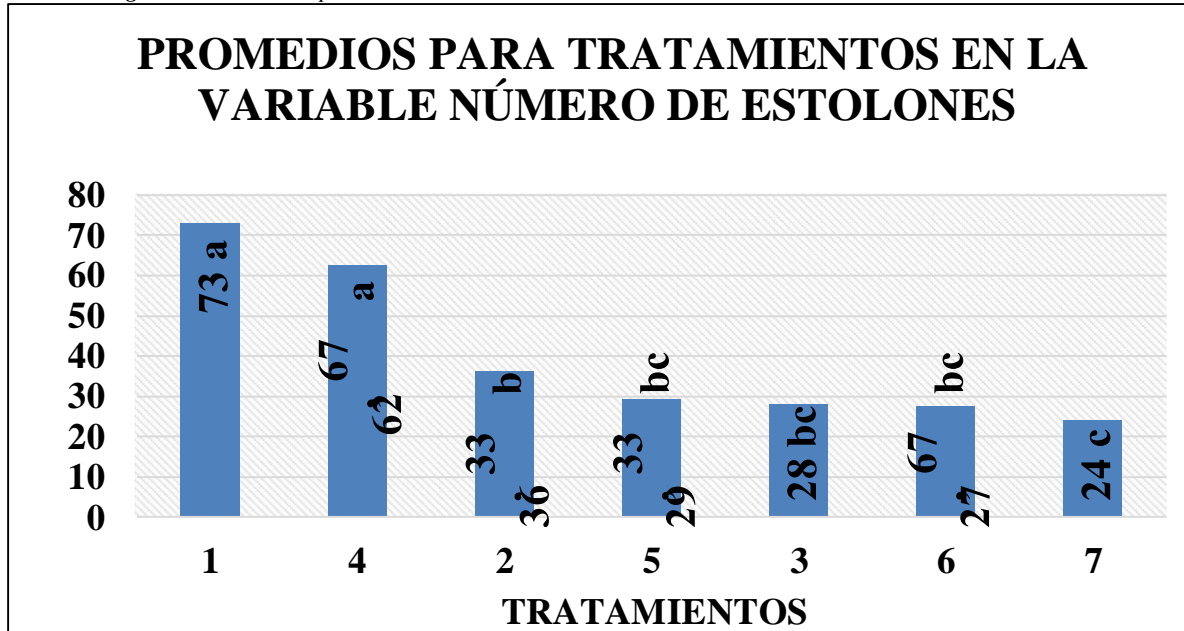
**Tabla 25** Prueba de Tukey al 5% para la variable número de estolones en tratamientos

T	Tratamientos SIMBOLO	Promedios y rangos	
		NUMERO DE ESTOLONES	
1	T1F1	73	a
4	T1F2	62.67	a
2	T2F1	36.33	b
5	T2F2	29.33	bc

3	T3F1	28	bc
6	T3F2	27.67	bc
7	T0F0	24	c

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 13 Promedios para tratamientos en la variable número de estolones*



La prueba de Tukey al 5% mostró que los tratamientos T1F1 y T1F2 registraron el mayor número de estolones, con promedio de 71 y 62.67 estolones, ubicándose en el primer rango. El tratamiento T2F1 presentó un promedio de 36.33 estolones, situándose en el segundo rango. Por otro lado, los tratamientos T2F2, T3F1, y T3F2 mostraron valores intermedios, con promedios de 29.33, 28 y 27.67 estolones, agrupándose en el mismo rango combinado.

Finalmente, el tratamiento T0F0 presentó el menor número de estolones, con un promedio de 24 estolones, ubicándose en el último rango.

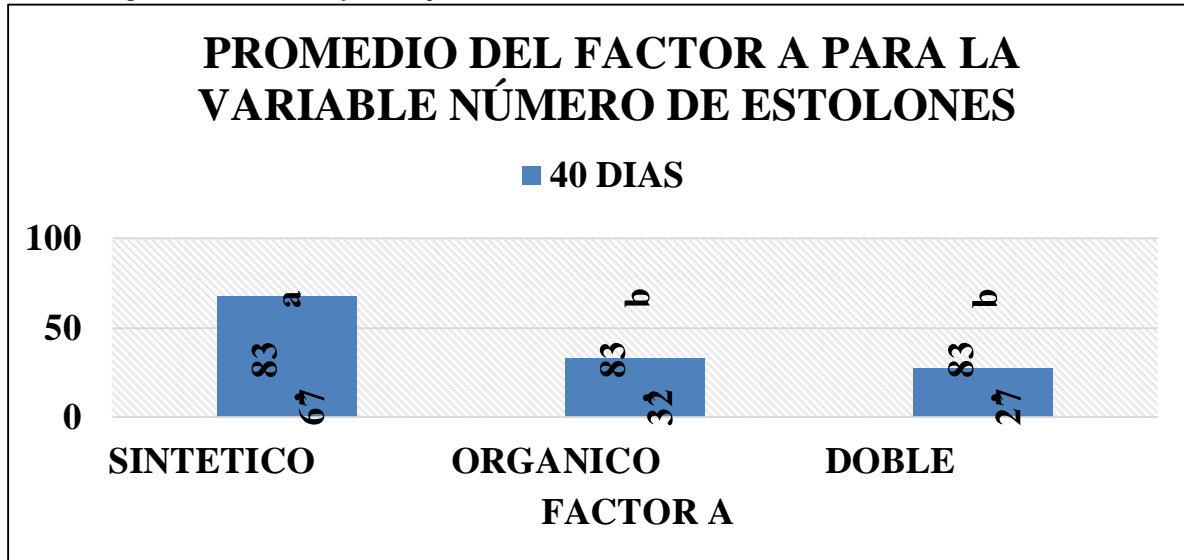
*Tabla 26 Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable número de estolones*

FACTOR A	Promedios (cc) y rangos	
	NUMERO DE ESTOLONEN	
SINTÉTICO	67.83	a
ORGÁNICO	32.83	b

CADENA CORTA	27.83	b
-----------------	-------	---

Elaborado por (Montatixe, 2025)

**Figura 14** Promedio del factor A para la variable número de estolones



Para el Factor A, la prueba de Tukey al 5% en la variable número de estolones, se identificaron dos rangos de significación. El mayor número de estolones se obtuvo con la aplicación de micronutriente quelante sintético, con un promedio de 67.83, ubicado en el primer rango. Por otro lado, el micronutriente quelante orgánico y de cadena corta presentaron promedio de 32.83 y 27.83 estolones, posicionándose en el segundo rango y último lugar en la prueba.

*27 Prueba de Tukey al 5% para el Factor B en la variable número de estolones*

<b>FRECUENCIA</b>	<b>Promedios y rangos</b>
F1	46 a
F2	40 b

Elaborado por (Montatixe, 2025)

La prueba de Tukey al 5% de significancia, mostró que F1 presenta un promedio de número de estolones de 46, mientras que F2 tuvo un promedio de 40 estolones. La presencia de estos rangos indica que existe una diferencia significativa entre ambos tratamientos, lo que indica que F1 tuvo un efecto positivo sobre el número de estolones en comparación con F2.

Estos hallazgos de las pruebas de Tukey al 5% coinciden con lo reportado por (Salazar, 2014), quien indicó que el uso adecuado de micronutrientes puede promover un incremento en la producción de estolones, favoreciendo así el desarrollo de la planta. Además, (Perez, Castillo, Navarrete, & Gamarra, 2021) señalaron que la aplicación de micronutrientes sintéticos potencia el crecimiento y desarrollo vegetativo, lo que contribuye a la formación de estructuras subterráneas como los estolones. Por otro lado, (Arias, 2021) menciona que los estolones no solo cumplen la función de transporte de carbohidratos hacia los tubérculos en formación, sino que también son determinantes para el crecimiento del cultivo.

*Tabla*  
**10.7 Número de tubérculos**

*Tabla 28 Análisis de Varianza (ANOVA) para la variable número de tubérculos*

Fuente de variación	Grados de libertad	<u>NUMERO</u>		<u>BÉRCULOS</u>	
		CUADRO MEDIOS	Valor de F	p-valor	
TRATAMIENTO	6	5659	188	0.0001	**
REPETICION	2	80.62	3.72	0.0553	
FACTOR A. (M)	2	15595	471	0.0001	**
FACTOR B. (F)	1	304.2	9.19	0.0104	**
AxB	2	54.89	1.66	0.2314	ns
testigo vs resto	1	2349	78.04	0.0001	**
Error	14				
Total	20				
<b>CV (%)</b>			9.16		
<b>PROMEDIO</b>			60		

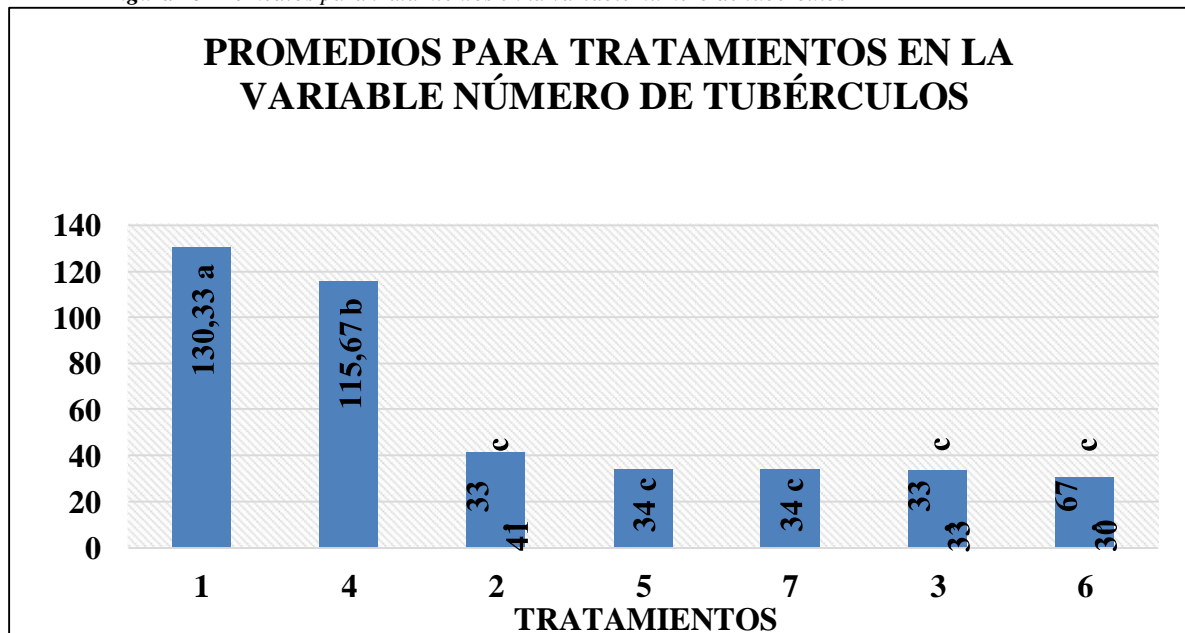
Elaborado por (Montatixe, 2025)

El análisis de varianza (ANOVA) cuyos datos fueron registrados al final de la investigación, mostró que el Tratamiento, el Factor A (M) y el Factor B (F) presentan diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.05$ ), lo que indica que estos factores influyeron de manera determinante en la producción de tubérculos. Por otro lado, la interacción AxB no presentó diferencias significativas ( $p > 0.05$ ), indicando que este factor no tuvo un impacto relevante en esta variable. Además, el testigo mostró diferencias altamente significativas ( $p = 0.0001$ ), evidenciando que los tratamientos aplicados generaron un impacto considerable en la cantidad de tubérculos en comparación con el testigo. El coeficiente de variación fue de 9.16%, y el promedio de tubérculos registrado fue de 60.

Tratamientos		Promedios y rangos	
T	SIMBOLO	NÚMERO DE TUBÉRCULOS	
1	T1F1	130.33	a
4	T1F2	115.67	b
2	T2F1	41.33	c
5	T2F2	34	c
7	T0F0	34	c
3	T3F1	33.33	c
6	T3F2	30.67	c

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 15 Promedios para tratamientos en la variable número de tubérculos*



Elaborado por (Montatixe, 2025)

La prueba de Tukey al 5% presentó que el tratamiento T1F1 mostró el mayor número de tubérculos (130.33) y se ubicó en el primer rango. El tratamiento T1F2 presentó un promedio de 115.67 tubérculos, situándose en el segundo rango. Los tratamientos T2F1, T2F2, T3F1 y T3F2 presentaron valores significativamente menores, con promedios entre 41.33 y 30.67 tubérculos, todos agrupados en el último rango.

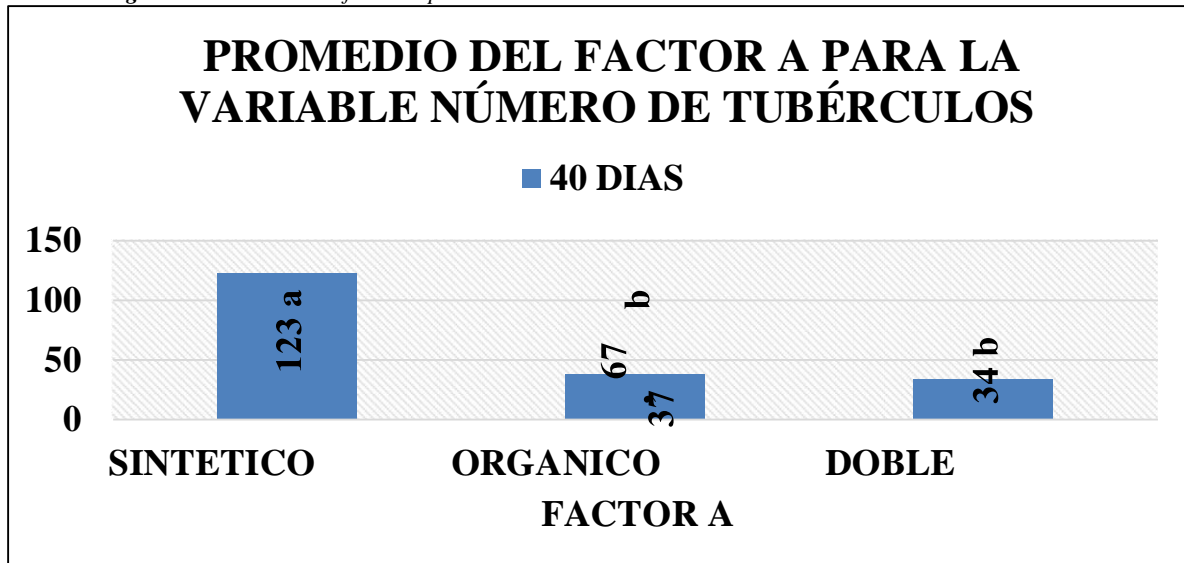
Tabla

30 Prueba de Tukey al 5% para el Factor A en la variable número de tubérculos

FACTOR A	Promedios y rangos	
	NUMERO DE TUBERCULOS	
SINTETICO	123	a
ORGANICO	37.67	b
CADENA CORTA	34	b

Elaborado por (Montatixe, 2025)

Figura 16 Promedio del factor A para la variable número de tubérculos



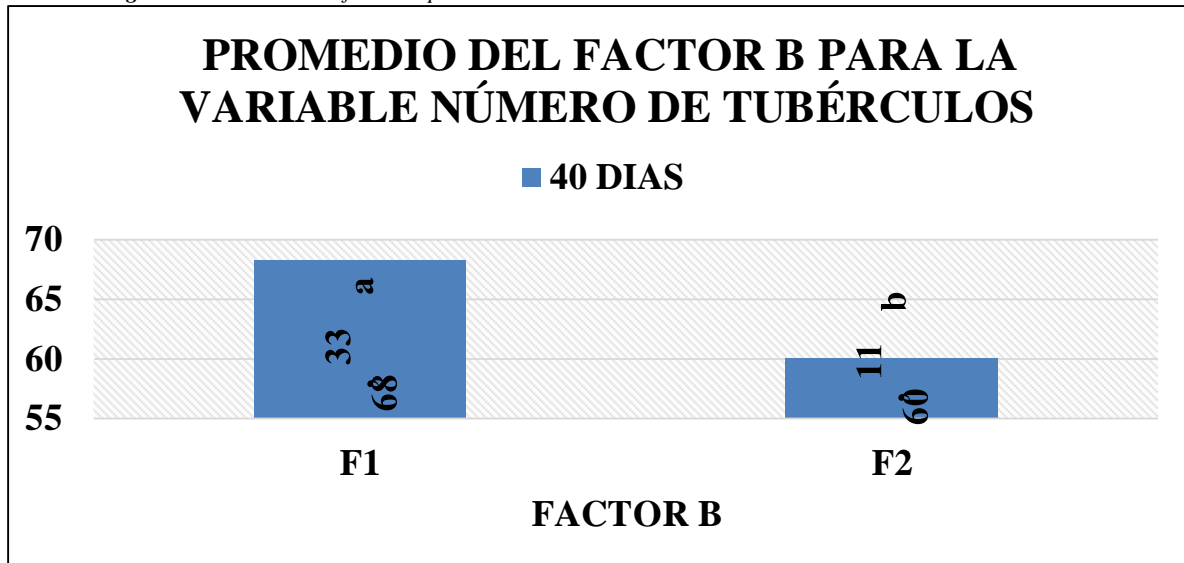
Para el Factor A, la prueba de Tukey al 5% en la variable número de tubérculos, se identificaron dos rangos de significación. El mayor número de tubérculos se obtuvo con la aplicación de micronutriente quelante sintético, con un promedio de 123 tubérculos, ubicado en el primer rango. Por otro lado, el micronutriente quelante orgánico y de cadena corta presentaron promedios de 37.67 y 34 tubérculos, posicionándose en el segundo rango y último lugar en la prueba.

31 Prueba de Tukey al 5% para el Factor B en la variable número de tubérculos

FRECUENCIA	Promedios y rangos	
	NÚMERO DE	TUBÉRCULOS
F1	68	a
F2	60	b

Elaborado por (Montatixe, 2025)

*Figura 17 Promedio del factor B para la variable número de tubérculos*



La prueba de Tukey al 5% en relación con la frecuencia de aplicación, se identificaron dos rangos de significancia bien definidos en la producción de tubérculos. La mayor cantidad de tubérculos se obtuvo con la frecuencia F1, con un promedio de 68 tubérculos, ubicándose en el primer rango. Por otro lado, la frecuencia F2 resultó en un menor número de tubérculos, con un promedio de 60, situándose en el segundo rango, lo que indica un efecto significativamente menor en la producción.

Los resultados obtenidos en estas pruebas de Tukey al 5% coinciden con los hallazgos de coinciden con las investigaciones de (Klaver, 2023) quien concluyó que el uso adecuado de micronutrientes puede aumentar significativamente la producción de tubérculos en cultivos de papa, alineándose también con el estudios de (Rámirez, 2019), quien encontró que la combinación de micronutrientes sintéticos y condiciones óptimas de cultivo favorecen el

*Tabla*

desarrollo tuberoso. Además, (Mendoza & Mina, 2021), reportaron que la aplicación de micronutrientes quelantes mejora la formación de raíces más profundas y vigorosas, incrementando la absorción de nutrientes y, en consecuencia, favoreciendo el número de tubérculos producidos.

## **11 IMPACTOS (TÉCNICOS, SOCIALES, AMBIENTALES O ECONÓMICOS)**

### **11.1 Impactos técnicos**

La aplicación de micronutrientes quelantes mejoró significativamente la eficiencia en la absorción de nutrientes, optimizando el crecimiento vegetativo y radicular del cultivo de papa. Esto no solo permite una mayor eficiencia en el uso de fertilizantes, sino que también incrementa la resistencia de la planta frente a factores de estrés abiótico, como suelos ácidos y con baja fertilidad.

### **11.2 Impactos ambientales**

El uso de micronutrientes quelantes contribuye a una fertilización más eficiente, reduciendo la necesidad de fertilizantes convencionales y minimizando el impacto ambiental asociado a la lixiviación de nutrientes en el suelo y cuerpos de agua. La mejora en la absorción de nutrientes evita acumulaciones innecesarias de elementos químicos, disminuyendo el riesgo de contaminación del ecosistema.

### **11.3 Impacto económico y social**

La optimización de la nutrición vegetal mediante quelante permitió mejorar la calidad y cantidad de tubérculos producidos, lo que presenta un beneficio directo para los agricultores al incrementar la rentabilidad del cultivo. Al reducir la dependencia de fertilizantes convencionales y mejorar la eficiencia en el uso de los insumos, los costos de producción se vuelven más sostenibles a largo plazo. Además, la obtención de un producto con mejores

características comerciales abre oportunidades para acceder a mercados con mayores estándares de calidad y mejor remuneración.

## **12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **12.1 Conclusiones**

- Al analizar el comportamiento agronómico en la absorción de nutrientes, se evidenció que el uso de micronutrientes quelantes mejoró significativamente la disponibilidad y la asimilación de elementos esenciales para el crecimiento del cultivo de papa. En todas las variables evaluadas se obtuvo los mejores desempeños utilizando el micronutriente quelante sintético. En comparación, los tratamientos con micronutrientes quelantes orgánico y de cadena corta presentaron un menor desempeño. Además, la mayor eficiencia en la absorción de nutrientes estuvo directamente relacionada con la estructura química del quelante y su capacidad de movilizar elementos esenciales en el suelo, optimizando así el desarrollo de la planta.
- En cuanto a la frecuencia de aplicación, se determinó que la aplicación de los micronutrientes quelantes cada 10 días resultó en una mejor absorción de nutrientes y un mayor desempeño, en comparación con la aplicación cada 15 días. La mayor frecuencia permitió un desarrollo vegetativo más uniforme y mejoró la resistencia de las plantas a condiciones adversas. Asimismo, el crecimiento radicular fue más eficiente con esta aplicación, favoreciendo la absorción de agua y nutrientes en el suelo.

### **12.2 Recomendaciones**

- Priorizar el uso de quelantes sintéticos para mejorar el crecimiento aéreo y la producción de tubérculos, y además combinar con el quelante orgánico para ver su desarrollo en cuanto al desarrollo radicular.
- Se sugiere aplicar los micronutrientes quelantes con una frecuencia de 10 días, ya que este intervalo ha demostrado ser más efectivo para mejorar la absorción de nutrientes y maximizar la producción.
- Para futuras investigaciones, se sugiere evaluar la combinación de micronutrientes quelantes con otros fertilizantes y bioestimulantes para analizar sinergias que puedan mejorar aún más el rendimiento del cultivo. Además, sería conveniente realizar estudios a largo plazo para determinar el impacto de estos tratamientos en la sostenibilidad del suelo y en la calidad de la producción.
- Se recomienda aplicar los micronutrientes quelantes estableciendo dosis lo cual podría ser más efectivo para optimizar el desarrollo vegetativo y la producción de tubérculos.

### 13 BIBLIOGRAFÍA

- Acuña , M. (2022). *Fraccionamiento de la fertilización foliar con Zinc en la biofortificación agronómica del cultivo de Papa*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Agraria La Molina : <https://repositorio.lamolina.edu.pe/items/52255528-ba49-48ca-8fa8-818a7fb7d4d8>
- Albornoz, F. (2023). Efecto de dosis y momento de aplicación de un estimulante orgánico en la producción de tubérculos de papa, "El Mantaro". *Universidad Nacional del Centro de Perú*. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/10625>
- Alvarado, J. (2021). *Obtención de harina a base de la cáscara de papa (solanum tuberosum)*

- sazonada*. Obtenido de Universidad Agraria del Ecuador :  
<https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/ALVARADO%20YEPES%20JOSELYNE%20ANABELL.pdf>
- Andrade , H., Odile , B., Sherwood , S., Cuesta , X., Quevedo , R., Oyarzun , P., . . . Valverde , F. (2022). *En cultivo de la Papa en Ecuador*. Obtenido de <https://cipotato.org/wpcontent/uploads/Documentacion%20PDF/Pumisacho%20y%20Sherwood%20Cultivo%20de%20Papa%20en%20Ecuador.pdf>
- Arbelaez , E. (2023). *Todo sobre los quelatos*. Obtenido de Guía actualizada y completa sobre el uso de quelatos:  
[https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home\\_4/mod\\_virtuales/modulo2/6.pdf](https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portallIG/home_4/mod_virtuales/modulo2/6.pdf)
- Arcos , J., Mamani , H., Barreda , W., & Holguín , V. (Octubre de 2020). Manual técnico: manejo integrado del cultivo de papa. *MANUAL TÉCNICO: MANEJO INTEGRADO DEL CULTIVO DE PAP*. Obtenido de <https://repositorio.inia.gob.pe/items/cc6df8ae-815c-474d-a25d-e9b7d67b6740>
- Arias , M. E. (2021). Descripción Botánica y Taxonómica de la Papa. *Universidad Pedagógica y Tecnológica de la Papa*, 32 - 29. Obtenido de <https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/4718/3620.pdf?sequence=1>
- Cajal, A. (2023). La investigación se lleva a cabo bajo una modalidad esencial en el campo y experimental. Este enfoque permite evaluar el efecto directo de los tratamientos en circunstancias reales, utilizando lotes específicos para las pruebas agrícolas. Como indica Góme. *Investigación de Campo*. Obtenido de <https://s9329b2fc3e54355a.jimcontent.com/download/version/1545253266/module/9548087369/name/Investigaci%C3%B3n%20de%20Campo.pdf>

- Calderón, D. (2023). Evaluación de dos tipos de fertilizante cristalino de alta solubilidad sobre el rendimiento e chile chocolate (*Capsicum annuum* var. *Acuminatum* Fingerth) en la Costa Sur de Guatemala. *Universidad del Valle de Guatemala*. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/5431>
- Campos , D. (24 de Diciembre de 2015). Guías para la elaboración de estudios agroclimáticos de cultivos (propuesta normativa). *Medio Ambiente*. Obtenido de <https://revistatyca.org.mx/index.php/tyca/article/view/744>
- Canto , K. (2019). Optimización en la obtención de plántulas de papa (*Solanum tuberosum* L.), a partir de brotes inducidos en el Cultivar Canchán. *Universidad Nacional del Centro de Perú*. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/5947>
- Castellanos , K. (2021 ). *Calcio, magnesio y azufre, consumo y distribución en papa (Solanum tuberosum L. Grupo Andigenum)*q. Obtenido de Repositorio Institucional UNAL : <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/80640>
- Castillo , C. (Diciembre de 2021). Guia manejo punta morada de la papa. *ResearchGate*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/374380697\\_Guia\\_manejo\\_punta\\_morada\\_de\\_la\\_papa](https://www.researchgate.net/publication/374380697_Guia_manejo_punta_morada_de_la_papa)
- Cespédes , C. (2018). *Producción Hortifrutícula Orgánica* . Obtenido de Instituto de Investigación agropecuaria : <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/924cadc6-2c90-47b7-b666c6305c5e1512/content>
- Chiguano , A. (Febrero de 2024). Evaluacion de diferentes concentraciones de trichoderma para el control de lancha (*phytophora infestans*) en el cultivo de papa (*solanum tuberosum*)

variedad yema de huevo, parroquia Aloag, cantón Mejía, 2023. *Universidad Técnica de Cotopaxi*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/items/9beba927-50e2-4dac-9b04-9ee3ff2d1976>

Choque , G., Oviedo , E., Mamani , F., & Aparicio , J. (2021). Producción de semilla a partir de brotes de tres variedades de papas nativas (Saq'ampaya, Imilla Negra y Waych'a) bajo ambiente protegido tipo tunel - La Paz. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 46 - 53. Obtenido de <https://riiarn.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/download/189/168>

Corrales , L., Arévalo , Z., & Moreno , V. (2014). Solubilización de fosfatos: una función microbiana importante en el desarrollo vegetal. *NOVA*, 12(21). Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1794-24702014000100006](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1794-24702014000100006)

Cuesta, X., Peñaherrera, D., Velasquez, J., & Castillo, C. (2018). Guía de manejo de la punta morada de la papa. *INIAP-Estación experimental santa catalina*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5653/1/Guía%20de%20Manejo%20de%20la%20Punta%20Morada%20de%20la%20Papa%201ra%20edición.pdf>

Cueva, J. (2020). Efecto de la aplicación complementaria de bioestimulante orgánico aminovigor en el cultivo de papa (*solanum tuberosum*) cultivar Yungay en C.P. Huaripampa, San Marcos, Huari. *Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo*. Obtenido de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM\\_aee735faedd4f3cb112e90d4cb664d2](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/RUNM_aee735faedd4f3cb112e90d4cb664d2)

Dolev , N., Katz, Z., Ludmer , Z., Ullman , A., Brauner , N., & Romano , G. (Abril de 2020 ). *Aminoácidos naturales como potenciales quelantes para la remediación del suelo*.

Obtenido de Investigación Ambiental :

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0013935120300323?via%3Dihub>

Espin , F. (Agosto de 2024 ). *Evaluación de un fertilizante foliar a tres dosis en el rendimiento del cultivo de papa (solanum tuberosum) variedad “súper chola” en el barrio Umbria, Aloasí, cantón Mejía.* Obtenido de Universidad Técnica de Cotopaxi :

<https://repositorio.utc.edu.ec/>

Espinoza , A., Hernández , R., & González , M. (Diciembre de 2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas.

*Biotecnología Vegetal*, 20(4). Obtenido de

[http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2074-86472020000400257](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2074-86472020000400257)

Espinoza , E. (Septiembre de 2022). Evaluación de insecticidas naturales para el control de paratiroza (*Bactericera cockerelli*) en papa (*Solanum tuberosum* var. Super chola) utilizando el método de termonebulización, en la parroquia Izamba del cantón Ambato, provincia de Tungurahua. *Universidad Técnica de Ambato.* Obtenido de

<https://repositorio.uta.edu.ec/items/583f52d4-9b98-4aab-81c9-42ee7afcc073>

FAO . (2020). *nforme sobre el estado mundial de la agricultura y la alimentación* .

*Publicaciones de la FAO.*

FAO, O. d. (2024). *El estado de la seguridad alimentaria y la nutrición en el mundo 2024.*

Obtenido de Roma - Italia: <https://openknowledge.fao.org/items/ebe19244-9611-443ca2a6-25cec697b361>

Gabriel , J. (12 de Diciembre de 2019). Treinta años de contribución de la Fundación PROINPA a la agricultura boliviana:. *Revista Latinoamericana de la Papa*, 23(2), 66 - 73.

Obtenido de Revista Latinoamericana de la Papa:

- <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7342639>  
 Gavilanez, A., & Saragosin, B. (Marzo de 2024). Desarrollo de un prototipo para la identificación automática de plagas y enfermedades en el cultivo de papa. *Universidad Tecnica de Cotopaxi*. Obtenido de <https://repositorio.utc.edu.ec/items/0e4d70eb-d2e5-488d-9339-0f29b22d4f1a>
- GENCAT. (2024). Toxicidad del fipronil. *Agencia Catalana de seguridad alimentaria*.
- Gol-Soltani, M., Ghasemi, R., Ronaghi, A., Zarei, M., Zeinali, S., & Haderlein, S. (1 de Julio de 2024). *Solución natural para la remediación de la contaminación multimetálica: aplicación de aminoácidos naturales, Pseudomonas fluorescens y Micrococcus yunnanensis para aumentar la eficiencia de la fitorremediación*. Obtenido de Revista Internacional de Fitorremediación : <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/15226514.2024.2372688>
- Guamán, T. (9 de Mayo de 2022). *El género Solanum, al cual pertenece la papa, es uno de los más diversos dentro de las plantas angiospermas, con más de 1.500 especies identificadas. Su origen se remonta a las regiones montañosas de América del Sur, donde especies silvestres de Solanum e*. Obtenido de Universidad Superior Politécnica de Chimborazo : <http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/17214>
- Gutierrez, P. (2018). *Biofortificación agronómica del cultivo de papa mediante aplicación foliar y edáfica de Zinc y su interacción con Cadmio*. Obtenido de Repositorio Institucional Universidad Agraria La Molina: <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/3769>
- Hawrylak, B., & Wójcik, M. (2023). Los desequilibrios naturales producidos por el cambio climático, el aumento poblacional global y la necesidad de producir más alimentos, nos llevan al uso de más ciencia y tecnología para el combate de esta problemática. Sin

- olvidar que su uso implica ser. *Tecno Agro*. Obtenido de <https://tecnoagro.com.mx/2021/09/20/bioestimulacion-y-biofortificacion-de-plantasde-cultivo-nuevos-retos-para-la-agricultura/>
- Human, V. (2023). Caracterización de la Biodiversidad y Variabilidad Fenotípica de Papas Nativas (*Solanum* spp.) en Familias Guardianas de la Región Lima y Junín. *Repositorio Institucional*. Obtenido de <https://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/8914>
- INIAP. (2021). *Informe Anual 2021 Departamento de Economía Agrícola y Cambio Climático*. Obtenido de <https://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/6039>
- Inostroza, J., Méndez, P., & Sotomayor, L. (2023). I. BOTÁNICA Y MORFOLOGÍA DE LA PAPA. *Carillanca INIA*. Obtenido de <https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/1009be55-01c2-4209-9d1f-086ead54f25a/content>
- Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) . (2022). *Censo Ecuador* . Obtenido de VIII Censo de Población y VII de Vivienda : [https://www.censoecuador.gob.ec/wpcontent/uploads/2023/10/2022\\_CPV\\_NACIONAL\\_DENSIDAD\\_POBLACIONAL.xlsx](https://www.censoecuador.gob.ec/wpcontent/uploads/2023/10/2022_CPV_NACIONAL_DENSIDAD_POBLACIONAL.xlsx)
- Izquierdo, M., & Armas, M. (2018). Propuesta de un protocolo de fertilización como una. *Revista Científica Natura y Ambiente*, 12(1), 31 - 42. Obtenido de [https://www.researchgate.net/publication/384888487\\_La\\_Propuesta\\_de\\_un\\_protocolo\\_de\\_fertilizacion\\_como\\_una\\_estrategia\\_para\\_el\\_control\\_de\\_nematodos\\_en\\_el\\_cultivo\\_de\\_bananoThe\\_Proposal\\_of\\_a\\_protocol\\_of\\_fertilization\\_as\\_a\\_strategy\\_for\\_the\\_control\\_of\\_nemat](https://www.researchgate.net/publication/384888487_La_Propuesta_de_un_protocolo_de_fertilizacion_como_una_estrategia_para_el_control_de_nematodos_en_el_cultivo_de_bananoThe_Proposal_of_a_protocol_of_fertilization_as_a_strategy_for_the_control_of_nemat)

- Jerez, E., Roberquí, M., Morales, D., & Escobar, R. (2017). Efecto de oligosacarinas en el comportamiento de la papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad Romano. *Scielo: Cultivos Tropicales*, 38 (1), 75 - 80. Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_abstract&pid=S0258-59362017000100008](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0258-59362017000100008)
- Jimenez, E., & Andino, R. (29 de Junio de 2021). *Bactericera cockerelli* Sulc. (Hemiptera: Triozidae) causante de punta morada (*Candidatus liberibacter, solanacearum*) en papa (*Solanum tuberosum* L.) en Estelí, Nicaragua. *La Calera*. Obtenido de <https://camjol.info/index.php/CALERA/article/view/11832>
- Klaver, F. (2023). La tuberización de brotes de papa y "ullucus" cultivados in vitro. *Revista de la Facultad Agronómica*, 32(1). Obtenido de <http://revista-vieja.agro.unlp.edu.ar/index.php/revagro/article/download/2173/1783>
- Lagos, T., Mejía, D., Martínez, C., Andrade, D., Latorre, L., Trejo, D., & Valencia, L. (1 de Marzo de 2022). Avances en el Mejoramiento Genético de la Papa (*Solanum tuberosum* L.) para el Sur de Colombia. *Universidad de Nariño*. Obtenido de <http://sired.udenar.edu.co/id/eprint/7327>
- Lagua, M. (2023). Análisis de costos de producción en tres variedades del cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) En la asociación Agropapa de la provincia de Tungurahua. *Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/items/3edd0477-85f2-4e63-8190-02d7bbbcddbb>
- Llatas, W. (30 de Diciembre de 2022). *Efecto de dos dosis de abono foliar Kaneka Peptide W2 y un testigo en el rendimiento de papa (Solanum tuberosum L.) variedad Única en el distrito de Cutervo, 2018*. Obtenido de Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo : <https://repositorio.unprg.edu.pe/handle/20.500.12893/13646>

- Mafla , H. (2019). Formas de Obtención de semilla de papa super chola en el sector de la Purificación, Cantón Huaca. *Universidad Técnica de Babahoyo*. Obtenido de <https://dspace.utb.edu.ec/handle/49000/7189>
- Mayorga , C. (2021). Evaluación de técnicas de adherencia de microelementos en partículas de nitrato de amonio para mejorar su distribución en una mezcla física de fertilizante. *Universidad del Valle de Guatemala*. Obtenido de <https://repositorio.uvg.edu.gt/handle/123456789/4076>
- Mendoza , M. (2021 ). *Evaluación de la capacidad de solubilización de fosfatos por bacterias asociadas a la rizosfera de papa Solanum tuberosum*. Obtenido de Repositorio UTA : <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/870/simplesearch?filterquery=FOSFATOS&filtername=subject&filtertype>equals>
- Mendoza, M. (2021). *Evaluación de la capacidad de solubilización de fosfatos por bacterias asociadas a la rizosfera de papa Solanum tuberosum*. Obtenido de Repositorio UTA: <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/870/simplesearch?filterquery=FOSFATOS&filtername=subject&filtertype>equals>
- Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca (MAGAP). (2024 ). *Ecuador se proyecta a ser exportador de papa*. Obtenido de Agricultura ec : <https://www.agricultura.gob.ec/ecuador-se-proyecta-a-ser-exportador-depapa/#:~:text=%E2%80%9CLa%20papa%20es%20el%20segundo,a%20su%20cultivo%20y%20comercializaci%C3%B3n>.
- Molina , J., Boigue , M., & Aguilar , L. (2014). Guía en el Cultivo de Papa. *Manejo integrado de Plagas* . Obtenido de <https://cenida.una.edu.ni/relectronicos/RENH10M722.pdf>

- Molina , M., Cruz , E., Sánchez , E., Velásquez , J., Osorio , R., & Marquez , C. (29 de Junio de 2021). Rendimiento y contenido mineral de frijol caupí biofortificado con sulfatos de hierro y zinc. *Agociencia*, 5(4). Obtenido de <https://agociencia-colpos.org/index.php/agociencia/article/view/2483>
- Monteza , U. (2020). Efecto de tres niveles de fósforo y tres fuentes de nitrógeno en el rendimiento de papa (*Solanum tuberosum* L.) variedad yungay en la provincia de Cutervo, región Cajamarca 2017- 2018. *Universidad Nacional Pedro Ruíz Gallo*. Obtenido de [https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8619/Monteza\\_Carranza\\_Uvelser.pdf?sequence=1](https://repositorio.unprg.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12893/8619/Monteza_Carranza_Uvelser.pdf?sequence=1)
- Moreno , A., Mendoza, V., Reyes , J., Vásquez , J., & Ríos , P. (2018). Rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal: una alternativa de biofertilización para la agricultura sustentable. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 20(1). Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-34752018000100068](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-34752018000100068)
- Ojeda , D., Saenz , C., Leal , R., Carranza , V., & Pasini , A. (2023). Efecto de la uva y el portainjerto sobre la asimilación de iones del suelo en Cuauhtémoc, Chihuahua. *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias*. Obtenido de <https://doi.org/10.29312/remexca.v14i7.2979>
- Olazabal , J. (24 de Enero de 2019). Efecto de la Fertilización con Microelementos a Base de Boro, Manganeso, Cobre y Zinc Sobre la Población del Complejo de Chinchas de la Quinoa *Nyctaginia simulans* Stal y *Liorhynchus hyalinus* Fabricius Irrigación de Majes 2017. *Universidad Católica de Santa María*. Obtenido de <https://repositorio.ucsm.edu.pe/items/559affbc-3c8d-45e7-8c8c-03b0c9b4cb07>

- Pacheco , A., Mora , C., Durán , M., & Pastran , F. (Abril de 2024). Contribución al estudio de la geografía climática del Ecuador continental. *Revista Ciencia UNEMI*, 17 (44), 237 - 248. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/9752632.pdf>
- Palomino , M. (2024). Densidad de siembra y dosis de potasio en el rendimiento de papa (Solanum tuberosum) var, Única. Canaán 2750 msnm - Ayacucho. *Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de San Cristobal de Huamanga*. Obtenido de <https://repositorio.unsch.edu.pe/items/8b25e789-cbf1-4a01-8f83-696cbdaad714>
- Peña , J. (2023). Microtuberización in vitro de Solanum tuberosum L. Var. Superchola. *Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/server/api/core/bitstreams/5a162316-288a-41a6-990ad0c8f41c43c7/content>
- Peña, E., Ruesga, I., Exposito , I., & Gardon, D. (2015). Libro de experimentación agrícola. *Facultad De Ciencias Agrícolas Centro Universitario Vladimir Lenin Las Tunas*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Esteban\\_Pena\\_Pena/publication/329880204\\_LIBRO\\_DE\\_EXPERIMENTACION\\_AGRICOLA/links/5c1f9b47299bf12be3957ab9/LIBRO-DE-EXPERIMENTACION-AGRICOLA.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Esteban_Pena_Pena/publication/329880204_LIBRO_DE_EXPERIMENTACION_AGRICOLA/links/5c1f9b47299bf12be3957ab9/LIBRO-DE-EXPERIMENTACION-AGRICOLA.pdf)
- Perales , M., Alvarado , L., Hermosillo , L., & Vega , F. (2019). Analisis de rentabilidad económica del uso de zinc en la producción y calidad de maíz forrajero en la Comarca Lagunera. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 371 - 382. Obtenido de <https://www.redalyc.org/journal/141/14162394009/html/>
- Perez , S., Guerrero , S., & Palacios , A. (2021). Biofertilización y nanotecnología en la alfalfa (Medicago sativa L.) como alternativas para un cultivo sustentable. *Cultivos Tropicales*, 42(2). Obtenido de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0258-59362021000200010](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362021000200010)

- Perez , W., Castillo , C., Navarrete, I., & Gamarra , H. (2021). Cartilla descriptiva del psílido de la papa. *Centro Internacional de la Papa*. Obtenido de <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/f8df9edd-639d-49f4-ba3ff9a8692b5635/content>
- Pino , M. T. (2018 ). *Pimientos para la industria de alimentos e ingredientes*. Obtenido de Instituto de investigaciones agropecuarias: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/server/api/core/bitstreams/924cadc6-2c90-47b7-b666c6305c5e1512/content>
- Quimbita , J. (2024). Evaluación de tres dosis de fertirriego y dos dosis de gallinaza en el cultivo de papa (*solanum tuberosum l.*) variedad superchola en c.e.r tunshi. *Escuela Superior Politécnica De Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/21916/1/13T01153.pdf>
- Quispe , M. (2020). Fertilización foliar y edáfica con Zinc para la biofortificación agronómica del cultivo de Papa (*Solanum tuberosum L.*) en Cañete. *Alicia*. Obtenido de [https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL\\_9db1216141cb0bae9bab11f7d48b45d3](https://alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/UNAL_9db1216141cb0bae9bab11f7d48b45d3)
- Rámirez , J. (2019). Los resultados obtenidos concuerdan con estudios previos como el de Ramírez Aparicio (2019) , que determinaron que la aplicación de quelatos de hierro y zinc mejora significativamente el desarrollo radicular en cultivos de papa. De acuerdo con Monteza Car. *Repositorio Institucional*. Obtenido de <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/4138>
- Restrepo, G., Marulanda , S., Pérez , Y., & Rodriguez , A. (Abril de 2015). Bacterias solubilizadoras de fosfato y sus potencialidades de uso en la promoción del crecimiento de cultivos de importancia económica. *Revista CENIC Ciencias Biológicas.*, 46, (1), 66

- 73. Obtenido de Revista CENIC Ciencias Biológicas:  
<https://www.redalyc.org/pdf/1812/181238817006.pdf>
- Rezabala , A. (2024). Comercialización de productos agrícolas en la economía popular y solidaria de la provincia. *Revista Científica Multidisciplinaria*. Obtenido de <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/mikarimin/article/download/3398/3996/15034>
- Rodríguez , J. (2018). *Evaluación del contenido de minerales tóxicos en zanahoria (Daucus carota) y tres variedades de papa (Solanum tuberosum) del Valle del Mantaro*. Obtenido de Universidad Nacional del Centro de Perú:  
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4788/Rodriguez%20Vera.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rodríguez, D., & Buitrago, D. (2019). *Evaluación de los microelementos Zinc, Cobre, Magnesio y Manganeso, como enraizante en el cultivo de arroz (Oryza Sativa l). Variedades Fedearroz 67, Fedearroz 68 y Oryzica 1 en el municipio de Piedras – Tolima*. Obtenido de Universidad Nacional Abierta y a Distancia UNAD:  
<https://core.ac.uk/download/pdf/344723689.pdf>
- Salazar , O. (2014). Hidrólisis enzimática de proteínas de suero lácteo con proteasas de tracto de trucha arcoiris (*oncorhynchus mykiss*) para reducir la contaminación orgánica del agua mediante la posible aplicación como fertilizante orgánico. *Universidad Técnica de Ambato*. Obtenido de <https://repositorio.uta.edu.ec/items/9a69f8e5-ad80-4896-b377-53edfef6365d>
- Sandaña, P. (2022). *Morfología y fisiología de la planta*. Obtenido de Capítulo II:  
<https://biblioteca.inia.cl/server/api/core/bitstreams/59e625c8-ad4e-4bc2-a3fedad748f80fa0/content>
- Scurrah, M., De Haan, S., Olivera, E., Ccanto, R., Creed, H., Carrasco, M., . . . Barahona, C.

- (2023). *Ricos en agrobiodiversidad, pero pobres en nutrición*. Obtenido de Seguridad alimentaria: <https://cgspace.cgiar.org/server/api/core/bitstreams/5c43b285-f555-4929bcef-26388b5e9d4c/content>
- Silva , J. (2024). *Study of superoxide mitigating activity of Cu(II) complexes with amino acid ligands in "Glycine Max"*. Obtenido de Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Química: <https://repositorio.unicamp.br/acervo/detalhe/1392605>
- Sosa , B., & García , Y. (2023). Oligoelementos: dinámica nutricional en diferentes órganos y etapas fenológicas del cultivo de rambután en Honduras. *Siembra*. Obtenido de [http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2477-88502023000100004](http://scielo.senescyt.gob.ec/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2477-88502023000100004)
- Tene, E. (2024). Caracterización morfológica y evaluación agronómica de tres variedades nativas de papa (*Solanum* spp.) provenientes del cantón Saraguro, provincia de Loja. *Universidad Nacional de Loja*. Obtenido de [https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29641/1/ElsaCarmen\\_TeneSaca.pdf](https://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/29641/1/ElsaCarmen_TeneSaca.pdf)
- Torres , E. (21 de Junio de 2021). La fruta de papa pertenece a la especie *Solanum tuberosum* es un fruto redondo u ovalado similar a una cereza o pequeño tomate verde con numerosas semillas en su interior. Esta es un fruto producto del desarrollo de la flor de la planta, aunque por cuesti. *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*. Obtenido de <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/14978>
- TRADECORP AZ. (8 de Abril de 2022). *Ficha de Datos de Seguridad*. Obtenido de Reglamento UE 2020/878 de la Comisión :

<https://tradecorp.es/wpcontent/uploads/2021/11/SDS-TRADECORP-AZ-v5.0-es-ES-ID-2020.pdf>

Ulloa , E., Camacho , M., & Brenes , A. (2024). Crecimiento y acumulación de nutrimentos en la variedad de papa Elbe-UCR. *Agronomía Costarricense*, 48(2). Obtenido de [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242024000200009&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?pid=S0377-94242024000200009&script=sci_arttext)

Vignola , R., Watler , W., Céspedes , A., & Morales, M. (Enero de 2017). *Prácticas efectivas para la reducción de impactos por eventos climáticos en el cultivo de papa en costa rica* . Obtenido de 1Líder del Programa de Cambio Climático y Cuencas CATIE: <https://www.mag.go.cr/bibliotecavirtual/F01-8214.pdf>

Wilches, W. (2019). Manejo integrado de plagas y enfermedades en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) para una mayor seguridad alimentaria de pequeños productores en el Altiplano. *Universidad abierta ya distancia de mexico*. Obtenido de [https://scholar.google.com/citations?view\\_op=view\\_citation&hl=es&user=FivCJQgAAAAAJ&citation\\_for\\_view=FivCJQgAAAAAJ:LkGwnXOMwfcC](https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=es&user=FivCJQgAAAAAJ&citation_for_view=FivCJQgAAAAAJ:LkGwnXOMwfcC)

Zeballos , S. (2024). Biofortificación agronómica mediante aplicación foliar de Zn en clones selectos de papa biofortificados con Zn en condiciones de invernadero. *Universidad Nacional Agraria la Molina*. Obtenido de <http://45.231.83.156/handle/20.500.12996/6332>

Zuñiga , S., Morales , C., & Estrada , M. (2017). Cultivo de la papa y sus condiciones climáticas. *Gestión, Ingenio y Sociedad (GIS)*, 2(2), 140 - 152. Obtenido de <http://gis.unicafam.edu.co/index.php/gis/article/view/60/95>

Zurita, S. (Julio de 2018). El Valle de Machachi se caracteriza por una variedad de suelos influenciados por la actividad volcánica del Cotopaxi. *Universidad de Barcelona*.

Obtenido de <https://www.tesisenred.net/handle/10803/664345>