



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**  
**CARRERA DE AGRONOMÍA**

Trabajo de Integración  
Curricular previa la obtención  
del Grado Académico de  
Ingeniero Agrónomo.

**Proyecto de Investigación:**

“EFECTO DE NANOPARTÍCULAS DE SELENIO EN EL CRECIMIENTO,  
PRODUCTIVIDAD Y CALIDAD DEL FRUTO EN PLANTAS DE TOMATE (*Solanum  
lycopersicum* L.)”

**Autor:**

Daniel Alexander Martinez Diaz

**Director del Proyecto de Investigación:**

Ing. Luis Tarquino Llerena Ramos, MSc.

**Quevedo – Los Ríos – Ecuador**

**2023**



## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y SESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Daniel Alexander Martínez Díaz**, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Universidad Técnica Estatal de Quevedo, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este documento, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

f. \_\_\_\_\_

**Daniel Alexander Martínez Díaz**

**C.I: 1250090006**



## **CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

El suscrito, **Luis Tarquino Llerena Ramos, MSc.** Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante **Daniel Alexander Martinez Diaz**, realizó el Proyecto de Investigación de grado titulado “**Efecto de nanopartículas de selenio en el crecimiento, productividad y calidad del fruto en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)**”, previo a la obtención del Grado Académico de Ingeniero Agrónomo, bajo mi dirección, habiendo cumplido con las disposiciones reglamentarias establecidas para el efecto.

.....

**Ing. Luis Tarquino Llerena Ramos, MSc.**  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

## CERTIFICADO DEL REPORTE DE LA HERRAMIENTA DE PREVENCIÓN DE COINCIDENCIA Y/O PLAGIO ACADÉMICO

El suscrito **Ing. Luis Llerena Ramos MSc.**, mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe del Proyecto de Investigación titulado **“Efecto de nanopartículas de selenio en el crecimiento, productividad y calidad del fruto en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)”**, presentado por el estudiante **Daniel Alexander Martínez Díaz** de la carrera de Agronomía, que fue revisado bajo mi dirección según resolución del Consejo Directivo de la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, que se ha desarrollado de acuerdo al Reglamento de la Unidad de Integración Curricular de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo y cumple con el requerimiento de análisis de URKUND el cual avala los niveles de originalidad en un 95% y similitud 5%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.



### Document Information

---

Analyzed document	Tesis Martinez Diaz Daniel.pdf (D179873790)
Submitted	11/26/2023 3:13:00 AM
Submitted by	
Submitter email	llerenaramos@uteq.edu.ec
Similarity	5%
Analysis address	llerenaramos.uteq@analysis.arkund.com

.....

**Ing. Luis Tarquino Llerena Ramos, MSc.**  
**DIRECTOR DE PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**



**UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS Y FORESTALES**  
**CARRERA DE AGRONOMÍA**

**PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

**Título:**

“Efecto de nanopartículas de selenio en el crecimiento, productividad y calidad del fruto en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)”

Presentado al Consejo Directivo de Facultad como requisito previo a la obtención del título de Ingeniero Agrónomo.

Aprobado por:

---

**PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**

Ing. Pablo César Ramos Corrales. PhD.

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. Carlos Luis Sánchez Fonseca, PhD.

---

**MIEMBRO DEL TRIBUNAL**

Ing. César Ramiro Bermeo Toledo, MSc.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2023

## **AGRADECIMIENTO**

El presente trabajo de investigación previo a obtener el título de ingeniero agrónomo, quiero expresar mi agradecimiento principalmente a Dios por permitirme llegar hasta esta etapa de estudios académicos, por brindarme siempre salud, vida, perseverancia y guiar mis pasos durante todo este trayecto que, sin duda alguna, ha sido uno de los mejores en mi vida.

Agradezco a la UNIVERSIDAD TÉCNICA ESTATAL DE QUEVEDO, a la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, por darme la oportunidad de cursar la carrera de agronomía y obtener este grado académico.

A mi director del proyecto de investigación, Ing. Luis Llerena, por aportar con sus conocimientos académicos, brindarme su confianza y guiarme durante este trabajo de investigación. A mis docentes por brindarme sus conocimientos y experiencias en cada clase impartida durante todo este proceso académico.

Agradezco a mis docentes miembros del tribunal Ing. Pablo Ramos, PhD, Ing. Carlos Sánchez, PhD, Ing. César Bermeo, MSc, por aportar con sus conocimientos y recomendaciones al proyecto de investigación.

## **DEDICATORIA**

A Dios por brindarme siempre salud, perseverancia y guiar mis pasos en todos los proyectos que me proponga.

A mis padres, especialmente a mi madre Lina Diaz Granja por ser incondicional en todo momento, por ser buena madre, por su paciencia, por su amor, por sus consejos, por inculcarme valores que hoy en día hacen que me siga superando día tras día, sin el apoyo de ella, esto no hubiera sido posible.

A mis hermanos Milton, Evelin y Ana, por brindarme su apoyo y siempre ayudarme en lo que necesito, a mis sobrinos Denisse, Samuel, Josías y Valentina, por brindarme su amor, alegría y ser una motivación para salir adelante en todo lo que me proponga.

A mi grupo de amigos y futuros colegas, que siempre han estado dispuestos a ayudarme, aconsejarme y escucharme en todo momento.

**Daniel Alexander Martinez Diaz**

## RESUMEN

El tomate es un importante cultivo hortícola ampliamente distribuido a nivel mundial. Actualmente, tenemos producción no uniforme de frutos resultando de diferentes calibre y diferente maduración, lo cual, se ha convertido en un problema que perjudica al productor. Se ha demostrado que las nanopartículas de selenio (NPs Se) pueden funcionar de forma benéfica mejorando la calidad de los frutos en especies vegetales. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de las nanopartículas de selenio en el crecimiento, productividad y calidad del fruto en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). La investigación en campo se llevó a cabo en el invernadero del Campus Experimental “La María” de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo. Se empleó un diseño completamente al azar (DCA) con cinco tratamientos: T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Los resultados obtenidos indican que el T2 con la dosis baja a 5ppm de nanopartículas de selenio produjo el mayor crecimiento en la longitud del tallo, diámetro del tallo, mayor crecimiento. En las variables productivas el T2 mostró el mayor diámetro polar, ecuatorial, mayor cantidad de flores y frutos. El contenido de acidez varió entre tratamientos, demostrando que el T4 a razón de 30ppm presentó el mayor contenido de acidez en los frutos, mientras que el T2 presentó mayor contenido de grados brix y vitamina C. Estos hallazgos son fundamentales, al proporcionan una visión más clara sobre el potencial de las nanopartículas de selenio en la agricultura y el efecto benéfico que estas producen en los cultivos como el tomate.

**Palabras clave:** *Solanum lycopersicum*, Nanopartículas, Selenio, Calidad del fruto.

## ABSTRACT

Tomato is an important horticultural crop widely distributed worldwide. Currently, we have non-uniform production of fruits resulting in different sizes and different ripening, which has become a problem that harms the producer. It has been shown that selenium nanoparticles (Se NPs) can work beneficially by improving fruit quality in plant species. This research aimed to evaluate the effect of selenium nanoparticles on the growth, productivity and fruit quality of tomato plants (*Solanum lycopersicum* L.). The field research was carried out in the greenhouse of the “La María” Experimental Campus of the State Technical University of Quevedo. A completely randomized design (DCA) was used with five treatments: T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) and T5 (NPK 0.8g). The results obtained indicate that T2 with the low dose of 5ppm of selenium nanoparticles produced the greatest growth in stem length, stem diameter, and greatest growth. In the productive variables, T2 showed the largest polar and equatorial diameter, and the greatest number of flowers and fruits. The acidity content varied between treatments, demonstrating that T4 at a rate of 30ppm presented the highest acidity content in the fruits, while T2 presented the highest content of degrees brix and vitamin C. These findings are fundamental, as they provide a more insight clear about the potential of selenium nanoparticles in agriculture and the beneficial effect that they produce on crops such as tomatoes.

**Keywords:** *Solanum lycopersicum*, Nanoparticles, Selenium, Fruit quality

## TABLA DE CONTENIDO

Portada.....	i
Declaración de autoría y sesión de derechos .....	ii
Certificación de culminación del proyecto de investigación.....	iii
Certificado del reporte de la herramienta de prevención de coincidencia y/o plagio académico .....	iv
Certificado de aprobación del tribunal .....	v
Agradecimiento .....	vi
Dedicatoria.....	vii
Resumen .....	viii
Abstract.....	ix
Tabla de contenido.....	x
Código dublín .....	xvi
Introducción.....	1
CAPÍTULO I. CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1.Problema de investigación.....	4
1.1.1. Planteamiento del problema .....	4
1.1.2. Formulación del problema.....	5
1.1.3. Sistematización del problema.....	5
1.2. Objetivos.....	6
1.2.1. Objetivo General.....	6
1.2.2. Objetivos Específicos .....	6
1.3. Justificación.....	7
CAPÍTULO II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN.....	8
2.1. Marco conceptual .....	9
2.1.1. Solanum lycopersicum L.....	9
2.1.2. Calidad del fruto .....	9
2.1.3. Selenio .....	9
2.2. Marco referencial.....	10
2.2.1. Origen del tomate .....	10
2.2.2. Clasificación taxonómica de Solanum lycopersicum L. ....	10
2.2.3. El cultivo de tomate en el Ecuador.....	11
2.2.4. Características morfológicas.....	12

2.2.5. Características del tomate variedad pomodoro.....	13
2.2.6. Nanopartículas de selenio. Generalidades. ....	13
2.2.7. Mecanismo de acción del selenio en la planta.....	14
2.2.8. Antecedentes de aplicación de nanopartículas de selenio .....	15
<b>CAPÍTULO III. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>26</b>
3.1. Localización.....	27
3.2. Tipo de investigación.....	27
3.3. Método de investigación.....	28
3.3.1. Método deductivo .....	28
3.3.2. Método de observación.....	28
3.3.3. Método analítico .....	28
3.4. Fuentes de recopilación de información.....	28
3.5. Diseño de la investigación.....	29
3.5.1. Factor en estudio.....	29
3.5.2. Tratamientos .....	29
3.5.3. Diseño experimental .....	29
3.6. Instrumentos de investigación .....	30
3.6.1. Manejo del experimento .....	30
3.6.2. Variables evaluadas .....	31
3.7. Tratamiento de datos .....	34
3.8. Recursos humanos y materiales.....	34
3.8.1. Recursos humanos .....	34
3.8.2. Material vegetal .....	35
3.8.3. Materiales de oficina .....	35
3.8.4. Materiales de campo.....	35
3.8.5. Materiales del experimento .....	35
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>34</b>
4.1. Resultados.....	35
4.1.1. Longitud del tallo (LT) .....	35
4.1.2. Diámetro del tallo (DT) .....	36
4.1.3. Longitud de la raíz (LR) .....	37
4.1.4. Diámetro polar del fruto (DPF) .....	37
4.1.5. Diámetro ecuatorial del fruto (DEF) .....	38
4.1.6. Número de flores .....	39

4.1.8. Número de frutos .....	40
4.1.9. Rendimiento.....	41
4.1.10. Acidez del fruto .....	42
4.1.11. Sólidos solubles totales.....	43
4.1.12. Contenido de vitamina c. ....	44
4.2. Discusión .....	45
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	52
5.1. Conclusiones.....	53
5.2. Recomendaciones .....	54
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA .....	55
6.1. Bibliografía.....	56
CAPÍTULO VII. ANEXOS.....	65
7.1. Anexos .....	66

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Taxonomía del tomate .....	11
<b>Tabla 2.</b> Características agrometeorológicas de la Finca Experimental “La María” UTEQ - Mocache.....	27
<b>Tabla 3.</b> Tratamientos en estudio.....	29
<b>Tabla 4.</b> Esquema del análisis de varianza (ADEVA) para Diseño Completamente al Azar DCA. ....	30

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Efecto de NPs de selenio sobre la longitud del tallo (cm) en plantas de tomate para los distintos tratamientos a los 60 DDT. ....	35
<b>Figura 2.</b> Efecto de NPs de selenio sobre el diámetro del tallo (cm) en plantas de tomate para los distintos tratamientos a los 60 DDT. ....	36
<b>Figura 3.</b> Efecto de NPs de selenio sobre la longitud de la raíz (cm) en plantas de tomate para los distintos tratamientos. ....	37
<b>Figura 4.</b> Efecto de NPs de selenio sobre el diámetro polar del fruto (cm) en plantas de tomate para los distintos tratamientos. ....	38
<b>Figura 5.</b> Efecto de NPs de selenio sobre el diámetro ecuatorial del fruto (cm) en plantas de tomate para los distintos tratamientos. ....	39
<b>Figura 6.</b> Efecto de NPs de selenio sobre el número de flores en plantas de tomate para los distintos tratamientos. ....	40
<b>Figura 7.</b> Efecto de NPs de selenio sobre el número de frutos en plantas de tomate para los distintos tratamientos. ....	41
<b>Figura 8.</b> Efecto de NPs de selenio sobre el rendimiento en plantas de tomate para los distintos tratamientos. ....	42
<b>Figura 9.</b> Efecto de NPs de selenio sobre la acidez del fruto de tomate para los distintos tratamientos. ....	43
<b>Figura 10.</b> Efecto de NPs de selenio sobre solidos solubles totales en frutos de tomate para los distintos tratamientos. ....	44
<b>Figura 11.</b> Efecto de NPs de selenio sobre contenido de vitamina c en frutos de tomate para los distintos tratamientos. ....	45

## ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo A.</b> Elaboración de sustrato y semilleros .....	66
<b>Anexo B.</b> Llenado de fundas y trasplante.....	66
<b>Anexo C.</b> Preparación de dosis de nanopartículas .....	67
<b>Anexo D.</b> Aplicación de nanopartículas.....	67
<b>Anexo E.</b> Toma de datos longitud y diámetro del tallo.....	68
<b>Anexo F.</b> Toma de datos flores y frutos .....	68
<b>Anexo G.</b> Grados de madurez fisiológica .....	69
<b>Anexo H.</b> Cosecha.....	69
<b>Anexo I.</b> Toma de datos productividad .....	70
<b>Anexo J.</b> Toma de datos longitud de la raíz.....	70
<b>Anexo K.</b> Análisis de varianza de la variable longitud del tallo a los 30, 45 y 60 días.....	71
<b>Anexo L.</b> Análisis de la varianza de la variable diámetro del tallo a los 30, 45 y 60 días..	72
<b>Anexo M.</b> Análisis de la varianza de la variable longitud de la raíz.....	73
<b>Anexo N.</b> Análisis de la varianza de la variable diámetro polar del fruto .....	73
<b>Anexo O.</b> Análisis de la varianza de la variable diámetro ecuatorial del fruto.....	74
<b>Anexo P.</b> Análisis de la varianza de la variable numero de flores .....	74
<b>Anexo Q.</b> Análisis de la varianza de la variable número de frutos .....	75
<b>Anexo R.</b> Análisis de la varianza de la variable rendimiento Kg/parcela.....	75
<b>Anexo S.</b> Análisis de la varianza de la variable acidez del fruto .....	75
<b>Anexo T.</b> Análisis de la varianza de la variable solidos solubles totales .....	76
<b>Anexo U.</b> Análisis de la varianza de la variable Vitamina C .....	76

## CÓDIGO DUBLÍN

<b>Título:</b>	Efecto de nanopartículas de selenio en el crecimiento, productividad y calidad del fruto en plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.)
<b>Autor:</b>	Daniel Alexander Martinez Diaz
<b>Palabras Claves:</b>	<i>Solanum lycopersicum</i> , Nanopartículas, Selenio, Calidad del fruto.
<b>Fecha de publicación:</b>	
<b>Editorial:</b>	Quevedo: UTEQ, 2023
<b>Resumen:</b>	El tomate es un importante cultivo hortícola ampliamente distribuido a nivel mundial. Actualmente, tenemos producción no uniforme de frutos resultando de diferentes calibre y diferente maduración, lo cual, se ha convertido en un problema que perjudica al productor. Se ha demostrado que las nanopartículas de selenio (NPs Se) pueden funcionar de forma benéfica mejorando la calidad de los frutos en especies vegetales. Esta investigación tuvo como objetivo evaluar el efecto de las nanopartículas de selenio en el crecimiento, productividad y calidad del fruto en plantas de tomate ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.). [.....]
<b>Abstract:</b>	Tomato is an important horticultural crop widely distributed worldwide. Currently, we have non-uniform production of fruits resulting in different sizes and different ripening, which has become a problem that harms the producer. It has been shown that selenium nanoparticles (Se NPs) can work beneficially by improving fruit quality in plant species. This research aimed to evaluate the effect of selenium nanoparticles on the growth, productivity and fruit quality of tomato plants ( <i>Solanum lycopersicum</i> L.). [.....]
<b>Descripción:</b>	92 hojas: dimensiones, 29 x 21 cm + CD-ROM 6162
<b>URL:</b>	

## Introducción

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es un importante cultivo hortícola ampliamente distribuido a nivel mundial (Nangare *et al.*, 2016). Su producción es de aproximadamente 170.8 millones de toneladas. El líder en producción es China, con una producción anual de 62.8 millones de toneladas, le siguen muy de cerca, con el segundo y tercer lugar, India y Estados Unidos (Bruinsma, 2017).

En Ecuador, en el año 2020 se obtuvo una producción total de 38,438 toneladas y el área cosechada de tomate fue de 2,579 ha con un rendimiento promedio de 14.9 ha<sup>-1</sup> (FAOSTAT, 2022). Según Velásquez *et al.*, (2000), indica que la cosecha se da en la Costa como en la Sierra, especialmente en la Sierra central, en la provincia de Tungurahua donde se encuentra el 60% de la producción (CNA, 2023). Cada ecuatoriano consume en promedio cuatro kilos de tomate al año (Velásquez *et al.*, 2000).

El cultivo necesita una temperatura mínima de 18°C para tener una producción y desarrollo adecuado, por esto, en la sierra ecuatoriana se lo realiza bajo invernadero (INIAP, 2008). Su fruto se caracteriza por su forma redonda con diámetros que varían entre 1 y 2.5cm (Villa-Martínez *et al.*, 2015). El consumo de su fruto ayuda a prevenir varios tipos de cáncer e inflamación (Visioli *et al.*, 2003).

El fruto contiene una variada fuente de nutrientes como potasio, fosforo, calcio y vitaminas de los grupos B, E y C (Navarro y Periago, 2016). Es una fuente importante de licopeno y carotenoides como el  $\beta$  caroteno (Madhavi y Salunkhe, 1998). El crecimiento, el rendimiento y la calidad del fruto dependen en gran medida de varios factores genéticos, ambientales y prácticas culturales (Parmar *et al.*, 2019).

Como resultado, tenemos producción no uniforme, resultando de diferentes calibre y diferente maduración, lo cual, se ha convertido en un problema que perjudica al productor (Ortega *et al.*, 2012). Se ha demostrado que las nanopartículas de selenio (Se NPs) pueden funcionar de forma benéfica mejorando la calidad de los frutos en especies vegetales (Hussein *et al.*, 2019).

El Selenio (Se) es un elemento omnipresente en el medio ambiente; su concentración en los suelos es generalmente baja (<2ppm) (Kabata y Mukherjee, 2007), aunque concentraciones muy altas (>10 ppm) pueden ocurrir en áreas seleníferas (Schiavon *et al.*, 2013). Su efecto benéfico para las plantas ocurre en concentraciones bajas (Galić *et al.*, 2021). La aplicación foliar suele ser mayor, respecto a la vía radical, debido a menos tiempo de contacto y absorción de las soluciones a través de las hojas (Nawaz *et al.*, 2014).

Los beneficios que brinda son mayor resistencia contra el estrés oxidativo (Galić *et al.*, 2021); tolerancia contra estrés biótico y abiótico (Hasanuzzaman *et al.*, 2020); incremento en la síntesis de pigmentos y actividad fotosintéticos (Lanza y Reis, 2021); mayor crecimiento en plantas y rendimiento de los cultivos (Luo *et al.*, 2020). El Se disminuye la tasa de biosíntesis de etileno, lo que retrasa la maduración del fruto en tomate (Pezzarossa *et al.*, 2014).

El Selenio ha sido evaluado en diversos cultivos hortícolas, sin embargo, se registra poca información de su aplicación en el tomate. El presente trabajo de investigación tiene como objetivo determinar el efecto que el selenio puede causar en diferentes dosis sobre variables de crecimiento, productividad y calidad del fruto en el cultivo de tomate.

**CAPÍTULO I**  
**CONCEPTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA**

## **1.1. Problema de investigación**

### ***1.1.1. Planteamiento del problema***

En el Ecuador de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos se siembran aproximadamente 3,000 has de tomate, las cuales, en su mayoría implementan prácticas agrícolas basándose en la agricultura convencional y su uso de fertilizantes químicos, los cuales, aportan macronutrientes para el desarrollo de las plantas, sin tomar en cuenta la importancia de varios micronutrientes que son esenciales para la nutrición y calidad de los frutos.

La deficiencia de selenio (Se) afecta a un 15% de la población mundial, la mayoría de los productores carecen de información acerca de la importancia de fertilizar con Se y el efecto benéfico que este provoca en las plantas. Las bajas concentraciones de selenio pueden mejorar el crecimiento, mejora el rendimiento, y contrarresta el estrés oxidativo inducido por diversos factores bióticos y abióticos, a su vez, alarga la vida útil del fruto. La deficiencia de Se, se ve asociada a la aparición de enfermedades cardíacas y tipos de cáncer.

### **Diagnóstico**

La producción hortícola demanda del uso de agroquímicos, los cuales proporcionan nutrientes esenciales para el desarrollo de los cultivos. En el tomate el factor determinante del cultivo es la calidad del fruto, existiendo deficiencias minerales como el selenio, el cual, es un micronutriente importante en la síntesis de proteínas y enzimas, así como en la protección contra el estrés oxidativo.

En el Ecuador es escasa la información acerca de la fertilización con selenio en cultivos hortícolas, especialmente en tomate. Por ello, los resultados de esta investigación pueden favorecer la aplicación de este micronutriente en mayor extensión.

## **Pronóstico**

El estudio de las nanopartículas de selenio se espera estimule las variables relacionadas al crecimiento y productividad de las plantas. A su vez, se espera aumente la calidad y aprovechamiento de macro y micronutrientes mediante las variables bromatológicas en el fruto.

### ***1.1.2. Formulación del problema***

¿Mediante la aplicación de nanopartículas de selenio se influiría en el crecimiento y productividad en plantas de tomate, así como en la calidad bromatológica de sus frutos?

### ***1.1.3. Sistematización del problema***

¿Cuál será el efecto de las nanopartículas de selenio en las variables de crecimiento vegetal en plantas de tomate?

¿Cuál será el efecto de las nanopartículas de selenio en la productividad de las plantas de tomate y sus componentes?

¿Qué respuestas tendrán los indicadores de calidad bromatológica del fruto en tomates provenientes de plantas fertilizadas con nanopartículas de selenio?

## **1.2. Objetivos**

### ***1.2.1. Objetivo General***

Evaluar el efecto de las nanopartículas de selenio en el crecimiento, productividad y calidad del fruto en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)

### ***1.2.2. Objetivos Específicos***

- Analizar el efecto de las diferentes dosis de nanopartículas de selenio en el crecimiento de plantas de tomate.
- Determinar el efecto de las nanopartículas de selenio sobre indicadores de productividad en plantas de tomate.
- Determinar el efecto de las nanopartículas de selenio sobre indicadores de calidad bromatológica en frutos de tomate.

### **1.3. Justificación**

En la actualidad la producción de tomate decrece debido a la degradación de los suelos con niveles bajos de fertilidad, debido al uso excesivo de fertilizantes químicos, esto conlleva a que se incrementen los costos de producción y que además la calidad del fruto se vea afectada por el uso indiscriminado de estos agroquímicos.

Los frutos de tomate son una fuente importante de sustancias con efectos beneficiosos conocidos para la salud, incluidas vitaminas, minerales y antioxidantes. Sin embargo, estas propiedades se ven afectadas por algunos factores bióticos y abióticos que hacen que la vida útil del fruto sea corta y este es uno de los principales problemas relacionados a la calidad postcosecha.

El selenio (Se) es un microelemento esencial para la nutrición de plantas, animales y seres humanos. La fertilización con selenio es una de las alternativas para mitigar los problemas relacionados al crecimiento y calidad del fruto en hortalizas. El efecto benéfico de Se en plantas se da en bajas concentraciones, en altas concentraciones su efecto puede ser tóxico. Lo que nos motiva a realizar la investigación y corroborar los efectos que puede causar el selenio en los indicadores de crecimiento, productividad y su función para mejorar la calidad de los frutos.

La fertilización con Se, actuará promoviendo el crecimiento y desarrollo de las plantas aumentando la resistencia de las plantas a todo tipo de estrés bióticos o abióticos y la capacidad antioxidante de las plantas. En los frutos retrasa la biosíntesis de etileno, lo que retrasa la maduración del fruto, reduce el deterioro postcosecha y mejora la calidad de la fruta.

La presente investigación contribuirá con información esencial para el sector agrícola, especialmente los productores hortícolas, promoverá a los agricultores darle ese valor agregado que deben poseer sus productos, especialmente en el tema de calidad de sus frutos, teniendo en cuenta la relación de costos y beneficios.

## **CAPÍTULO II**

### **FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN**

## **2.1. Marco conceptual**

### **2.1.1. *Solanum lycopersicum L.***

El tomate, cuyo nombre científico es *Solanum lycopersicum*, forma parte de la familia botánica *Solanaceae*. Es una planta herbácea originaria de las regiones de Centro y Sudamérica. En la actualidad, se cultiva en todo el mundo y se destina tanto al consumo fresco como a la industria de procesamiento. Se caracteriza por tener un crecimiento determinado o indeterminado, lo que permite su cultivo en diferentes formas (Allende, 2017).

Existen variedades de tomates más rústicas que se caracterizan por presentar frutos más pequeños de poco peso, mientras que las variedades de uso industrial pesan generalmente 50-120 gramos, los frutos destinados a ensaladas generalmente pesan más de 150 gramos (Gómez *et al.*, 2010).

### **2.1.2. *Calidad del fruto***

Las variedades de tomate deben cumplir con ciertas características de acuerdo con su destino, con fines industriales se refieren a la forma, el color y el tamaño, pero son más importantes los caracteres relativos a la calidad interna de los frutos como: acidez, contenido en azúcares, sólidos solubles totales (°Brix) y el porcentaje de materia seca (Hemaprabha y Balasaraswathi, 2008).

El sabor deseado se logra con un equilibrio adecuado entre altos niveles de azúcares y ácidos. Si hay un exceso de ácidos y bajos niveles de azúcares, se obtiene un sabor ácido. Por otro lado, un contenido elevado de azúcares y una escasez de ácidos resultan en un sabor suave, mientras que bajos niveles de ambos componentes producen un fruto sin sabor (Gierson y Kader, 1986).

### **2.1.3. *Selenio***

El selenio (Se) es un metaloide que tiene cualidades de metales y no metales. Sin embargo, en bajas concentraciones tiene una influencia beneficiosa sobre el desarrollo y el rendimiento

de las plantas. Se puede funcionar como un factor esencial al interferir con varios procesos fisiológicos (Bano *et al.*, 2021).

Este elemento también está asociado con el elemento azufre (S) debido a su radio iónico y propiedades fisicoquímicas similares. Por tanto, ambos son miembros del mismo grupo 16 de la tabla periódica. Fue descubierto en 1817 y al principio los investigadores y científicos lo consideraron una materia tóxica, pero más tarde, casi en la década de 1950, se descubrió que el Se es un suplemento dietético (Skalickova *et al.*, 2017).

## **2.2. Marco referencial**

### **2.2.1. Origen del tomate**

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una especie de hortaliza la cual tiene sus orígenes en países del Sur de América en las zonas Andinas de Perú, Chile y Ecuador es de clase herbácea, presenta un tallo semileñoso en el que su sistema radicular se compone por una raíz principal corta en su extensión con ramificaciones numerosas (Lopez y Parrado, 2004).

Se introdujo a Europa en el siglo XVI, cultivada como planta ornamental, y se ha extendido a todas partes del mundo como alimento humano, es el vegetal económicamente más valioso, su demanda sigue aumentando al igual que el cultivo, la producción y el comercio (Haeff, 2008).

### **2.2.2. Clasificación taxonómica de *Solanum lycopersicum* L.**

Las categorías taxonómicas aceptadas del tomate se describen a continuación;

**Tabla 1***Taxonomía del tomate*

<b>Reino</b>	Plantae
<b>Filo</b>	Magnoliophyta
<b>Clase</b>	Angiospermas
<b>Categoría</b>	Lamíidas
<b>Orden</b>	Solanales
<b>Familia</b>	Solanáceas
<b>Genero</b>	<i>Solanum</i>
<b>Especie</b>	<i>Lycopersicum</i>
<b>Nombre Científico</b>	<i>Solanum lycopersicum</i> L.

**Fuente:** (EPPO, 1996).

**Elaborado:** Autor

### 2.2.3. *El cultivo de tomate en el Ecuador*

En el Ecuador el cultivo de tomate se encuentra en el cuarto lugar de cultivos de importancia por área sembrada dentro de las hortalizas mayormente consumidas con un total de 3,563 hectáreas y una producción de 64,426 toneladas métricas y un promedio de 21.4 t/ha<sup>-1</sup> según el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC, 2023). Sin embargo, la producción es baja. En la provincia de Manabí se siembra 956 ha en forma de monocultivo y 189 ha<sup>-1</sup> en cultivo asociado (Bravo-Zamora *et al.*, 2020).

Las zonas dedicadas a la producción de esta hortaliza son Guayas, Carchi y Loja con un promedio de 1,631 cajas bajo invernadero. Generalmente la producción bajo invernadero se lleva a cabo en regiones de la sierra y amazonia con un área de 1,250 ha cultivadas (Perez *et al.*, 2016).

## **2.2.4. Características morfológicas**

### **2.2.4.1. Sistema radicular.**

Sus raíces son del tipo pivotante, es decir, tienen una raíz principal que se extiende hacia abajo y varias raíces secundarias que se ramifican lateralmente. En la raíz se encuentra la epidermis, donde se ubican los pelos absorbentes especializados en tomar agua y nutrientes (Jaramillo *et al.*, 2007).

### **2.2.4.2. Tallo.**

El tallo del tomate es erguido, cilíndrico y de color verde. Sobre el tallo se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias. Tienen la propiedad de emitir raíces cuando se pone en contacto con el suelo (Jaramillo *et al.*, 2007).

### **2.2.4.3. Hoja.**

Son imparipinadas con siete a nueve folíolos, los cuales generalmente son peciolados. Cada folíolo es de forma ovalada y tiene bordes lisos o ligeramente dentados. Las hojas son de color verde intenso (Jaramillo *et al.*, 2007).

### **2.2.4.4. Flor.**

Son hermafroditas, tienen tanto órganos masculinos (estambres) como femeninos (pistilo). Las flores se agrupan en racimos simples ramificados que se desarrollan en el tallo, tienen una corola de color amarillo y son pequeñas de aproximadamente 1 a 2 cm de diámetro (Jaramillo *et al.*, 2007).

### **2.2.4.5. Fruto.**

Es una baya de forma redondeada u ovalada. Puede variar en tamaño, desde pequeños tomates cherry hasta tomates grandes. La piel del fruto es lisa y brillante, y puede ser de diferentes colores, como rojo, naranja, amarillo o verde, dependiendo de la variedad y del

grado de madurez. Está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Jaramillo *et al.*, 2007).

### **2.2.5. Características del tomate variedad pomodoro**

Se destaca entre sus principales características tiene un crecimiento indefinido, significa que nunca deja de crecer, por ellos, se requiere replanteo. Sus frutos son grandes, redondos, carnosos y de piel lisa. Se forman en racimos de 4 a 5 tomates. La colorimetría de su piel es rojo intenso cuando este maduro. Se caracteriza por tener un sabor dulce y jugoso, con un equilibrio entre acidez y dulzura. Su tiempo de maduración puede variar, pero generalmente oscila entre 70 y 80 días desde la siembra (Fernandez, 2012).

#### **2.2.5.1. Requerimientos edafoclimáticos y nutricionales del cultivo.**

El tomate es un cultivo de climas templados y tropicales, se adapta muy bien a temperaturas que oscilan entre 20 y 30°C durante el día y entre 14 y 17°C durante la noche, temperaturas superiores a 30 y 35°C no permiten la fructificación y el desarrollo de la planta. La humedad óptima para el desarrollo del cultivo y fertilidad oscila de entre 65% y un 75%. El pH del suelo es un factor influyente en el desarrollo y producción del cultivo, es por esto, que el pH óptimos oscila entre 5,5 y 6,8 es tolerante a la acidez y decrece la producción con salinidad y alcalinidad elevadas (Infoagro Systems, 2015).

Los principales nutrientes que requiere el cultivo para su funcionamiento fisiológico y el desarrollo del completo del ciclo vegetativo se pueden dividir en macro y micronutrientes. Entre los macronutrientes esenciales se consideran nitrógeno (N), potasio (K), Calcio (Ca), fósforo (P), magnesio (Mg) y azufre (S). Entre los micronutrientes esenciales para el cultivo se consideran los siguientes: zinc (Zn), manganeso (Mn), cobre (Cu), hierro (Fe), boro (B), molibdeno (Mo), cloro (Cl), selenio (Se) y, últimamente, pero sin importancia práctica, el níquel (Ni) (Martínez *et al.*, 2019).

#### **2.2.6. Nanopartículas de selenio. Generalidades.**

La aplicación de nanopartículas en la agricultura puede ser una opción viable, especialmente el uso de nanopartículas (partículas de 1-100 nm), ya que son similares a moléculas

biológicas como las proteínas y son capaces de atravesar las membranas celulares (Aslani *et al.*, 2014). Debido a su pequeño tamaño, tienen propiedades físicas y químicas que difieren significativamente de las habituales que tienen las partículas a mayor escala (Hochella *et al.*, 2008).

Se ha demostrado que bajas concentraciones de NP (menos de 100 ppm aplicadas al suelo, follaje o semillas) han generado respuestas efectivas de inducción y acumulación de ciertos metabolitos o fitoquímicos que pueden ser antioxidantes o compuestos de defensa (Reddy *et al.*, 2016).

Las nanopartículas de selenio (NPs de Se) pueden funcionar como estimulantes en las plantas, mejorando su sistema de defensa antioxidante y, por lo tanto, su capacidad para tolerar el estrés (Hussein *et al.*, 2019). Las (NPs de Se) también tienen excelentes propiedades biológicas y baja toxicidad según (Li *et al.*, 2011), a diferencia de la forma a granel que tiene un efecto tóxico bien documentado (debido al estrés oxidativo) en plantas en altas concentraciones (Gupta y Gupta, 2017).

A su vez, tienen la capacidad de inhibir el crecimiento de bacterias y hongos patógenos. Debido al tamaño de las nanopartículas (NPs) y su área de superficie, las (NPs de Se) pueden unirse a la membrana bacteriana y matarlas. Debido a su función antimicrobiana, las nanopartículas de selenio pueden utilizarse para la esterilización (Kong *et al.*, 2014).

#### **2.2.7. Mecanismo de acción del selenio en la planta**

El selenio es un oligoelemento esencial que está presente en varios reinos naturales, como los humanos, los animales, las cianobacterias y algunas plantas (Germ y Stibilj, 2007). Este micronutriente esencial contribuye al control del estado hídrico de las plantas (Kuznetsov *et al.*, 2003), previene el estrés oxidativo, retrasa la senescencia y promueve el crecimiento (Xue *et al.*, 2001), protege los cloroplastos y mejora el contenido de clorofila en condiciones de estrés por déficit de agua (Sattar *et al.*, 2019), por lo que su ingesta adecuada se considera beneficiosa para el mantenimiento de la salud humana (Schwarz y Foltz, 1957).

En algunas plantas, altos niveles de selenio (Se) inorgánico pueden metabolizar y acumular (Se) en forma de derivados orgánicos, lo cual es importante para la planta, porque reduce la

toxicidad del calcógeno, y al mismo tiempo, la bioacumulación en tejidos comestibles permite la producción de alimentos enriquecidos con (Se) que tienen uso como potencial nutracéutico para humanos y animales (Achibat *et al.*, 2015).

#### **2.2.8. Antecedentes de aplicación de nanopartículas de selenio**

En investigaciones realizadas por Germ *et al.*, se determinó la influencia de la radiación ultravioleta-B (UV)-B ambiental y solar filtrada y del tratamiento con selenio sobre la eficiencia fotoquímica, el potencial respiratorio medido por la actividad del sistema de transporte de electrones (ETS) y el rendimiento en calabazas, *Cucurbita pepo* L. Se descubrió que el selenio aumentó el rendimiento en condiciones de radiación ambiental. Sin embargo, no se observó ningún efecto significativo de la exclusión de la radiación UV-B o del tratamiento con selenio sobre la eficiencia fotoquímica del fotosistema II (PSII). Por lo tanto, se demuestra que el efecto específico del selenio en la producción de tomate parece depender de la forma química en la que se aplica el selenio (Germ *et al.*, 2005).

La absorción de selenio por parte de las plantas a través del suelo depende en gran medida de las propiedades del suelo y se ve influenciada por cómo el selenio se presenta y se comporta en dicho suelo. Tanto la adición de selenio en forma inorgánica como en forma orgánica tiene efectos variables en la cantidad de selenio que se retiene en el suelo de diferentes cultivos agrícolas. Lo que la convierte en la principal problemática de la investigación (Pezzarossa *et al.*, 2011).

Pezzarossa *et al.*, (2011) estudio los efectos de la aplicación foliar y frutal de selenato de sodio sobre la acumulación de selenio (Se), el crecimiento y la maduración del fruto en durazno y pera. Aplicó selenato a razón de 0,1 y 1,0 mg Se L<sup>-1</sup> a las hojas de durazno y una dosis de 1 mg Se L<sup>-1</sup> vía foliar (LT) o frutal (FT) a durazno y pera. Descubrió que el mayor contenido de Se en la fruta resultó en un aumento en la firmeza de la pulpa y una disminución en el contenido de sólidos solubles. La vía foliar (LT) aumentó significativamente el contenido de Se en las hojas y frutos de durazno y pera, y las hojas mostraron las concentraciones más altas de Se, mientras que la vía frutal (FT) aumentó la concentración de Se en el fruto en ambos cultivos y fue más efectivo que LT para aumentar el contenido de Se.

Concluyo que la acumulación de Se en la aplicación foliar en hojas y frutos de durazno y pera retrasa el ablandamiento de los frutos y aumenta su vida útil (Pezzarossa *et al.*, 2011).

El estudio realizado por Becvort-Azcurra *et al.*, tuvo como objetivo determinar la magnitud del enriquecimiento en el selenio del fruto de tomate con el aporte de selenito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) en la solución fertilizante y por aspersion foliar, así como el efecto de los mismos tratamientos en: la acumulación de selenio en raíces, hojas y tallos; la generación de biomasa; el crecimiento de la planta, la producción de frutos; y el estado antioxidante total (Becvort-Azcurra *et al.*, 2012).

En el mismo, se obtuvo como resultado que las aplicaciones de selenio a una concentración de  $5 \text{ mg L}^{-1}$  en la solución de fertilizante y de  $20 \text{ mg L}^{-1}$  mediante aspersion foliar demostraron ser las más eficaces para elevar la cantidad de selenio en los tomates. Esto se tradujo en un incremento de 3.48 veces en la concentración de selenio en los frutos en comparación con el grupo de control del tratamiento de  $5 \text{ mg L}^{-1}$  de selenio en la solución de fertilizante (Becvort-Azcurra *et al.*, 2012).

A su vez, Becvort-Azcurra *et al.*, (2012) descubrió en su investigación que la concentración de selenio en raíces, tallos y hojas fue siempre más alta que la encontrada en los frutos, sobre todo al utilizar el sustrato perlita en donde causó toxicidad con todos los tratamientos.

Mientras que la aplicación de  $10$  y  $20 \text{ mg L}^{-1}$  de selenio en la solución fertilizante resultó en una disminución del peso de las plantas cuando se utilizaron sustratos de suelo y peat moss. Así mismo, menciona que, en el caso del sustrato de suelo, la concentración de  $5 \text{ mg L}^{-1}$  también condujo a un menor peso de las plantas, pero este efecto negativo ya no se observó al aplicar  $2.5 \text{ mg L}^{-1}$ . Por otro lado, las aplicaciones foliares de selenio aumentaron el peso de las plantas (Becvort-Azcurra *et al.*, 2012).

Sin embargo, en su investigación la producción de frutos se redujo significativamente o fue prácticamente inexistente cuando se aplicaron  $5 \text{ mg L}^{-1}$  o más de selenio en perlita como sustrato. Por otro lado, muestra que en suelo y peat moss, se observó un impacto positivo al agregar  $10 \text{ mg L}^{-1}$  de selenio a la solución nutritiva. Sin embargo, en suelo, no hubo diferencias significativas entre las aplicaciones de  $2.5$  y  $5 \text{ mg L}^{-1}$  en comparación con el

grupo de control. Desde el punto de vista de la producción de frutos, la aplicación de selenio a través de la pulverización foliar generó mejores resultados (Becvort-Azcurra *et al.*, 2012).

Mientras tanto, el estado antioxidante de los frutos disminuyó al aplicar el selenio en concentración de 10 y 20 mg L<sup>-1</sup> en la solución fertilizante, pero aumentó al aplicarlo en concentración de 2.5 y 5 mg L<sup>-1</sup>. Las aspersiones foliares con 10 y 20 mg L<sup>-1</sup> de selenio incrementaron el estado antioxidante total del fruto (Becvort-Azcurra *et al.*, 2012).

Un estudio hecho por Kaur *et al.*, indica que se ha descubierto que niveles de Se inferiores a 1 mg kg<sup>-1</sup> son beneficiosos para las plantas, mientras que niveles más altos causan toxicidad en la mayoría de los cultivos agrícolas. En concentraciones bajas, el Se puede actuar como regulador del crecimiento de las plantas, antioxidante, anti senescente, modulador del estrés abiótico y molécula defensiva contra patógenos en las plantas. En concentraciones más altas, las plantas muestran diversos síntomas tóxicos, que incluyen retraso en el crecimiento, clorosis, marchitamiento y secado de las hojas, disminución prematura de la síntesis de proteínas e incluso muerte de la planta. Aquí se analizan las funciones del selenio como potenciador e inhibidor del crecimiento de las plantas en diversos cultivos agrícolas (Kaur *et al.*, 2014).

El pimiento exhibe una tolerancia moderada al cadmio (Cd) y tiende a acumular este metal con mayor facilidad en sus frutos en comparación con el tomate y la berenjena, los diferentes cultivares de pimiento varían en su sensibilidad a este metal, lo cual, se convierte en la problemática de la investigación realizada por Mozafariyan *et al.* Sin embargo, el área foliar, la fotosíntesis neta y la eficiencia en el uso del agua de los cultivares de pimiento individuales disminuyen bajo estrés por Cd. Lo que conlleva a que el objetivo principal sea determinar la posibilidad de reducir el daño por estrés por Cd en plantas de pimiento en la etapa reproductiva mediante la suplementación con Se y también verificar la capacidad del Se, como elemento antioxidante, para aumentar la actividad antioxidante y el contenido de compuestos fenólicos en la planta y frutos en pimiento (Mozafariyan *et al.*, 2014).

Mozafariyan *et al.*, (2014) indica que el Se en concentraciones bajas, puede estimular el crecimiento de las plantas. Se descubrió que 5 µg de Se impulsaron el crecimiento de las raíces y aumentaron el contenido relativo de agua en las plantas de pimiento picante en un 13% en comparación con las plantas de control. Además, las concentraciones de Se de 3 y 5

$\mu\text{M}$  provocaron un aumento del 25 % en el área foliar, lo que resultó en un aumento en el crecimiento general y la biomasa de la planta.

Las plantas de pimiento fueron suministradas con selenio (0, 3 o 7  $\mu\text{M}$ ). Los resultados obtenidos muestran que la suplementación con Se mejoró el número de flores, el número de frutos y el diámetro del fruto en plantas expuestas a 0,50 mM de Cd. El selenio también mejoró en general la actividad antioxidante total de los frutos de pimiento sometidos a Cd. A baja concentración (3  $\mu\text{M}$ ), el Se aumentó significativamente la productividad media geométrica (GMP). La aplicación de Se puede aliviar la toxicidad del Cd en plantas de pimiento en la etapa reproductiva al restringir la acumulación de Cd en los frutos, mejorando su actividad antioxidante y mejorando así los parámetros reproductivos y de tolerancia al estrés (Mozafariyan *et al.*, 2014).

Un estudio hecho por Pezzarossa *et al.*, en el 2014 investigó los efectos del selenio sobre la composición del fruto y la fisiología de maduración, se llevó a cabo un experimento en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivadas en hidroponía. Dada que la principal problemática se da en la calidad de las frutas y hortalizas en el momento de la cosecha y durante el almacenamiento se ve muy afectada por factores agronómicos como la fertilización, el manejo del agua y los tratamientos hormonales. Considerando la nutrición de las plantas, tanto los macro y microelementos esenciales como los no esenciales ejercen efectos marcados sobre el crecimiento, desarrollo, composición y rasgos de calidad del fruto, así como sobre la incidencia de enfermedades y trastornos fisiológicos tanto dentro como fuera de la planta (Pezzarossa *et al.*, 2014).

De acuerdo con los antecedentes Pezzarossa *et al.*, realizó tratamientos de Se añadiendo selenato de sodio a la solución nutritiva a razón de 0 (control) y 1 mg Se L<sup>-1</sup>. El selenio agregado a la solución nutritiva fue absorbido por las raíces y la concentración de Se fue mayor en las hojas que en los frutos. La adición de Se no influyó significativamente en el rendimiento acumulado de las plantas de tomate, pero se detectó un retraso en el inicio de la maduración del fruto y la cosecha de las plantas control comenzó antes que en las plantas tratadas con Se (Pezzarossa *et al.*, 2014).

En el estudio realizado por El-Ramady *et al.*, se centra en la importancia fisiológica de las formas de Se, así como de diferentes fertilizantes de Se para las plantas superiores,

especialmente el crecimiento, la absorción, el transporte y el metabolismo de las plantas (El-Ramady *et al.*, 2015)

El-Ramady *et al.*, demostró que en plantas de tabaco aumentaron las concentraciones de SeNP aumentó significativamente la tasa de regeneración de las raíces. Con el uso de 50–100 mg L<sup>-1</sup> SeNPs, las raíces eran mucho más extensas y densamente empaquetadas, y el peso fresco también aumentó significativamente. Por el contrario, el selenato inhibió completamente la formación de raíces en concentraciones que oscilaban entre 50 y 100 mg L<sup>-1</sup> (El-Ramady *et al.*, 2015).

De acuerdo con investigaciones realizadas por Lopez-Gutiérrez *et al.*, en 2015 cuyo objetivo del estudio fue realizar aplicaciones de selenio en plantas de lechuga (*Lactuca sativa*) para verificar el efecto sobre el crecimiento, composición y metabolismo antioxidante. El experimento consistió en la aplicación de selenio de sodio en forma foliar en concentraciones de 0, 5 y 10 mg L<sup>-1</sup> a los 15, 30 y 45 días después del trasplante. En las plantas se determinó el potencial de óxido-reducción, la biomasa, la concentración de minerales y la actividad catalasa foliar (López-Gutiérrez *et al.*, 2015).

La aplicación de selenio mediante pulverización foliar provocó un aumento en la capacidad antioxidante de las plantas de lechuga, incrementando los niveles de nitrógeno y fósforo en las hojas, sin embargo, no hubo cambios en la concentración de otros elementos ni en la cantidad total de biomasa. Este enfoque de aplicación de selenio en las hojas podría ser una estrategia valiosa para mejorar la calidad nutricional de la lechuga, especialmente en lo que respecta a su contenido de antioxidantes (López-Gutiérrez *et al.*, 2015).

Las NPs de Se, muestran una tendencia a disminuir la longitud de la raíz de la planta de pepino y el injerto a desarrollar masa radicular. Los resultados obtenidos demuestran que a mayor dosis de NPs de Se afecta el crecimiento de las raíces en las plantas de pepino, sin embargo, el injerto desarrollado por Nawaz *et al.*, promueve el desarrollo de pelos absorbentes que generan una mejora en la absorción de nutrientes y desarrollo de la planta injertada (Nawaz *et al.*, 2017).

Por otro lado, de acuerdo con investigaciones de Chauhan *et al.*, se analizó la respuesta del estrés oxidativo, los compuestos fenólicos y los elementos nutrientes para investigar la

tolerancia al As mediada por Se en plántulas de arroz durante la exposición a AsIII y SeIV en hidroponía. El selenita (25  $\mu\text{M}$ ) disminuyó significativamente la acumulación de As en la planta que las plantas tratadas con As (25  $\mu\text{M}$ ) solo (Chauhan *et al.*, 2017).

Chauhan *et al.*, (2017), descubrió que una dosis baja de Se mejoró la absorción de nutrientes como Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Mo, y puede estimular el crecimiento de las plantas, mejorar la fotosíntesis y ayudar en la homeostasis de los elementos nutrientes esenciales.

En 2018, Puccinelli *et al.*, realizó investigaciones relacionadas al efecto del enriquecimiento con selenio sobre el metabolismo del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum*) durante la maduración postcosecha, añadió Se, como selenato de sodio, a razón de 0  $\text{mg L}^{-1}$  (control), 1 y 1,5  $\text{mg L}^{-1}$  (Puccinelli *et al.*, 2018).

Puccinelli *et al.*, demostró que la fruta tratada con selenio mostró una menor tasa de respiración y una producción de etileno que ralentizó el proceso de maduración postcosecha. Esto se asoció con un retraso en la síntesis de licopeno y b-caroteno y la degradación de las clorofilas. El consumo de frutas enriquecidas con Se puede contribuir a la suplementación diaria de selenio, mejorando así la salud humana (Puccinelli *et al.*, 2018).

Por consiguiente, el selenio fue absorbido por las raíces y trasladado a hojas y frutos. El enriquecimiento con Se no afectó significativamente los parámetros cualitativos de la fruta en la cosecha comercial; en cambio, retrasó la maduración al afectar procesos específicos relacionados con la maduración (respiración, producción de etileno, evolución del color) durante la postcosecha. En el experimento actual 100 g de tomate cultivado hidropónicamente con 1,5  $\text{mg Se L}^{-1}$  solución enriquecida proporcionó un total de 23,7 g Se (Puccinelli *et al.*, 2018).

En 2019, Zsiros *et al.*, realizó la aplicación de selenato a 10  $\text{mg L}^{-1}$ . En donde encontró que tiene efectos negativos sobre la capacidad fotosintética y el crecimiento de *Nicotiana tabacum*, mientras que en forma de nanopartículas en concentraciones más altas (100  $\text{mg L}^{-1}$ ), no se observaron efectos negativos. Por tanto, su aplicación en cultivos puede ser una buena opción, y debido a sus propiedades como consecuencia de su tamaño, se pueden esperar mejores resultados que los observados a granel (Zsiros *et al.*, 2019).

A su vez, Morales-Espinoza *et al.*, (2019) menciona que el tamaño de las nanopartículas les confiere características que pueden potenciar los beneficios que aporta el selenio a las plantas. El objetivo de su estudio fue determinar los efectos de las nanopartículas de selenio sobre el crecimiento, las respuestas antioxidantes y la calidad del fruto de tomate desarrollado bajo estrés de NaCl. Evaluó cuatro dosis de nanopartículas de selenio (1, 5, 10 y 20 mg L<sup>-1</sup>) bajo estrés de NaCl, solo NaCl y un control. Los resultados mostraron que la aplicación de nanopartículas de selenio mejoró el rendimiento y la biomasa aérea de plantas de tomate que se desarrollaron en condiciones de estrés salino, en parte debido a la presencia de un aumento en la cantidad de pigmentos fotosintéticos en las hojas, que pueden mejorar la capacidad fotosintética de las plantas.

Así mismo, Morales-Espinoza *et al.*, descubrió que las nanopartículas de selenio aumentan la concentración de fenoles en las hojas. Sin embargo, también aumentaron la mayoría de los compuestos antioxidantes que estaban presentes en los frutos de tomate (licopeno,  $\beta$ -caroteno, flavonoides y fenoles). Este resultado representa una ventaja adicional para la producción de tomate bajo estrés salino, ya que las plantas producirán frutos de mejor calidad que pueden beneficiar la dieta humana (Morales-Espinoza *et al.*, 2019).

A su vez, se encontró que la aplicación de nanopartículas de selenio aumenta la actividad enzimática en hojas y frutos de las plantas de tomate; por lo tanto, las NP de Se pueden aumentar la capacidad de las plantas de tomate para tolerar el estrés por NaCl (Morales-Espinoza *et al.*, 2019).

Se demostró que la aplicación de nanopartículas de selenio disminuyó el efecto de la salinidad en las plantas de tomate debido a su efecto estimulador del crecimiento y del sistema de defensa antioxidante; sin embargo, es necesario realizar más estudios para identificar los niveles de salinidad en los que se puede observar un mejor efecto. Además, se recomienda que se realicen más estudios sobre estas nanopartículas con el objetivo de aumentar las características nutraceuticas y biofortificación de las frutas, ya que se podrían obtener mejores resultados con objetivos distintos a la inducción de tolerancia al estrés por salinidad (Morales-Espinoza *et al.*, 2019).

Antecedentes demuestran que la aplicación de Se también incrementó la acumulación de carbohidratos en la superficie de las hojas jóvenes de las papas. Se han realizado muchos experimentos para investigar el papel crucial del Se en la protección de las plantas contra el estrés inducido por la sal. Otro estudio investigó el papel de 1–25 mM de selenito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) en la regulación de la tolerancia a la salinidad en el maíz midiendo su concentración en la planta (Subramanyam *et al.*, 2019).

Józwiak y Politycka, en 2019 realizaron un estudio con Se en condiciones de salinidad, sus hallazgos revelaron que 1 mM Se aumentó el crecimiento y desarrollo de las plantas, la tasa fotosintética y el contenido de  $\text{K}^+$ , mientras que la proporción de  $\text{Na}^+$  disminuyó. Además, la suplementación con Se ( $20 \text{ mg L}^{-1}$ ) mejoraron el crecimiento y el contenido de clorofila del maíz al reducir el daño oxidativo debido a los altos niveles de malondialdehído (MDA) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) bajo estrés de alta salinidad (Józwiak y Politycka, 2019).

En 2020, Rahim *et al.*, analizó en su investigación la capacidad del selenito de sodio ( $\text{Na}_2\text{SeO}_3$ ) para incrementar la concentración de Selenio en plantas y frutos de tomate. Para esto se aplicaron tres tratamientos (0, 2 y  $5 \text{ mg L}^{-1}$  de selenito de sodio) utilizando agua de riego. El selenito de sodio adicionado a la solución nutritiva biofortificó el tomate mediante un aumento significativo del contenido de selenio para los diferentes componentes evaluados (frutos, hojas y tallos), llegando a duplicar su concentración en frutos para el tratamiento de  $5 \text{ mg L}^{-1}$ , en comparación con el control (Rahim *et al.*, 2020).

La aplicación de selenito de sodio no interfirió en la absorción de macronutrientes, sino que contribuyó a la mejora de la calidad nutricional del tomate. Se aplicado en baja concentración puede mejorar el rendimiento de los cultivos y la calidad de los alimentos (Rahim *et al.*, 2020).

En el mismo año, Rady *et al.*, (2020) realizó una investigación sobre la aplicación de selenio (Se) cuyo objetivo fue explorar los impactos potenciales del Se aplicado en tres niveles (0, 20 y 40 mM) en dos métodos (adición al suelo o aspersión foliar) sobre el crecimiento, el rendimiento y su calidad, los atributos físico-bioquímicos y los componentes del Sistema de defensa antioxidante en planta de tomate cultivada bajo déficit hídrico de riego (del 100 % al 60 % de la capacidad de campo del suelo; SFC) durante las temporadas 2017 y 2018. Los resultados obtenidos por Rady *et al.*, confirmaron que los tomates tratados con 40 M de

selenio establecieron una mayor tolerancia a la sequía, lo que fue acompañado por acciones de varias enzimas antioxidantes, incluyendo ascorbato peroxidasa (APX) en un 44 %, superóxido dismutasa (SOD) en un 56 % y catalasa (CAT) en un 57%, respectivamente.

A su vez, investigaciones realizadas por Gudkov *et al.*, en 2020 demostraron que las nanopartículas de Se no afectaron el crecimiento de la planta en cebada y col, sin embargo, el crecimiento y el hábitat de la planta fueron ligeramente mejores con una dosis de nanopartículas de Se de  $10 \mu\text{g kg}^{-1}$ . La concentración de nanopartículas de Se preparado de  $10 \mu\text{g kg}^{-1}$  en el suelo es el más efectivo para la manifestación del potencial antioxidante de las nanopartículas de Se y mejora del crecimiento de las plantas (Gudkov *et al.*, 2020).

Gudkov *et al.*, menciona que la mayor diferencia en los indicadores se registró en un experimento realizado el día 30 después del inicio del crecimiento de la planta. El área de la superficie de la placa de la hoja de la planta fue de  $30 \pm 2 \text{ cm}^2$  en la opción de control del experimento. El área de la superficie de la placa foliar de las plantas cultivadas con una concentración de nanopartículas de Se de  $1 \mu\text{g kg}^{-1}$  fue de aproximadamente  $32 \pm 3 \text{ cm}^2$  y, en consecuencia, el área de la placa foliar para  $5 \mu\text{g kg}^{-1}$  fue de  $37 \pm 2 \text{ cm}^2$ ,  $10 \mu\text{g kg}^{-1}$  fue de  $38 \pm 3 \text{ cm}^2$ , y  $25 \mu\text{g kg}^{-1}$  fue de  $28 \pm 4 \text{ cm}^2$  (Gudkov *et al.*, 2020).

Un estudio realizado por Popović *et al.*, (2023) cuyo objetivo fue dilucidar el impacto de cinco concentraciones diferentes (0.4, 4, 20, 40 y 400 mg/kg) de selenato y selenito sobre el estado oxidativo y la respuesta antioxidante de los brotes de trigo (*Triticum aestivum* L., cv. *Kraljica*) y raíces. Demostró que, en la mayoría de los tratamientos, el selenita provocó una reducción significativa en la germinación en comparación con los tratamientos de control y selenato. Por otro lado, el selenato en la mayoría de los tratamientos no afectó la germinación en comparación con el testigo. La excepción fue la concentración más alta de selenato (400 mg/kg), que redujo la germinación en un 12 %.

Así mismo Popović *et al.*, el selenito aplicado en tres concentraciones, 20, 40 y 400 mg/kg, también disminuyó la biomasa de los brotes en un 15 %, 20 % y 72 %, respectivamente. Las raíces respondieron de manera similar a la presencia de Se, donde 4, 40 y 400 mg/kg de selenato y 4, 20, 40 y 400 mg/kg de selenita también redujeron la biomasa (Popović *et al.*, 2023).

En los brotes, la actividad de CAT se mantuvo sin cambios en la mayoría de las concentraciones de selenato aplicadas, excepto en la más alta (400 mg/kg), que aumentó su actividad en un 18 %, en comparación con el control. Por otro lado, el selenito aplicado en las tres concentraciones más altas (20, 40 y 400 mg/kg) aumentó la actividad en comparación con el control en un 18 %, 10 % y 20 %, respectivamente (Popović *et al.*, 2023).

Las respuestas de trigo a diferentes formas químicas de Se fueron monitoreadas a niveles morfofisiológicos y bioquímicos. Los análisis morfofisiológicos, como la germinación de semillas, la biomasa de brotes y raíces, y las concentraciones de clorofila y carotenoides, revelaron que el selenito tiene un umbral de toxicidad más bajo que el selenato (Popović *et al.*, 2023).

**CAPÍTULO III**  
**METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 3.1. Localización

La investigación se llevó a cabo en el invernadero del Campus Experimental “La María” perteneciente a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo ubicado en el km 7.5 de la vía Quevedo – El Empalme del cantón Mocache, provincia de Los Ríos. La ubicación geográfica 79° 25’ 24” longitud Oeste y 01° 03’ 18” de latitud Sur, a una altitud de 67 m s.n.m.

**Tabla 2**

*Características agrometeorológicas del Campus Experimental “La María” UTEQ-Mocache*

<b>Parámetros</b>	<b>Promedio</b>
Temperatura °C	24.9
Humedad relativa %	87.71
Precipitación anual (mm)	2295.1
Heliofanía, horas sol año <sup>1</sup>	870.2
Zona ecológica	Bh-T
pH	5.7
Topografía	Plana

**Fuente:** Estación Meteorológica “Pichilingue” -INAMHI Serie Multianual 1990-2019

**Elaborado:** Autor

### 3.2. Tipo de investigación

El tipo de investigación se enfocó en el área agrícola experimental y consistió principalmente en evaluar la respuesta agronómica de las plantas de tomate a la aplicación de nanopartículas de selenio en diferentes dosis para determinar cuál de ellas, presenta mayor efecto en el crecimiento, rendimiento y calidad bromatológica en el tomate.

### **3.3. Método de investigación**

#### ***3.3.1. Método deductivo***

Se usó el método deductivo que permitió comparar la información generada en la investigación con la existentes en diferentes fuentes bibliográfica que demuestran el efecto de las distintas dosis de nanopartículas de selenio (Se) en plantas de tomate y el efecto que puede causar en las diferentes variables agronómicas

#### ***3.3.2. Método de observación***

Se usó el método de observación como una vía para recopilar datos directos y detallados sobre el fenómeno de estudio. La observación implica la atención sistemática a eventos, comportamientos o situaciones relevantes en la investigación, con el objetivo de obtener una comprensión más profunda y precisa de los elementos observados.

#### ***3.3.3. Método analítico***

Este método permitió realizar el análisis de las variables de crecimiento de las plantas, además, asociadas al rendimiento y sus componentes, así como análisis bromatológicos relacionadas con la calidad de los frutos.

### **3.4. Fuentes de recopilación de información**

Se usó como fuente primaria, la información adquirida en el tiempo de investigación. La fuente secundaria utilizada fue en base a bibliográficas que están disponible en la web y otros medios como tesis, documentales, libros, revistas artículos científicos, etc.

### 3.5. Diseño de la investigación

#### 3.5.1. Factor en estudio

Se usó como factor de estudio dosis de las nanopartículas de selenio, en forma de selenito de sodio al 99% en el cultivo de tomate.

#### 3.5.2. Tratamientos

Se establecieron cinco tratamientos, de los cuales, en tres de ellos se evaluarán el efecto de diferentes dosis de nanopartículas de selenio, se estableció un tratamiento químico y como tratamiento control tendremos un tratamiento el cual se le aplicara agua destilada.

**Tabla 3**

*Tratamientos en estudio*

Tratamientos		Descripción
Código	Dosis de nanopartículas	
T1	0 ppm	Aplicación de agua destilada. Control
T2	5 ppm	Aplicación dosis baja de Selenio
T3	15 ppm	Aplicación dosis media de Selenio
T4	30 ppm	Aplicación dosis alta de Selenio
T5	0.8 g	Aplicación química (NPK)

**Elaborado:** Autor

#### 3.5.3. Diseño experimental

Se trabajó con cinco tratamientos y cuatro repeticiones. Utilizaremos un Diseño Completamente al Azar (DCA). Las unidades experimentales estuvieron conformadas por 10 plantas, lo que nos da un total de 50 plantas por tratamiento.

**Tabla 4**

*Esquema del análisis de varianza (ADEVA) para Diseño Completamente al Azar DCA.*

<b>Fuentes de variación</b>		<b>Grados de libertad</b>
Tratamientos	(t-1)	4
Error	t (r-1)	15
Total	(tr-1)	19

**Elaborado:** Autor

### **3.6. Instrumentos de investigación**

#### **3.6.1. Manejo del experimento**

##### **3.6.1.1. Elaboración del semillero.**

La siembra se llevó a cabo en bandejas germinadoras de polietileno con capacidad para 200 cavidades. Se empleó tierra de sembrado como sustrato. Las semillas se colocaron a una profundidad de aproximadamente 2mm. El riego se realizó diariamente para asegurar una germinación uniforme.

##### **3.6.1.2. Trasplante y establecimiento de la plantación.**

El trasplante se llevó a cabo una vez que la plántula presento la tercera hoja verdadera. Se realizó bajo condiciones de sombra cuando las plántulas tenían una altura de entre 10 y 15 cm. Las plántulas se colocaron en fundas de polietileno de 10 x 12” de 2mm de grosor perforadas que contenían un sustrato compuesto por tierra de sembrado negra y sustrato comercial orgánico. Se procedió a plantar dos plántulas por funda y posteriormente se eliminó la plántula que mostrara características no deseadas para el experimento.

### ***3.6.1.3. Riego.***

El riego se lo realizó con frecuencia durante la etapa de crecimiento de las plantas, evitando el estrés hídrico.

### ***3.6.1.4. Control de malezas.***

El control de malezas se realizó de forma manual con el fin de prevenir el crecimiento de plantas no deseadas que pudieran haber influido en el crecimiento y desarrollo de las plántulas de tomate.

### ***3.6.1.5. Preparación de nanopartículas de selenio.***

Se realizó la preparación de las nanopartículas de selenio en el laboratorio de microbiología de la UTEQ, previo a su aplicación foliar. Se procedió a pesar 0.25g de nanopartículas, posteriormente se usó un mortero para machucar las nanopartículas, las cuales fueron mezcladas con agua destilada más dispersador agrícola a razón de 10ml para 5ppm, 30ml para 15ppm y 60ml para 30ppm. Luego se lo coloco por 20min en un mezclador THERMO FISHER SCIENTIFIC.

### ***3.6.1.6. Cosecha.***

La cosecha se determinó de acuerdo con los grados de madurez fisiológica del tomate (Anexo G).

## ***3.6.2. Variables evaluadas***

### ***3.6.2.1. Longitud de la raíz (cm).***

Se procedió a extender la raíz de 10 plantas por tratamiento sobre una base plana, posteriormente con un flexómetro se realizó las respectivas mediciones que comprendieron desde el ápice de la raíz hasta el punto de unión con el tallo a los 130 días después del trasplante.

#### **3.6.2.2. Longitud del tallo (cm).**

Se procedió a medir la altura de 10 plantas por tratamiento desde el punto de unión del tallo con la raíz hasta el ápice meristemático a los 30, 45 y 60 días después del trasplante con un flexómetro.

#### **3.6.2.3. Diámetro del tallo (cm).**

Se procedió a medir el diámetro del tallo de 10 plantas por tratamiento a los 30, 45 y 60 días después del trasplante usando un pie de rey.

Se evaluaron las variables a partir de los 60-120 días después del trasplante en la fase reproductiva de la planta, los frutos cosechados se encontraban en estado de madurez fisiológica grado 5 (Anexo G).

#### **3.6.2.4. Diámetro polar de los frutos (cm).**

Se procedió a seleccionar 40 frutos por cada tratamiento y se los midió con un pie de rey, cuya medida se expresó en cm.

#### **3.6.2.5. Diámetro ecuatorial (cm).**

Se procedió a seleccionar 40 frutos por cada tratamiento y se los midió con un pie de rey, cuya medida se expresó en cm.

#### **3.6.2.6. Número de flores por planta.**

Se realizó el conteo de flores por planta en un 50% del estado de floración, a los 45 días después del trasplante.

### **3.6.2.7. Número de fruto por planta.**

Se realizó un conteo del 50% de frutos por planta en cada tratamiento, a los 80 días después del trasplante.

### **3.6.2.8. Rendimiento (Kg/parcela).**

Se consideró el rendimiento por el peso directo del fruto que se obtuvieron del área útil en cada unidad experimental y se llevó a Kg/parcela.

### **3.6.2.9. Acidez del fruto.**

Se procedió a tomar muestra de 10 frutos por cada tratamiento, en su estado de madurez fisiológica grado 6. Se realizó a evaluar la acidez del fruto de acuerdo con la metodología propuesta por Endara, (2011). Se procedió a pesar 30g de pulpa y se diluyo a 200mL con agua destilada, posteriormente se tomó una alícuota de 20mL y se tituló con hidróxido de sodio 0.1N, usando fenolftaleína como indicador. El resultado se expresó en porcentaje de ácido cítrico. Se calculó mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Acidez titulable (\% ácido cítrico)} = \frac{V_{NaOH} \times N \times meq \times Vt}{Pm \times Va}$$

Donde:

$V_{NaOH}$  = Volumen de hidróxido de sodio consumidos en la titulación (mL)

$N$  = Normalidad del hidróxido de sodio

$meq$  = Miliequivalentes del ácido cítrico (0.064)

$Vt$  = Volumen final (mL)

$Pm$  = Peso de muestra (g)

$Va$  = Volumen de la alícuota (mL)

### **3.6.2.10. Sólidos solubles totales.**

Se procedió a tomar muestra de 10 frutos por cada tratamiento, en su estado de madurez fisiológica grado 6. Se realizó la determinación de sólidos solubles totales de acuerdo con la metodología realizada por Endara, (2011). Se procedió a colocar dos gotas del jugo de la

fruta sobre el prisma de la superficie de un refractómetro con una escala entre 0 a 30 grados Brix.

### **3.6.2.11. Contenido de vitamina c.**

Se procedió a tomar muestra de 10 frutos por cada tratamiento, en su estado de madurez fisiológica grado 6. La determinación del contenido de vitamina c, se realizó de acuerdo con la metodología realizada por Endara, (2011). Se procedió a pesar 30g de pulpa y se diluyó a 200 mL con agua destilada, se tomó una alícuota de 20 mL y se sumergió una tirilla del test de ácido ascórbico, la que se colocó en el reflectómetro obteniendo el valor en mg/L.

Los datos se reportaron en mg de vitamina c por cada 100g de pulpa, usando la fórmula:

$$\text{Vitamina C} \left( \frac{\text{mg}}{100\text{g}} \right) = \frac{l \times V}{Pm}$$

Donde:

$l$  = Lectura (mg/L)

$V$  = Volumen final (mL)

$Pm$  = Peso de la muestra (g)

## **3.7. Tratamiento de datos**

Se realizó el tratamiento de los datos obtenidos mediante un ADEVA de un factor, con un nivel de significancia de 0.05, mediante esta manera se comprueba diferencias significativas. Se realizó pruebas de comparaciones para comparar las medias de los tratamientos mediante Tukey ( $P < 0.05$ ). La tabulación de los datos se realizó en Infostat.

## **3.8. Recursos humanos y materiales**

### **3.8.1. Recursos humanos**

Martinez Diaz Daniel Alexander (Autor del proyecto de investigación).

Llerena Ramos Luis Tarquino (Auspicio de la Unidad de Integración Curricular)

### **3.8.2. *Material vegetal***

- Se usó plántulas de tomate variedad Pomodoro

### **3.8.3. *Materiales de oficina***

- Cuaderno
- Lapicero
- Computadora
- Memoria USB
- Calculadora
- Impresora
- Teléfono

### **3.8.4. *Materiales de campo***

- Materia orgánica
- Pulverizador
- Regadera
- Balanza analítica
- Flexómetro
- Pie de rey
- Piolas
- Navaja

### **3.8.5. *Materiales del experimento***

- Nanopartículas de Selenio
- NPK
- Disperfol (dispersador agrícola)

**CAPÍTULO IV**  
**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

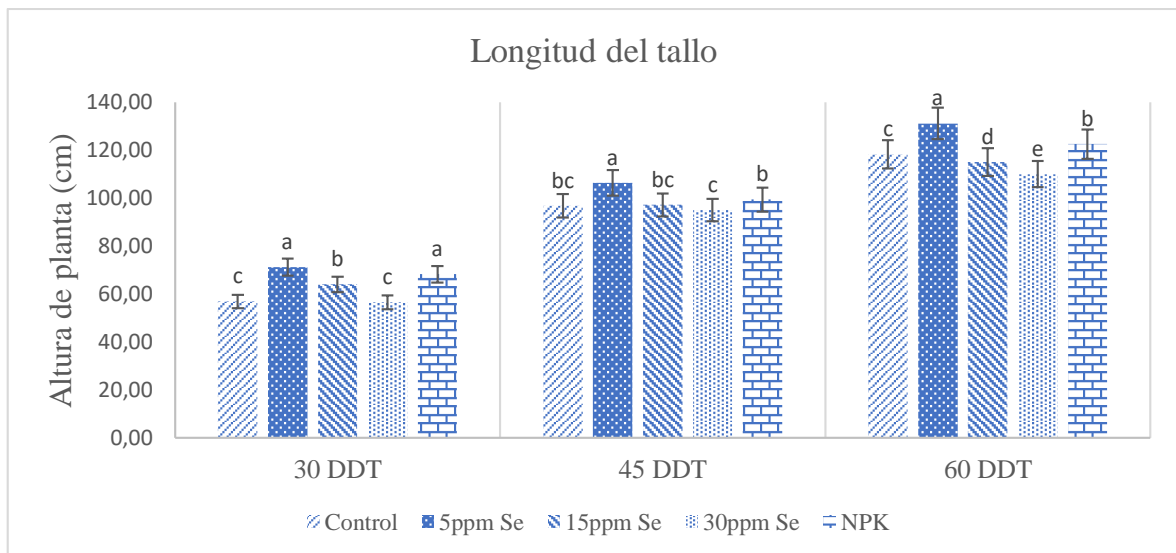
## 4.1. Resultados

### 4.1.1. Longitud del tallo (LT)

La variable de longitud del tallo se tomó a los 30, 45 y 60 días después del trasplante (DDT). Se encontraron diferencias significativas entre los cinco tratamientos evaluados (figura 1). El T1 correspondiente a nanopartículas de selenio a 5ppm y T5 con NPK a 0,8g no demostraron diferencias estadísticas a los 30 DDT, mientras que el T1 control y T4 correspondiente a 30ppm de nanopartículas de selenio mostraron promedios bajos de 56.89 y 56.48cm. Finalmente, el T2 demostró resultados óptimos sobre la altura en las plantas con alturas promedio de 131,09 cm, seguido por el T5 con NPK a 0,8g planta, la cual es una dosis media, con alturas promedio de 122.46 cm. El T4 correspondiente a 30ppm de NPs de selenio demostró ser toxico afectando la longitud del tallo, con alturas promedios de 109.94 cm. Mientras que los tratamientos control (T1) y tratamientos con dosis media de NPs (T3), mostraron alturas promedio de 118.14 y 115.04 cm, respectivamente.

### Figura 1

Efecto de NPs de selenio sobre la longitud del tallo (cm) en plantas de tomate para los distintos tratamientos a los 30, 45 y 60 DDT.



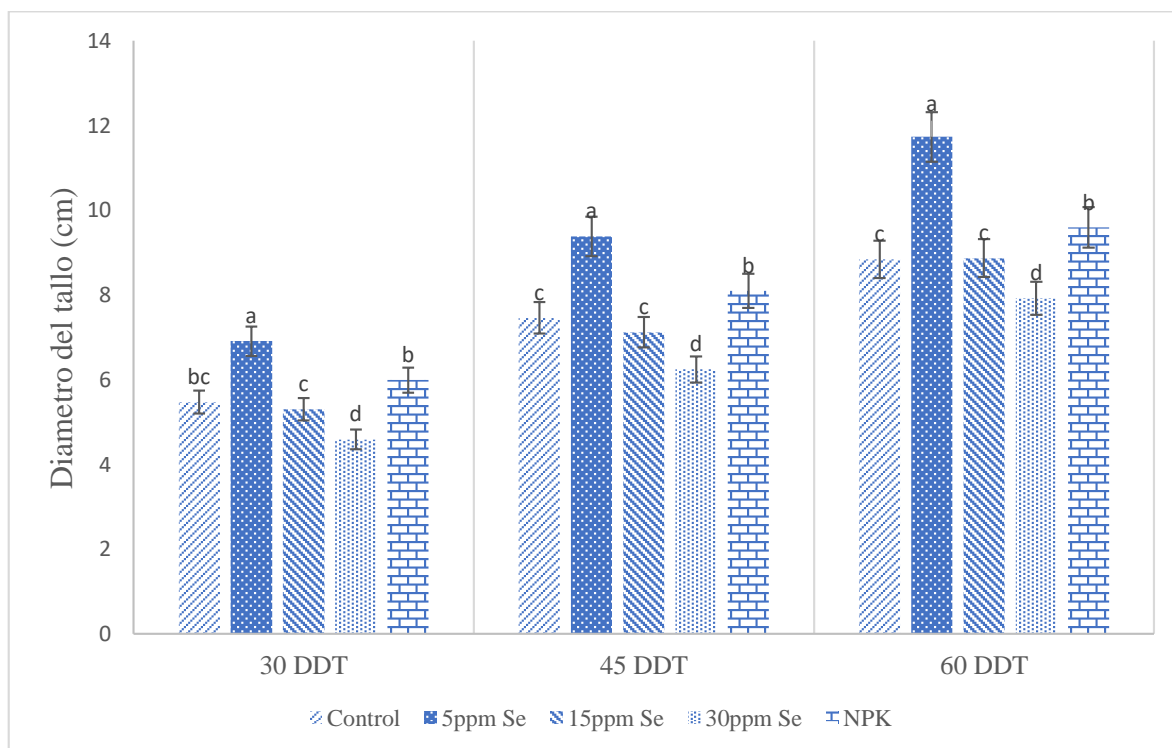
**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

#### 4.1.2. Diámetro del tallo (DT)

El indicador de diámetro del tallo se tomó en cuenta durante los 30, 45 y 60 días después del trasplante (DDT). Se encontraron diferencias significativas entre los cinco tratamientos evaluados (figura 2). Las nanopartículas de selenio (NPs Se) presentan una influencia significativa sobre el diámetro del tallo, el T2 con 5ppm mostro mayor diámetro en las plantas con un promedio de 11.73 cm, seguido por el (T5) tratamiento con NPK a 0,8g planta, con un diámetro promedio de 9.59 cm. El T4 correspondiente a 30ppm de NPs de selenio, mostro el menor diámetro con un promedio de 7.92 cm. Mientras que los tratamientos control (T1) y tratamientos con dosis media de NPs (T3), no mostraron significancia con diámetros promedios de 8.84 y 8.87 cm, respectivamente.

**Figura 2**

*Efecto de NPs de selenio sobre el diámetro del tallo (cm) en plantas de tomate para los distintos tratamientos a los 30, 45 y 60 DDT.*



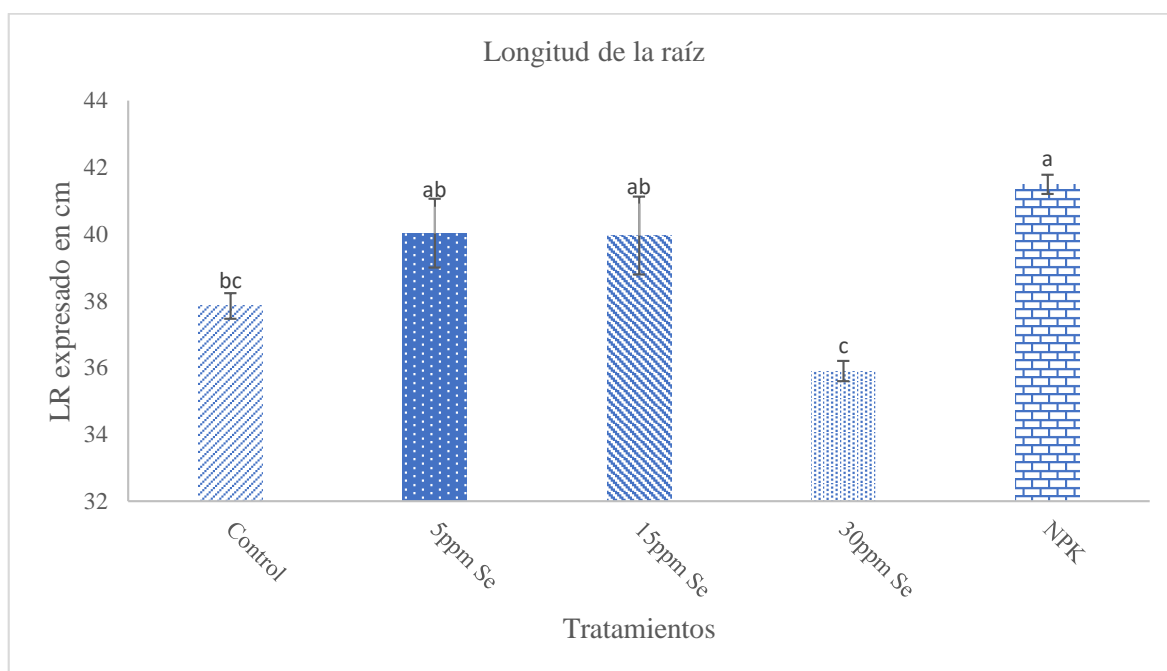
**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

#### 4.1.3. Longitud de la raíz (LR)

En la figura 3, podemos observar las diferencias significativas entre el T5, el cual, mostro mayor crecimiento radicular con un valor promedio de 41.49 cm y el T4, correspondiente a la dosis alta de NPs mostro el menor crecimiento radicular promediando 35.90 cm, respectivamente. Mientras que los T2 y T3, no mostraron diferencias significativas promediando 40.03 y 39.96 cm, respectivamente.

#### Figura 3

*Efecto de NPs de selenio sobre la longitud de la raíz (cm) en plantas de tomate para los distintos tratamientos.*



**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

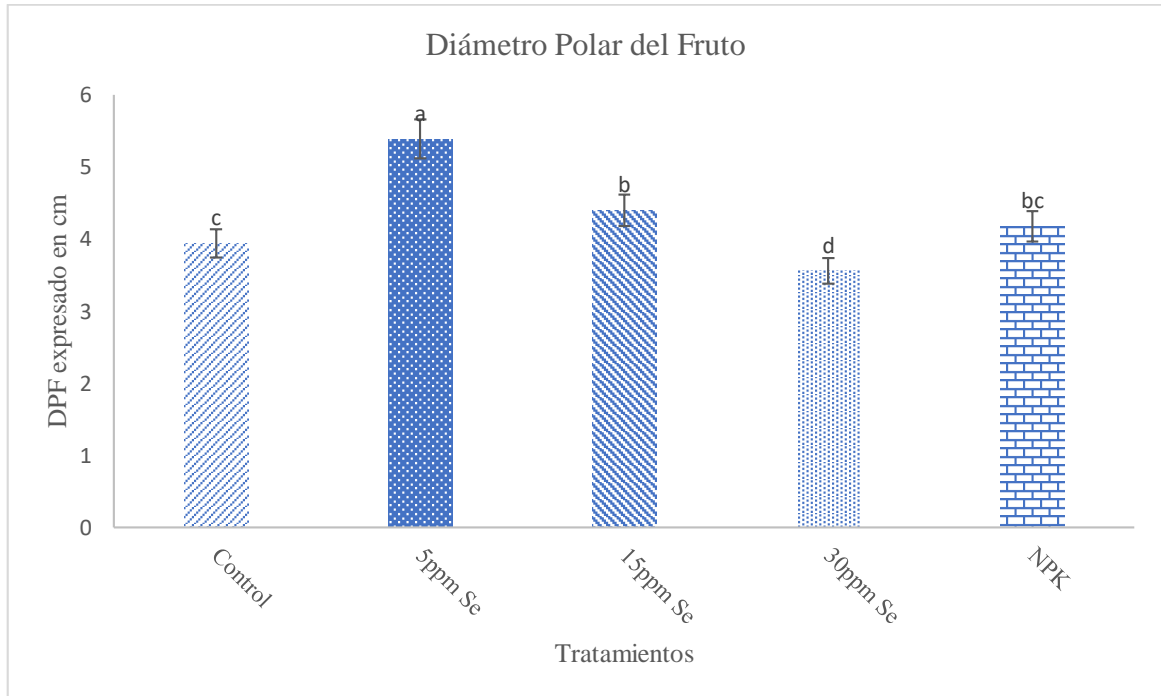
#### 4.1.4. Diámetro polar del fruto (DPF)

La aplicación de diferentes dosis de NPs de selenio demuestra diferencias significativas (Figura 4) entre tratamientos como podemos observar el T2 correspondiente a la dosis con 5ppm de selenio demostró el mayor diámetro polar con un promedio de 5.39 cm, seguido por el T3 con dosis media de 15ppm y T5 con 0.8g de NPK, los cuales, presentaron

promedios de 4.40cm y 4.18cm. El tratamiento que presentó menor diámetro corresponde al T4 con 30ppm de selenio considerada dosis alta promediando 3.56cm de diámetro.

#### Figura 4

*Efecto de NPs de selenio sobre el diámetro polar del fruto (cm) en plantas de tomate para los distintos tratamientos.*



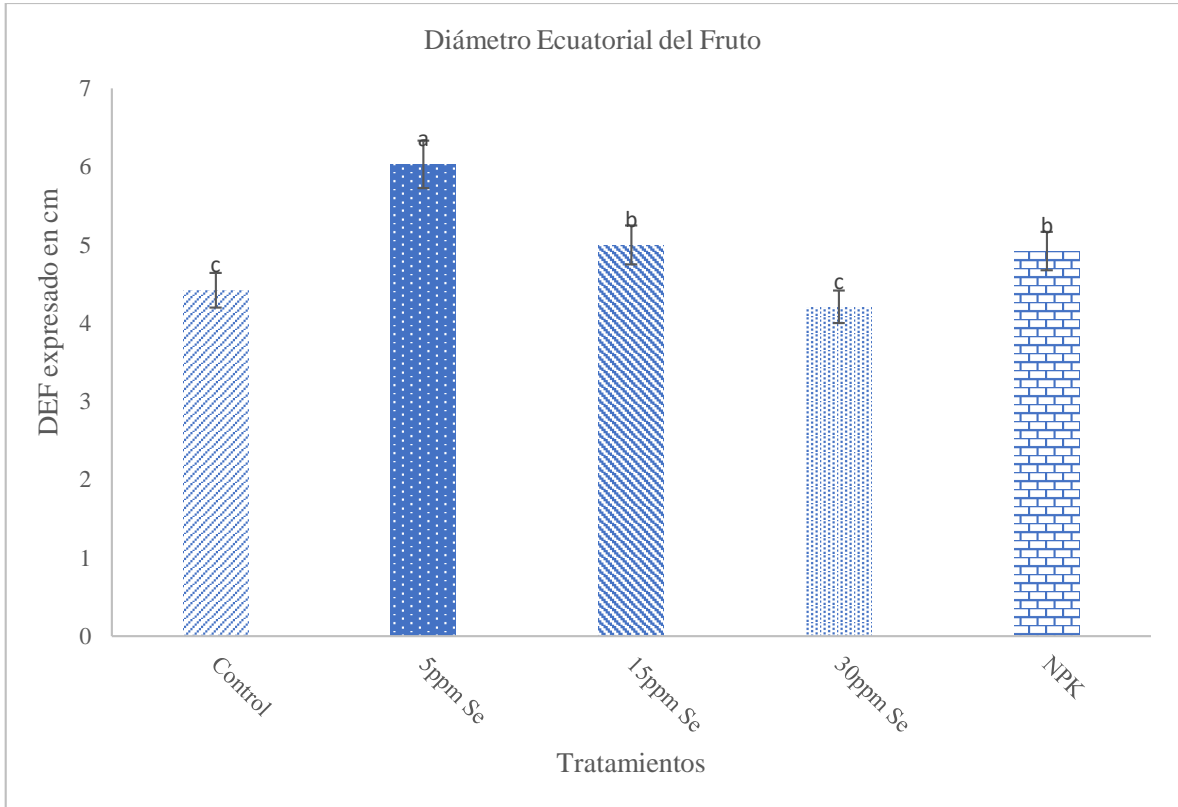
**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

#### 4.1.5. Diámetro ecuatorial del fruto (DEF)

La figura 5, demuestra las diferencias significativas entre tratamientos con NPs de selenio como podemos observar el T2 correspondiente a la dosis con 5ppm de selenio demostró el mayor diámetro ecuatorial con un promedio de aproximadamente 6.03 cm, seguido por el T3 con dosis media de 15ppm y T5 con 0.8g de NPK, los cuales, presentaron promedios de 5.00 cm y 4.92 cm. El tratamiento que presentó menor diámetro corresponde al T4 con 30ppm de selenio considerada dosis alta promediando 4.21 cm de diámetro.

## Figura 5

*Efecto de NPs de selenio sobre el diámetro ecuatorial del fruto (cm) en plantas de tomate para los distintos tratamientos.*



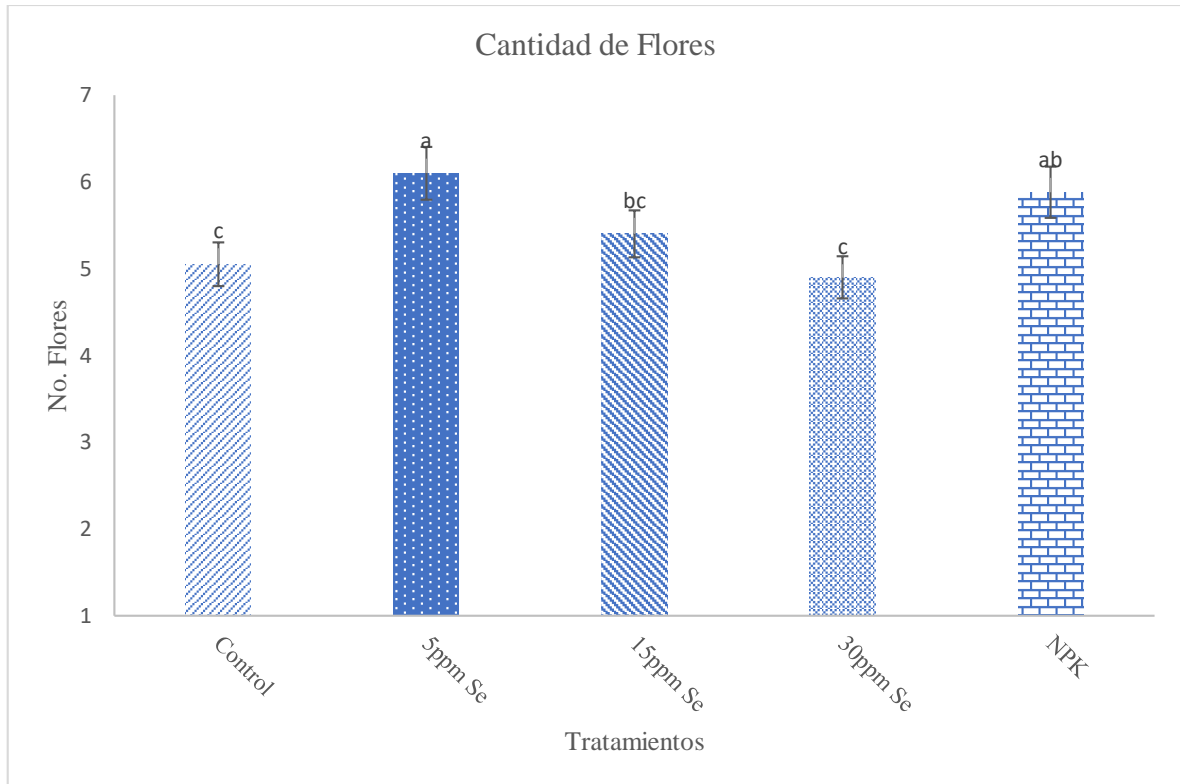
**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

### 4.1.6. Número de flores

La floración se vio influenciada por las diferentes dosis (figura 6), demostrando así diferencias significativas entre los tratamientos. El T2 con dosis de 5ppm mostro la mayor cantidad de flores teniendo similitud estadística con el T5 de NPK con un promedio en flores de 6.10 y 5.88. Mientras tanto el menor promedio de floración lo obtuvo los tratamientos control (T1) con un promedio de 5.05, seguido por el T4 de dosis alta 30ppm de (Se) con un promedio de 4.90 de flores, teniendo similitud estadística.

## Figura 6

*Efecto de NPs de selenio sobre el número de flores en plantas de tomate para los distintos tratamientos.*



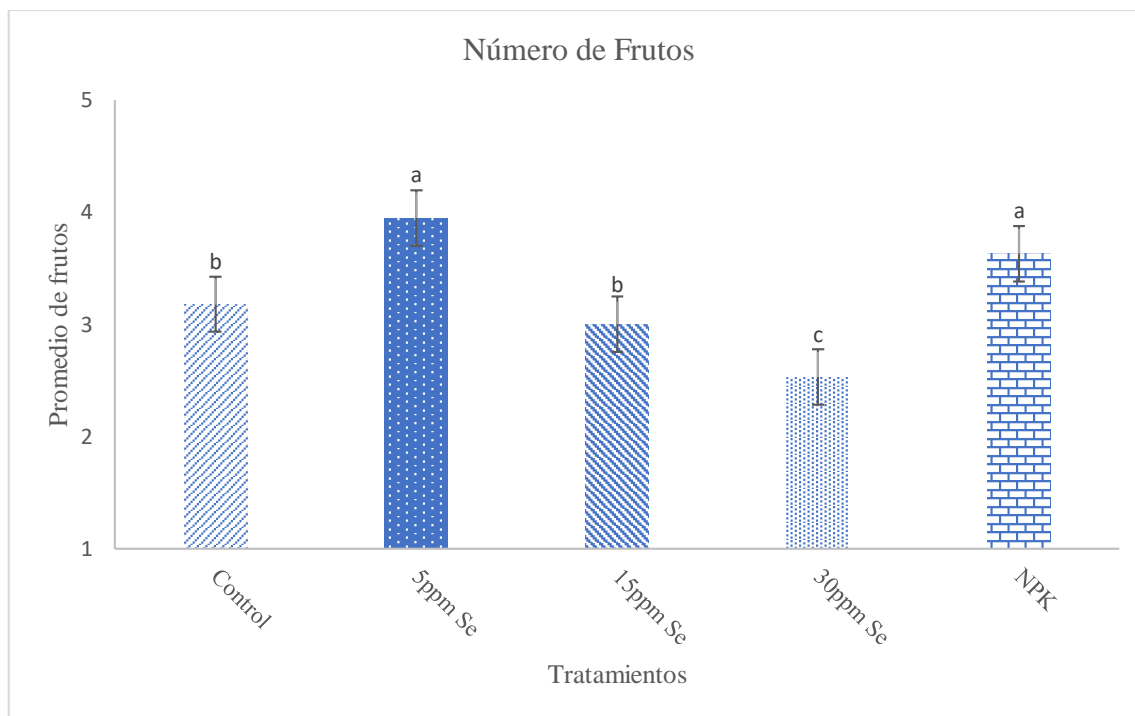
**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

### 4.1.8. Número de frutos

La figura 7, demuestra las diferencias significativas entre los tratamientos en la fructificación. El T2 con dosis de 5ppm, mostro el mayor promedio de fructificación teniendo similitud estadística con el T5 de NPK con un promedio de frutos de 3.95. Mientras tanto el menor promedio de frutos lo obtuvo el T3 con dosis media de 15ppm con un promedio de 3.00, seguido por el T4 de dosis alta 30ppm de Se con un promedio de 2.53 de frutos, teniendo similitud estadística.

## Figura 7

*Efecto de NPs de selenio sobre el número de frutos en plantas de tomate para los distintos tratamientos.*



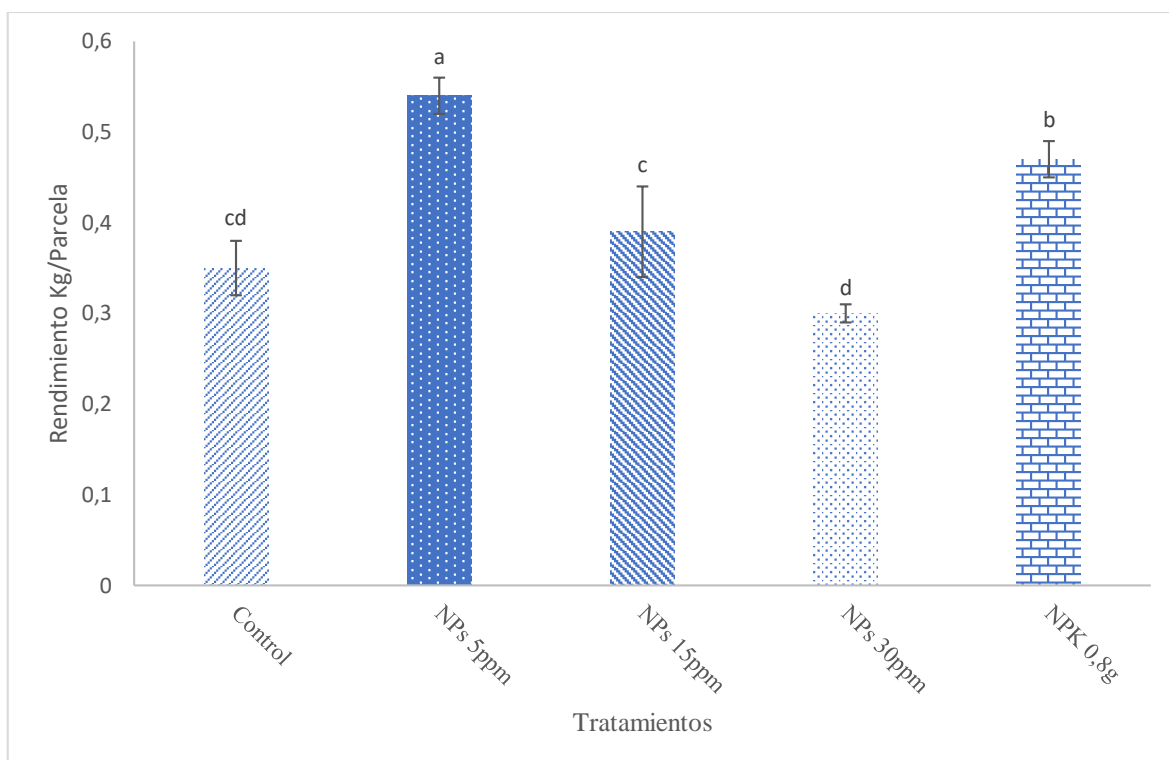
**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

### 4.1.9. Rendimiento

Se encontraron diferencias significativas entre tratamiento en el rendimiento en relación con diferentes tratamientos aplicados. Se observa que el T1 presentó un rendimiento de 0.35kg. Por otro lado, al emplear NPs a concentraciones de 5ppm, se obtuvo un rendimiento de 0.54kg, mostrando un aumento significativo en comparación con el T1. Sin embargo, a concentraciones de NPs de 15ppm y 30ppm, se registraron rendimientos de 0.39 y 0.30kg respectivamente, siendo el rendimiento más bajo el logrado con 30ppm de NPs. Por último, el tratamiento con NPK de 0.8g presentó un rendimiento de 0,47kg. Este valor se sitúa entre los resultados obtenidos con las concentraciones de NPs, mostrando un desempeño relativamente superior a las concentraciones de 15ppm y 30ppm de NPs, pero inferior al tratamiento con NPs de 5ppm.

**Figura 8**

*Efecto de NPs de selenio sobre el rendimiento en plantas de tomate para los distintos tratamientos.*



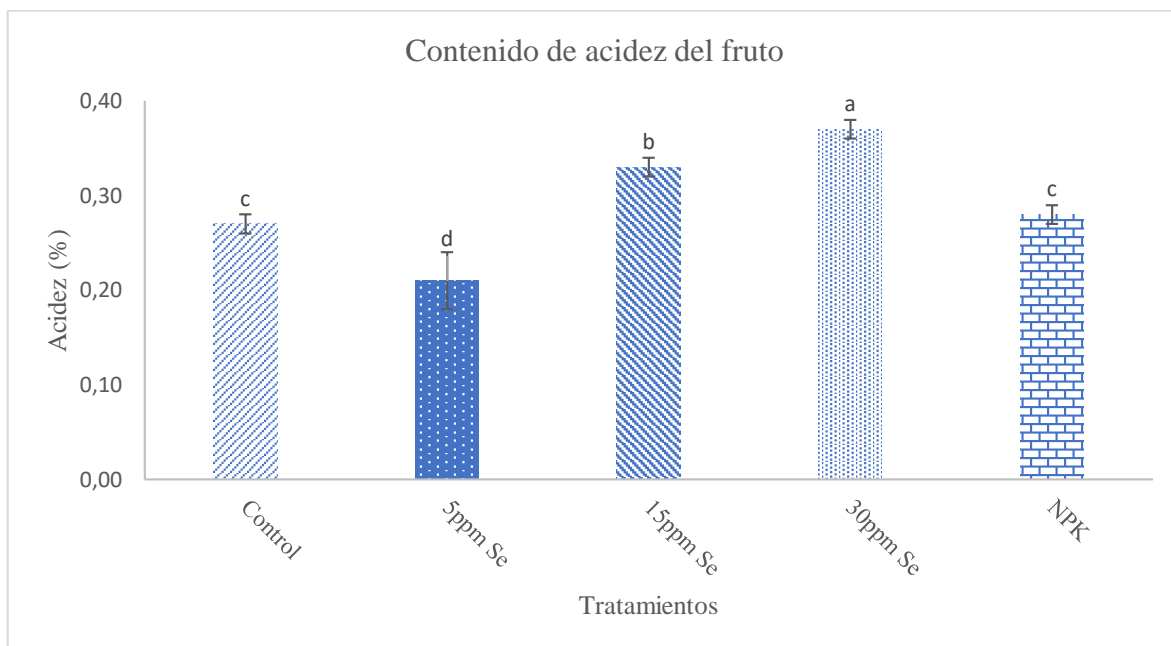
**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

#### **4.1.10. Acidez del fruto**

Se observaron diferencias significativas (Figura 9) entre los tratamientos con respecto al contenido de acidez del fruto. El T4 correspondiente a 30ppm de selenio presentó el mayor contenido de acidez con promedio de 0.37% de acidez, mostrando diferencias significativas con el T2 correspondiente a 5ppm de selenio promediando un 0.21% de acidez. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos control (T1) y con NPK (T5), cuyos promedios fueron de 0.27% y 0.28% de acidez.

## Figura 9

*Efecto de NPs de selenio sobre la acidez del fruto de tomate para los distintos tratamientos.*



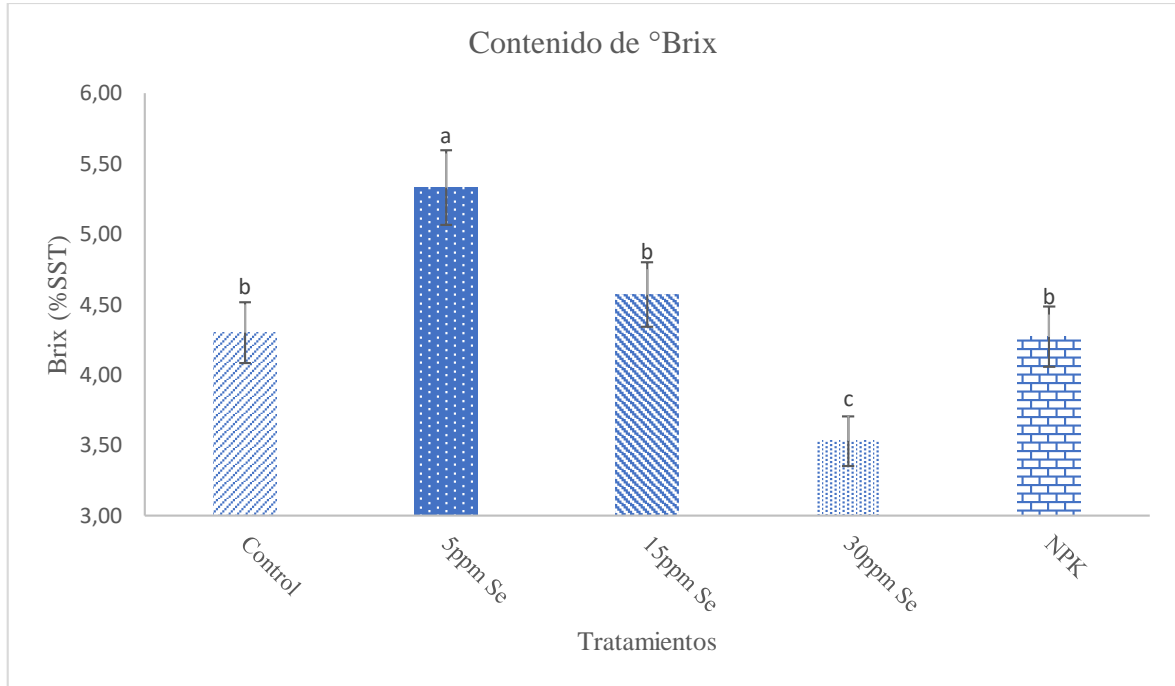
**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

### **4.1.11. Sólidos solubles totales.**

El contenido de grados brix entre los diferentes tratamientos mostraron diferencias significativas. El tratamiento que presentó el mayor contenido de grados brix corresponde a la dosis baja (T2) de 5ppm de selenio con promedio de 5.33% de grados brix, mostrando diferencias significativas con el tratamiento con dosis alta (T4) de 30ppm promediando un 3.53% de grados brix. No se observaron diferencias significativas entre los tratamientos correspondientes a 15ppm (T3) de selenio con un 4.57%, tratamiento control (T1) y con NPK (T5), cuyos promedios fueron de 4.30% y 4.27% de grados brix.

**Figura 10**

*Efecto de NPs de selenio sobre solidos solubles totales en frutos de tomate para los distintos tratamientos.*



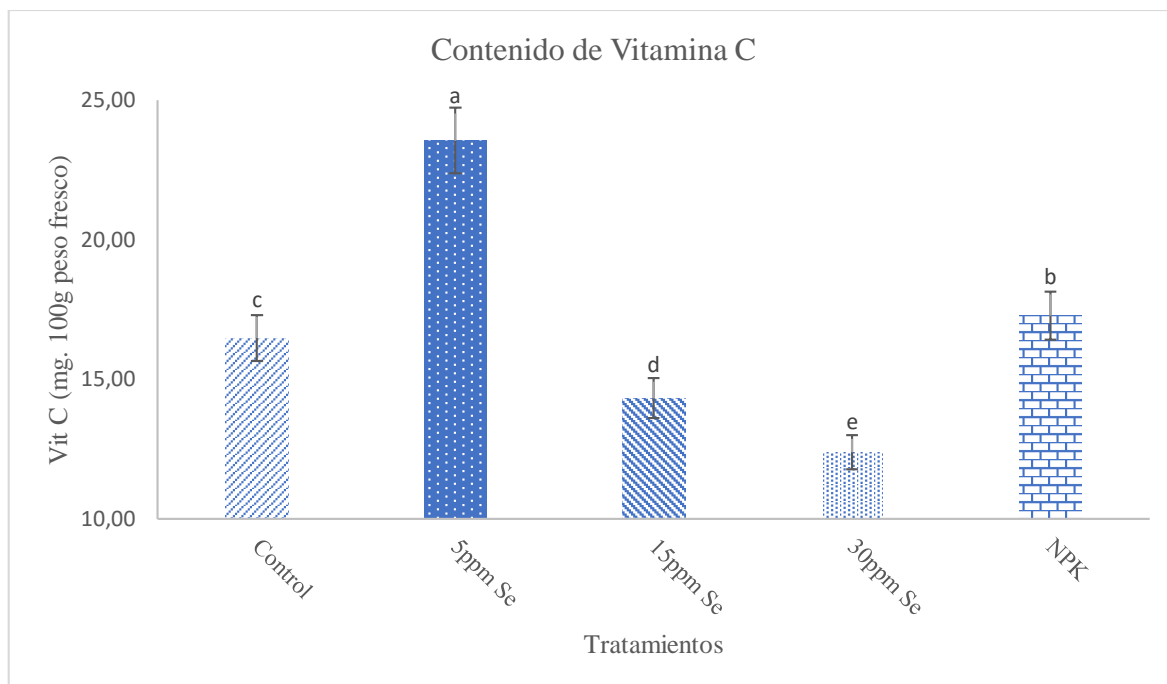
**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

#### **4.1.12. Contenido de vitamina c.**

La aplicación de NPs de selenio en diferentes dosis ha demostrado el efecto beneficioso que provoca en las plantas respecto al contenido de ácido ascórbico (vitamina c) los tratamientos demuestran diferencias significativas. El tratamiento con 5ppm (T2) mostro el mayor contenido de ácido ascórbico promediando 23.55mg, seguido por el tratamiento con NPK que presento 17.27mg de vitamina c, siendo estadísticamente diferente con el tratamiento de 30ppm de selenio (T4), el cual, mostro el menor contenido de ácido ascórbico promediando 12.38mg.

## Figura 11

Efecto de NPs de selenio sobre contenido de vitamina c en frutos de tomate para los distintos tratamientos.



**Nota.** La distribución de los tratamientos se encuentra de la siguiente forma; T1 (control), T2 (NPs 5ppm), T3 (NPs 15ppm), T4 (NPs 30ppm) y T5 (NPK 0,8g). Diferentes letras indican diferencias significativas entre los promedios a  $p < 0.05$  (test de Tukey).

## 4.2. Discusión

En las plantas, el selenio (Se) no tiene un papel metabólico esencial, altas concentraciones de Se inorgánico pueden conducir a la formación de Se-aminoácidos y su incorporación a selenoproteínas puede generar toxicidad. Por el contrario, dosis bajas de Se pueden desencadenar una variedad de efectos beneficiosos como agente antioxidante, antimicrobiano o modulador del estrés sin ser un elemento esencial. Por tanto, el Se puede generar toxicidad dependiendo de la dosis y la forma química en la que se suministre. Las nanopartículas de selenio (SeNPs) han surgido como una estrategia para reducir este efecto negativo y mejorar sus propiedades biológicas. A su vez, los SeNPs tienen una amplia gama de ventajas potenciales, lo que los convierte en una alternativa para áreas como la agricultura y la tecnología alimentaria (Garza-García *et al.*, 2021).

Los hallazgos sobre el impacto de diferentes tratamientos en el desarrollo de las plantas revelan asociaciones significativas entre la dosificación de nanopartículas de selenio y varios indicadores de crecimiento. La longitud del tallo, el diámetro del tallo y el crecimiento radicular se vieron directamente influenciados por las variaciones en la concentración de selenio y otros tratamientos utilizados.

El uso de dosis bajas de nanopartículas de selenio (5ppm) resultó en un mayor crecimiento en términos de longitud del tallo, diámetro y crecimiento radicular en comparación con las dosis más altas (30ppm). Por otro lado, el tratamiento con NPK a  $0,8\text{g planta}^{-1}$  mostró un crecimiento cercano al de la dosis baja de nanopartículas de selenio. Esto sugiere un posible efecto positivo en el desarrollo de la planta debido a la presencia de selenio en concentraciones moderadas, lo que puede haber contribuido a su crecimiento saludable.

La diferencia en el crecimiento radicular entre la dosis baja y alta de selenio es particularmente notable, indicando que, si bien dosis bajas pueden promover un crecimiento más robusto, dosis más altas pueden ser perjudiciales, reflejando un efecto tóxico del selenio en estas concentraciones.

Estos resultados apuntan a la importancia de mantener un equilibrio en la dosificación de selenio para maximizar el crecimiento saludable de las plantas. Las diferencias significativas entre los tratamientos destacan la sensibilidad de las plantas a las variaciones en la concentración de selenio y la importancia de considerar esta sensibilidad al aplicar suplementos de selenio o formulaciones de fertilizantes en el cultivo, especialmente en el contexto de prácticas agrícolas para la optimización del crecimiento de las plantas.

A su vez, investigaciones realizadas por Gudkov *et al.*, (2020) demostraron que las nanopartículas de Se no afectaron el crecimiento de la planta en cebada y col, sin embargo, el crecimiento y el hábitat de la planta fueron ligeramente mejores con una dosis de nanopartículas de Se de  $10\ \mu\text{g kg}$ . Mozafariyan *et al.*, (2014) indica que el Se, incluso en bajas concentraciones, puede estimular el crecimiento de las plantas. Se encontró que  $5\ \mu\text{g}$  de Se impulsaron el crecimiento de las raíces y aumentaron el contenido relativo de agua en las plantas de pimienta picante en un 13 % en comparación con las plantas de control y la concentración de 3 como de  $5\ \mu\text{M}$  de Se provocó un aumento del 25 % en el área foliar, lo que resultó en un aumento en el crecimiento y la biomasa general de la planta.

Józwiak y Politycka, (2019) indica que el selenio (Se) en forma de selenito de sodio en concentraciones de 1, 5 y 10  $\mu\text{M}$ , revelaron que 1 mM Se aumentó el crecimiento y desarrollo de las plantas, la tasa fotosintética y el contenido de  $\text{K}^+$ , mientras que la proporción de  $\text{Na}^+$  disminuyó. Además, la suplementación con Se ( $20 \text{ mg L}^{-1}$ ) mejoraron el crecimiento y el contenido de clorofila del maíz al reducir el daño oxidativo debido a los altos niveles de malondialdehído (MDA) y peróxido de hidrógeno ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) bajo estrés de alta salinidad

En el estudio realizado por El-Ramady *et al*, (2015). en plantas de tabaco se demostró que el aumento de las concentraciones de SeNP aumentó significativamente la tasa de regeneración de las raíces. Con el uso de  $50\text{--}100 \text{ mg L}^{-1}$  SeNPs, las raíces eran mucho más extensas y densamente empaquetadas, y el peso fresco también aumentó significativamente. Por el contrario, el selenato inhibió completamente la formación de raíces en concentraciones que oscilaban entre 50 y  $100 \text{ mg L}^{-1}$ .

Nawaz *et al*, (2017) indica que las NPs de Se, muestran una tendencia a disminuir la longitud de la raíz de la planta de pepino y el injerto a desarrollar masa radicular. Los resultados obtenidos demuestran que a mayor dosis de NPs de Se afecta el crecimiento de las raíces en las plantas de pepino, sin embargo, el injerto desarrollado por Nawaz *et al*, promueve el desarrollo de pelos absorbentes que generan una mejora en la absorción de nutrientes y desarrollo de la planta injertada. Otros autores como Smoleń *et al.*, (2014) informaron una reducción en los niveles de Ca y Mg en raíces de lechuga con la aplicación foliar de Se e I, aunque no observaron ninguna diferencia en el contenido de macronutrientes en las hojas cuando aplicaron Se individualmente.

Los resultados revelan que las distintas dosis de nanopartículas de selenio aplicadas a las plantas generaron efectos significativos y medibles en varios aspectos de su desarrollo. En relación al diámetro polar y ecuatorial de las plantas, se observa que la dosis más baja de 5ppm de selenio permitió un incremento notable en ambos diámetros. Sin embargo, las dosis más altas (15ppm y 30ppm) mostraron un impacto decreciente en el crecimiento, siendo la dosis de 30ppm la que presentó el menor incremento en el tamaño de los diámetros, lo que sugiere un efecto negativo a medida que aumenta la concentración de selenio.

La floración y fructificación también se vieron influenciadas por las dosis de selenio, mostrando una relación directa entre las dosis más bajas y un mayor rendimiento. La dosis de 5ppm tuvo un efecto significativo en el incremento de flores y frutos en comparación con las dosis superiores, con valores similares al tratamiento con NPK. Por otro lado, las dosis más altas (15ppm y 30ppm) resultaron en una disminución en el número de flores y frutos, lo que indica un efecto adverso en la producción en relación con las dosis más bajas.

El rendimiento total siguió un patrón similar, mostrando que la dosis de 5ppm generó un rendimiento superior en comparación con las otras dosis, incluyendo el tratamiento de NPK. Además, las dosis de 15ppm y 30ppm exhibieron rendimientos decrecientes, siendo la dosis de 30ppm la que arrojó el rendimiento más bajo.

Resultados similares fueron reportados por Rahim *et al.*, (2020) donde el selenito de sodio adicionado a la solución nutritiva biofortificó el tomate mediante un aumento significativo del contenido de selenio para los diferentes componentes evaluados (frutos, hojas y tallos), llegando a duplicar su concentración en frutos para el tratamiento de 5 mg L<sup>-1</sup>, en comparación con el control. Morales *et al.*, (2019) indica que la aplicación de selenito de sodio no interfirió en la absorción de macronutrientes, sino que contribuyó a la mejora de la calidad nutricional del tomate. Se aplicado en baja concentración puede mejorar el rendimiento de los cultivos y la calidad de los alimentos. que la aplicación de nanopartículas de selenio mejoró el rendimiento y la biomasa aérea de plantas de tomate que se desarrollaron en condiciones de estrés salino, en parte debido a la presencia de un aumento en la cantidad de pigmentos fotosintéticos en las hojas, que pueden mejorar la capacidad fotosintética de las plantas.

Un estudio hecho por Pezzarossa *et al.*, en el 2014 estudio los efectos del selenio sobre la composición del fruto y la fisiología de maduración, en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum*) cultivadas en hidroponía. Se añadió selenato de sodio a la solución nutritiva a razón de 0 (control) y 1 mg Se L<sup>-1</sup> El selenio agregado a la solución nutritiva fue absorbido por las raíces y la concentración de Se fue mayor en las hojas que en los frutos. La adición de Se no influyó significativamente en el rendimiento acumulado de las plantas de tomate, pero se detectó un retraso en el inicio de la maduración del fruto y la cosecha de las plantas control comenzó antes que en las plantas tratadas con Se.

En 2011, Pezzarossa *et al*, descubrió que la acumulación de Se en la aplicación foliar en hojas y frutos de durazno y pera retrasa el ablandamiento de los frutos y aumenta su vida útil, se aplicó selenato a razón de 0,1 y 1,0 mg Se L<sup>-1</sup> a las hojas de durazno. El mayor contenido de Se en la fruta resultó en un aumento en la firmeza de la pulpa y una disminución en el contenido de sólidos solubles. La Vía foliar (LT) aumentó significativamente el contenido de Se en las hojas y frutos de durazno y pera, y las hojas mostraron las concentraciones más altas de Se.

Los resultados del estudio demuestran que la adición de diferentes concentraciones de nanopartículas de selenio tuvo un impacto significativo en la calidad y el contenido nutricional de los frutos evaluados.

En cuanto al contenido de acidez, se observó que la dosis más alta de selenio (30ppm) provocó un aumento notable en la acidez de los frutos en comparación con la dosis más baja (5ppm), lo que indica una relación directa entre la concentración de selenio y el aumento de la acidez. Sin embargo, no se observaron diferencias significativas en la acidez entre el tratamiento control y el tratamiento con NPK, lo que sugiere que la adición de selenio tuvo un efecto más significativo en este aspecto.

En lo que respecta al contenido de grados brix, se encontró que la dosis más baja de 5ppm de selenio generó frutos con un contenido más alto de sólidos solubles en comparación con las dosis más altas, como 15ppm y 30ppm. La dosis más alta (30ppm) tuvo el menor contenido de grados brix, lo que indica una relación inversa entre la concentración de selenio y el contenido de sólidos solubles en los frutos. Los tratamientos con NPK y el control no mostraron diferencias significativas en relación con el contenido de grados brix.

En relación con el contenido de ácido ascórbico (vitamina C), los resultados demostraron un impacto directo de la concentración de selenio en este aspecto. La dosis más baja de selenio (5ppm) mostró un contenido de vitamina C significativamente mayor en comparación con las dosis más altas (15ppm y 30ppm), y también superó al tratamiento con NPK. La dosis más alta de 30ppm presentó el menor contenido de vitamina C, lo que sugiere un efecto negativo a medida que aumenta la concentración de selenio.

Estos resultados sugieren que dosis más bajas de nanopartículas de selenio pueden mejorar la calidad nutricional de los frutos al aumentar el contenido de vitamina C y los sólidos solubles, mientras que las dosis más altas pueden incrementar la acidez y disminuir el contenido de vitamina C. La regulación cuidadosa de la concentración de selenio es crucial para maximizar los beneficios nutricionales de los frutos y minimizar los posibles efectos negativos en su calidad.

Morales *et al.*, (2019) descubrió que las nanopartículas de selenio aumentan la concentración de fenoles en las hojas. Sin embargo, también aumentaron la mayoría de los compuestos antioxidantes que estaban presentes en los frutos de tomate (licopeno,  $\beta$ -caroteno, flavonoides y fenoles). Este resultado representa una ventaja adicional para la producción de tomate bajo estrés salino, ya que las plantas producirán frutos de mejor calidad que pueden beneficiar la dieta humana. Se encontró que la aplicación de nanopartículas de selenio aumenta la actividad enzimática en hojas y frutos de las plantas de tomate; por lo tanto, las NP de Se pueden aumentar la capacidad de las plantas de tomate para tolerar el estrés por NaCl. Gudkov *et al.*, (2020) indica que la concentración de nanopartículas de Se preparado de  $10 \mu\text{g kg}^{-1}$  en el suelo es el más efectivo para la manifestación del potencial antioxidante de las nanopartículas de Se y la mejora del crecimiento de las plantas.

Rady *et al.*, (2020) realizó una investigación sobre la aplicación de Se cuyo objetivo fue explorar los impactos potenciales del Se aplicado en tres niveles (0, 20 y 40 mM) en dos métodos (adición al suelo o aspersión foliar). Los resultados obtenidos confirmaron que los tomates tratados con 40 M de Se establecieron una mayor tolerancia a la sequía, lo que fue acompañado por acciones de varias enzimas antioxidantes, incluyendo ascorbato peroxidasa (APX) en un 44 %, superóxido dismutasa (SOD) en un 56 % y catalasa (CAT) en un 57%, respectivamente. Así mismo Chauhan *et al.*, (2017), analizó la respuesta del estrés oxidativo, los compuestos fenólicos y los elementos nutrientes para investigar la tolerancia al As mediada por Se en plántulas de arroz durante la exposición a AsIII y SeIV en hidroponía. El selenita ( $25 \mu\text{M}$ ) disminuyó significativamente la acumulación de As en la planta que las plantas tratadas con As ( $25 \mu\text{M}$ ) solo. La suplementación con selenio mejoró la absorción de elementos nutrientes, a saber, Fe, Mn, Co, Cu, Zn, Mo, y mejoró el crecimiento de las plantas.

Un estudio hecho por Kaur *et al.*, (2014). indica que se ha descubierto que niveles de Se inferiores a  $1 \text{ mg kg}^{-1}$  son beneficiosos para las plantas, mientras que niveles más altos causan toxicidad en la mayoría de los cultivos agrícolas. En concentraciones bajas, el Se puede actuar como regulador del crecimiento de las plantas, antioxidante, anti senescente, modulador del estrés abiótico y molécula defensiva contra patógenos en las plantas. En concentraciones más altas, las plantas muestran diversos síntomas tóxicos, que incluyen retraso en el crecimiento, clorosis, marchitamiento y secado de las hojas, disminución prematura de la síntesis de proteínas e incluso muerte de la planta. Aquí se analizan las funciones del selenio como potenciador e inhibidor del crecimiento de las plantas en diversos cultivos agrícolas.

**CAPÍTULO V**  
**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

## 5.1. Conclusiones

- El efecto de las nanopartículas de selenio demostró un efecto benéfico sobre las variables de crecimiento (longitud del tallo, diámetro del tallo y longitud de la raíz), tomando en cuenta este efecto en dosis bajas, ya que, al implementar dosis altas genera toxicidad en las plantas. A su vez, de acuerdo con los resultados el tratamiento con NPK estimulo el crecimiento radicular.
- El tratamiento de 5ppm, mostraron ser la dosis adecuada en las variables relacionadas a la productividad (diámetro polar del fruto, diámetro ecuatorial y rendimiento), mostrando frutos de mejor calidad física, siendo estadísticamente similar al tratamiento con 0,8g de NPK en el número de flores y frutos. En comparación con el tratamiento de 30ppm, el cual, mostro toxicidad en la planta.
- El tratamiento con 30ppm demostró toxicidad sobre la calidad de los frutos. Mientras que el tratamiento de 5ppm demuestra altos contenidos de solidos solubles totales y vitamina c. Mostrando competitividad con el tratamiento con NPK en términos de rendimiento y calidad de los frutos.

## **5.2. Recomendaciones**

- Evaluar otro tipo de dosificaciones, empleando otro método de aplicación y considerar parámetros como cantidad de clorofila y estado antioxidante para futuras investigaciones.
- Emplear y evaluar la eficacia de las nanopartículas y sus efectos combinados con otro tipo de fertilizante en futuros cultivos.
- Utilizar otras fuentes de selenio y extender el estudio a condiciones de campo para evaluar su aplicabilidad en entornos reales del cultivo.

**CAPÍTULO VI**  
**BIBLIOGRAFÍA**

## 6.1. Bibliografía

- Achibat, H., AlOmari, N. A., Messina, F., Sancineto, L., Khouili, M., y Santi, C. (2015). Organoselenium Compounds as Phytochemicals from the Natural Kingdom. *Natural Product Communications*, 10(11), 8-12.
- Allende, M. (2017). *Importancia y consideraciones del cultivo de tomate*. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Aslani, F., Bagheri, S., Julkapli, N. M., Juraimi, A. S., Hashemi, F. S., y Baghdadi, A. (2014). Effects of Engineered Nanomaterials on Plants Growth: An Overview. *The Scientific World Journal*, 2014, 23-26.
- Bano, E. I., Sajjad, H. H., y Reza, R. (2021). Importance of Micro-nutrient Supplementation for Livestock a Mini-Review. *Acta Scientific Veterinary Sciences*, 3, 54-57.
- Becvort-Azurra, A., Fuentes-Lara, L. O., Benavides-Mendoza, A., Ramírez, H., Robledo-Torres, V., y Rodríguez-Mendoza, M. d. (2012). Application of selenium in tomato: effects on plant growth, productivity and fruit antioxidant status. *Terra Latinoamericana*, 30(4), 5-8.
- Bravo-Zamora, R., Villafuerte-Barreto, A., Peñarrieta-Bravo, S., Parrales, F. S., Zambrano-Gavilanes, F., y Fimia-Duarte, R. (2020). Diagnóstico de uso e impactos de plaguicidas en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en la parroquia Riochico, cantón Portoviejo, provincia de Manabí, Ecuador. *The Biologist (Lima)*, 18(1), 105-118.
- Bruinsma, J. (2017). *World Agriculture: Towards 2015/2030: An FAO Study*. Londres: Routledge.
- Chauhan, R., Awasthi, S., Tripathi, P., Mishra, S., Dwivedi, S., Niranjana, A., Mallick, S., Tripathi, P., Pande, V., y Tripathi, R. D. (2017). Selenite modulates the level of phenolics and nutrient element to alleviate the toxicity of arsenite in rice (*Oryza sativa* L.). *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 138, 47-55.
- CNA. (12 de Febrero de 2023). *Instituto Nacional de Estadística y Censos. 2000*. <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-nacional-agropecuario/>

- El-Ramady, H., Abdalla, N., Taha, H. S., Alshaal, T., El-Henawy, A., Faizy, S. E.-D., Shams, M. S., Youssef, S. M., Shalaby, T., Bayoumi, Y., Elhawat, N., Shehata, D., Sztrik, A., Prokisch, J., y Fári, M. (2015). Selenium and nano-selenium in plant nutrition. *Environmental Chemistry Letters*, 14, 123–147.
- Endara, V. H. (2011). *Evaluación de la calidad poscosecha en genotipos mejorados e injertos de tomate de árbol (Solanum betaceum Cav)*. Quito: Escuela Politecnica Nacional .
- EPPO. (28 de Octubre de 1996). *EPPO Global Database. Solanum lycopersicum(LYPES)*. <https://gd.eppo.int/taxon/LYPES>
- FAOSTAT. (18 de Abril de 2022). *Food and Agriculture Data*. <https://www.fao.org/faostat/es/>
- Fernandez, P. (10 de Marzo de 2012). *Natura Sysart*. <https://natura.sysart.net/tomate-saint-pierre-uno-de-los-tomates-mas-sabrosos-que-existen/>
- Fraser, P. D., Truesdale, M. R., Bird, C. R., Schuch, W., y Bramley, P. M. (1994). Carotenoid Biosynthesis during Tomato Fruit Development (Evidence for Tissue-Specific Gene Expression). *Plant Physiology*, 105(1), 405-413.
- Galić, L., Vinković, T., Ravnjak, B., y Lončarić, Z. (2021). Agronomic Biofortification of Significant Cereal Crops with Selenium—A Review. *Agronomy*, 11(5), 1015.
- Garza-Garcia, J. J., Hernandez-Diaz, J. A., Zamudio-Ojeda, A., Leon-Morales, J. M., Guerrero-Guzman, A., Sanchez-Chipres, D. R., Lopez-Velazquez, J. C., y Garcia-Morales, S. (2021). The Role of Selenium Nanoparticles in Agriculture and Food Technology. *Biological Trace Element Research* , 2022(200), 2528-2548.
- Germ, M., y Stibilj, V. (2007). Selenium and plants. *Acta agriculturae Slovenica*, 89(1), 1-10.
- Germ, M., Kreft, I., y Osvald, J. (2005). Influence of UV-B exclusion and selenium treatment on photochemical efficiency of photosystem II, yield and respiratory potential in pumpkins (*Cucurbita pepo* L.). *Plant Physiology and Biochemistry*, 43(5), 445-448.
- Gierson, D., y Kader, A. A. (1986). Fruit ripening and quality. *A Scientific Basis for Improvement*, 241-280.

- Gómez, O., Casanova, A., Cardoza, H., Piñeiro, F., Hernández, J., Murguido, C., León, M., y Hernández, A. (2010). *Guía técnica para la producción del cultivo del tomate*. La Habana: Asociación Cubana de Técnicos Agrícolas y Forestales.
- Gudkov, S. V., Shafeev, G. A., Glinushkin, A. P., Shkirin, A. V., Barmina, E. V., Rakov, I. I., Simakin, A. V., Kislov, A. V., Astashev, M. E., Vodeneev, V. A., y Kalinitchenko, V. P. (2020). Production and Use of Selenium Nanoparticles as Fertilizers. *ACS Omega*, 5(28), 17767-17774.
- Gupta, M., y Gupta, S. (2017). An Overview of Selenium Uptake, Metabolism, and Toxicity in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 7(2074), 1-13.
- Gupta, S., y Pandey, S. (2020). Enhanced salinity tolerance in the common bean (*Phaseolus vulgaris*) plants using twin ACC deaminase producing rhizobacterial inoculation. *Rhizosphere*, 16.
- Haefl, V. (2008). *Tomates*. Buenos Aires: Trillas.
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M. B., Raza, A., Hawrylak-Nowak, B., Matraszek-Gawron, R., Mahmud, J. A., Nahar, K., y Fujita, M. (2020). Selenium in plants: Boon or bane? *Environmental and Experimental Botany*, 178(104170), 11.
- Hemaprabha, E., y Balasaraswathi, R. (2008). Internal quality characterization and isolation of lycopene specific genes from tomato. *Journal of Applied Horticulture*, 10(1), 24-29.
- Hochella, M. F., JR., S. K., Maurice, P. A., Penn, R. L., Sahai, N., Sparks, D. L., y Twining, B. S. (2008). Nanominerals, mineral nanoparticles, and earth systems. *Science*, 319(5870), 1631-1635.
- Hussein, H.-A. A., Darwesh, O. M., y Mekki, B. (2019). Environmentally friendly nano-selenium to improve antioxidant system and growth of groundnut cultivars under sandy soil conditions. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 18(101080), 7-10.
- INEC. (5 de Febrero de 2023). *Instituto Nacional de Estadísticas y Censos*. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Presentaciones/espac\\_2010.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/wp-content/descargas/Presentaciones/espac_2010.pdf)
- Infoagro Systems, S. (2015). El cultivo del tomate. 1ª parte. *Agroinformacion*, 1-2.

- INIAP. (2008). *Guía de cultivos*. Quito: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina. (Manual no. 72).
- Jackson, W. (1967). Physiological effects of soil acidity. In: Pearson RWAdams F, eds. Soil acidity and liming. *American Society of Agronomy*, 43-124.
- Jaramillo, J., Rodriguez, V., Guzman, M., Zapata, M., y Rengifo, T. (2007). Manual Técnico Buenas Prácticas Agrícolas –Bpa En La producción de Tomate Bajo Condiciones Protegidas. Antioquia: Fao.
- Józwiak, W., y Politycka, B. (2019). Effect of Selenium on Alleviating Oxidative Stress Caused by a Water Deficit in Cucumber Roots. *Plants* , 8(7), 217.
- Kabata, A., y Mukherjee, A. B. (2007). Trace Elements from Soil to Human. *Springer Science y Business Media*, 23.
- Kader, A. A. (2002). Postharvest biology and technology: an overview. *Division of Agriculture and Natural Resources*, 15-20.
- Kaur, N., Sharma, S., Kaur, S., y Nayyar, H. (2014). Selenium in agriculture: a nutrient or contaminant for crops? *Archives of Agronomy and Soil Science*, 60(12), 1593-1624.
- Kong, H., Yang, J., Zhang, Y., Fang, Y., Nishinari, K., y Phillips, G. O. (2014). Synthesis and antioxidant properties of gum arabic-stabilized selenium nanoparticles. *International Journal of Biological Macromolecules*, 65, 155-162.
- Kuznetsov, V. V., Kholodova, V. P., Kuznetsov, V. V., y Yagodin, B. A. (2003). Selenium Regulates the Water Status of Plants Exposed to Drought. *Doklady Biological Sciences*, 390(1), 266–268.
- Lanza, M. G., y Reis, A. R. (2021). Roles of selenium in mineral plant nutrition: ROS scavenging responses against abiotic stresses. *Plant Physiology and Biochemistry*, 164, 27-43.
- Li, X., Xu, H., Chen, Z.-S., y Chen, G. (2011). Biosynthesis of nanoparticles by microorganisms and their applications. *Journal of Nanomaterials*, 2011(270974), 1-16.
- Lopez, H. U., y Parrado, C. A. (2004). *Buenas prácticas agrícolas en sistemas de producción de tomate bajo invernadero*. Bogota : Universidad de Bogota Jorge Tadeo Lozano.

- López-Gutiérrez, M. d., Benavides-Mendoza, A., Ortega-Ortíz, H., Valdez-Aguilar, L. A., Fuente, M. C.-D., y Sandoval-Rangel, A. (2015). Selenio y su efecto en el estado antioxidante y la composición mineral de la lechuga. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 6, 2257-2262.
- Luo, H., He, L., Du, B., Pan, S., Mo, Z., Duan, M., Tian, H., y Tang, X. (2020). Biofortification with chelating selenium in fragrant rice: Effects on photosynthetic rates, aroma, grain quality and yield formation. *Field Crops Research*, 255(107909), 20-21.
- Madhavi, D., y Salunkhe, D. (1998). *Handbook of vegetable science and technology : production, composition, storage, and processing*. New York: Marcel Dekker.
- Martínez, J., Salinas, L., Farías, K., y Blanco, C. (2019). *Aspectos técnicos de cultivo, riego y nutrición en lechuga, tomate y melón para la zona central de Chile*. Santiago de Chile: INIA - Instituto de Investigaciones Agropecuarias.
- Morales-Espinoza, M. C., Cadenas-Pliego, G., Pérez-Alvarez, M., Hernández-Fuentes, A. D., Fuente, M. C., Benavides-Mendoza, A., Valdés-Reyna, J., y Juárez-Maldonado, A. (2019). Se Nanoparticles Induce Changes in the Growth, Antioxidant Responses, and Fruit Quality of Tomato Developed under NaCl Stress. *Molecules*, 24(17), 18.
- Mozafariyan, M., Shekari, L., Hawrylak-Nowak, B., y Kamelmanesh, M. M. (2014). Protective role of selenium on pepper exposed to cadmium stress during reproductive stage. *Biol Trace Elem Res.*, 160, 97-107.
- Munns, R., y Tester, M. (2008). Mechanisms of Salinity Tolerance. *Rev. Plant Biol*, 59, 651–681.
- Nangare, D., Singh, Y., Kumar, P. S., y Minhas, P. (2016). Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis. *Agricultural Water Management*, 73-79.
- Navarro, I., y Periago, M. J. (2016). El tomate, ¿alimento saludable y/o funcional? *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 323-335.
- Nawaz, F., Ashraf, M. Y., Ahmad, R., Waraich, E. A., y Shabbir, R. N. (2014). Selenium (Se) Regulates Seedling Growth in Wheat under Drought Stress. *Advances in Chemistry*, 2014(143567), 7.

- Nawaz, M. A., Wang, L., Jiao, Y., Chen, C., Zhao, L., Mei, M., Yu, Y., Bie, Z., y Huang, Y. (2017). Pumpkin rootstock improves nitrogen use efficiency of watermelon scion by enhancing nutrient uptake, cytokinin content, and expression of nitrate reductase genes. *Plant Growth Regulation*, 82, 233-246.
- Ortega, A. F., Soto, G. M., Ramírez, J. C., Serrano, F. R., y Valdez, M. E. (2012). Análisis de la transmitancia de luz en un invernadero para producción de jitomate. *Redalyc.org*, 22(1), 5-10.
- Parmar, U., Tembhre, D., Das, M., y Pradhan, J. (2019). Effect of integrated nutrient management on growth development and yield traits of tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*, 8(3), 2764-2768.
- Perez, R. A., Brito, J. D., Guerra, Y. R., y Soria, S. (2016). Indicadores morfológicos y productivos del cultivo de tomate en invernadero con manejo agroecológico en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana. *Centro Agrícola*, 43(1), 71-76.
- Pezzarossa, B., Remorini, D., Gentile, M. L., y Massai, R. (2011). Effects of foliar and fruit addition of sodium selenate on selenium accumulation and fruit quality. *Science of Food and Agriculture*, 92(4), 781-786.
- Pezzarossa, B., Rosellini, I., Borghesi, E., Tonutti, P., y Malorgio, F. (2014). Effects of Se-enrichment on yield, fruit composition and ripening of tomato (*Solanum lycopersicum*) plants grown in hydroponics. *Scientia Horticulturae*, 165, 106-110.
- Popović, A. V., Čamagajevac, I. Š., Vuković, R., Matić, M., Gupta, D. K., y Lončarić, Z. (2023). Morpho-Physiological and Antioxidative Responses of Wheat Seedlings to Different Forms of Selenium. *Agriculture*, 13(8), 1632.
- Power, J. F., y Prasad, R. (1997). Soil fertility management for sustainable agriculture. *Lewis Publishers. Boca Raton, 1st Edition*, 356.
- Puccinelli, M., Malorgio, F., Terry, L. A., Tosetti, R., Rosellini, I., y Pezzarossa, B. (2018). Effect of selenium enrichment on metabolism of tomato (*Solanum lycopersicum*) fruit during postharvest ripening. *Science of Food and Agriculture*, 99(5), 5-10.
- Rady, M. M., Belal, H. E., Gadallah, F. M., y Semida, W. M. (2020). Selenium application in two methods promotes drought tolerance in *Solanum lycopersicum* plant by inducing the antioxidant defense system. *Scientia Horticulturae*, 266, 109290.

- Rahim, F. P., Rocio, C. G., Adalberto, B. M., Rosaura, S. C., y Maginot, N. H. (2020). Agronomic Biofortification with Selenium in Tomato Crops (*Solanum lycopersicon* L. Mill). *Agriculture*, 10(10), 486.
- Reddy, P. V., Hernandez-Viezcas, J., Peralta-Videa, J., y Gardea-Torresdey, J. (2016). Lessons learned: Are engineered nanomaterials toxic to terrestrial plants? *Science of The Total Environment*, 568, 470–479.
- Sani-e-Zahra, Iqbal, M. S., Abbas, K., y Qadir, M. I. (2022). Synthesis, characterization and evaluation of biological properties of selenium nanoparticles from *Solanum lycopersicum*. *Arabian Journal of Chemistry*, 15(7), 12.
- Sattar, A., Naveed, M., Ali, M., Zahir, Z. A., Nadeem, S. M., Yaseen, M., Meena, V. S., Farooq, M., Singh, R., Rahman, M., y Meena, H. N. (2019). Perspectives of potassium solubilizing microbes in sustainable food production system: A review. *Applied Soil Ecology*, 133, 146-159.
- Schiavon, M., dall'Acqua, S., Mietto, A., Pilon-Smits, E. A., Sambo, P., Masi, A., y Malagoli, M. (2013). Selenium Fertilization Alters the Chemical Composition and Antioxidant Constituents of Tomato (*Solanum lycopersicon* L.). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 61(44), 10542–10554.
- Schwarz, K., y Foltz, C. M. (1957). Selenium as an Integral Part of Factor 3 against Dietary Necrotic Liver Degeneration. *American Chemical Society*, 79(12), 3292–3293.
- Skalickova, S., Milosavljevic, V., Cihalova, K., Horoky, P., Richtera, L., y Adam, V. (2017). Selenium nanoparticles as a nutritional supplement. *Nutrition*, 33, 83-90.
- Subramanyam, K., Laing, G. D., y Damme, E. J. (2019). Sodium Selenate Treatment Using a Combination of Seed Priming and Foliar Spray Alleviates Salinity Stress in Rice. *Frontiers in plant science*, 10, 116.
- Velásquez, K. A., Logroño, V. R., y Struve, M. T. (2000). *Proyecto de cultivo de tomate para cubrir la demanda insatisfecha de la Industria Ecuatoriana*. Guayaquil: Escuela Superior Politecnica del Litoral.
- Villa-Martínez, A., Pérez-Leal, R., Morales-Morales, H. A., Basurto-Sotelo, M., Soto-Parra, J. M., y Martínez-Escudero, E. (2015). Situación actual en el control de *Fusarium*

spp. y evaluación de la actividad antifúngica de extractos vegetales. *Acta Agronómica*, 194-205.

Visioli, F., Riso, P., Grande, S., Galli, C., y Porrini, M. (2003). Protective activity of tomato products on in vivo markers of lipid oxidation. *European Journal of Nutrition*, 201-206.

Xue, T., Hartikainen, H., y Piironen, V. (2001). Antioxidative and growth-promoting effect of selenium on senescing lettuce. *Plant and Soil*, 237, 55-61.

Zsiros, O., Nagy, V., Párducz, Á., Nagy, G., Ünneper, R., El-Ramady, H., Prokisch, J., Lisztes-Szabó, Z., Fári, M., Csajbók, J., Tóth, S. Z., Garab, G., y Domokos-Szabolcsy, É. (2019). Effects of selenate and red Se-nanoparticles on the photosynthetic apparatus of *Nicotiana tabacum*. *Photosynthesis Research*, 139, 449-460.

## **CAPÍTULO VII**

### **ANEXOS**

## 7.1. Anexos

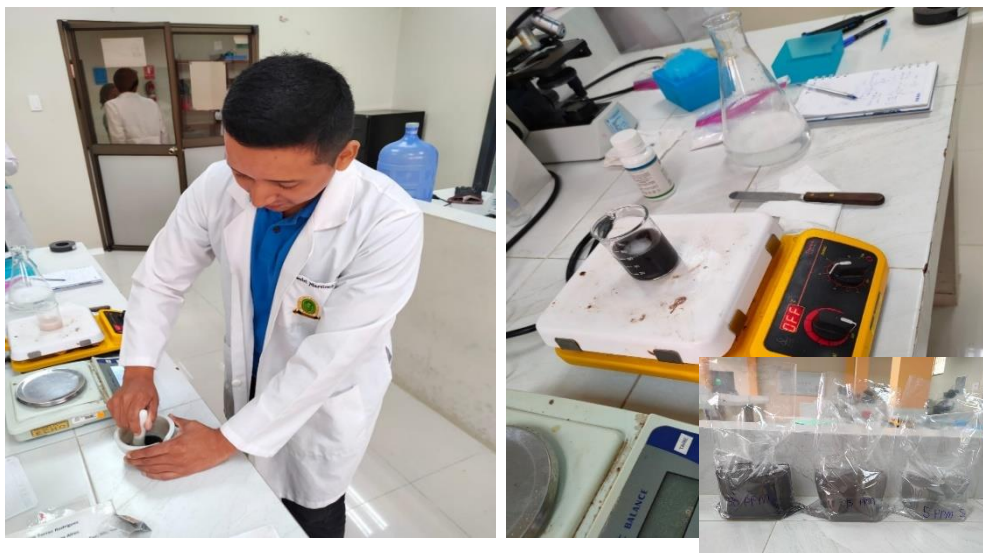
### Anexo A. Elaboración de sustrato y semilleros.



### Anexo B. Llenado de fundas y trasplante.



**Anexo C. Preparación de dosis de nanopartículas.**



**Anexo D. Aplicación de nanopartículas.**



**Anexo E.** Toma de datos longitud y diámetro del tallo.



**Anexo F.** Toma de datos flores y frutos.



## Anexo G. Grados de madurez fisiológica



Grado 1.- Verde maduro

Grado 2.- Inicio de color

Grado 3.- Pintón

Grado 4.- Rosado

Grado 5.- Rojo pálido

Grado 6.- Rojo

## Anexo H. Cosecha.



**Anexo I.** Toma de datos productividad.



**Anexo J.** Toma de datos longitud de la raíz.



**Anexo K.** Análisis de varianza de la variable longitud del tallo a los 30, 45 y 60 días.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Longitud del tallo	200	0,47	0,46	9,95

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6999,60	4	1749,90	44,02	<0,0001
Tatramientos	6999,60	4	1749,90	44,02	<0,0001
Error	7751,09	195	39,75		
Total	14750,69	199			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,85257

Error: 39,7492 gl: 195

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
2	71,23	40	1,00	A
5	68,20	40	1,00	A
3	64,00	40	1,00	B
1	56,89	40	1,00	C
4	56,48	40	1,00	C

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

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Longitud del tallo	200	0,34	0,33	5,62

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3109,66	4	777,42	25,17	<0,0001
Tatramientos	3109,66	4	777,42	25,17	<0,0001
Error	6023,02	195	30,89		
Total	9132,68	199			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,39607

Error: 30,8873 gl: 195

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
2	106,28	40	0,88	A
5	99,38	40	0,88	B
3	97,11	40	0,88	B C
1	96,76	40	0,88	B C
4	94,99	40	0,88	C

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

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Longitud del tallo	200	0,68	0,67	4,20

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	10231,01	4	2557,75	101,62	<0,0001
Tatramientos	10231,01	4	2557,75	101,62	<0,0001
Error	4907,97	195	25,17		
Total	15138,98	199			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=3,06563

Error: 25,1691 gl: 195

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
2	131,09	40	0,79	A
5	122,46	40	0,79	B
1	118,14	40	0,79	C
3	115,06	40	0,79	D
4	109,94	40	0,79	E

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

**Anexo L.** Análisis de la varianza de la variable diámetro del tallo a los 30, 45 y 60 días.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro del tallo	200	0,44	0,43	15,64

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	119,87	4	29,97	38,34	<0,0001
Tatramientos	119,87	4	29,97	38,34	<0,0001
Error	152,43	195	0,78		
Total	272,30	199			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,54026

Error: 0,7817 gl: 195

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
2	6,91	40	0,14	A
5	5,99	40	0,14	B
1	5,47	40	0,14	B C
3	5,30	40	0,14	C
4	4,59	40	0,14	D

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

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro del tallo	200	0,62	0,61	10,80

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	219,67	4	54,92	80,27	<0,0001
Tatramientos	219,67	4	54,92	80,27	<0,0001
Error	133,41	195	0,68		
Total	353,08	199			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,50544

Error: 0,6842 gl: 195

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
2	9,38	40	0,13	A
5	8,10	40	0,13	B
1	7,46	40	0,13	C
3	7,12	40	0,13	C
4	6,24	40	0,13	D

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

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Diámetro del tallo	200	0,72	0,71	8,71

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	329,59	4	82,40	123,07	<0,0001
Tatramientos	329,59	4	82,40	123,07	<0,0001
Error	130,55	195	0,67		
Total	460,14	199			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,49999

Error: 0,6695 gl: 195

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
2	11,73	40	0,13	A
5	9,59	40	0,13	B
3	8,87	40	0,13	C
1	8,84	40	0,13	C
4	7,92	40	0,13	D

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

## Anexo M. Análisis de la varianza de la variable longitud de la raíz.

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Longitud de Raiz	200	0,21	0,20	9,69

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	763,48	4	190,87	13,35	<0,0001
Tatramientos	763,48	4	190,87	13,35	<0,0001
Error	2788,61	195	14,30		
Total	3552,10	199			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=2,31081

Error: 14,3006 gl: 195

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
5	41,49	40	0,60	A
2	40,03	40	0,60	A B
3	39,96	40	0,60	A B
1	37,85	40	0,60	B C
4	35,90	40	0,60	C

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

## Anexo N. Análisis de la varianza de la variable diámetro polar del fruto.

### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DPF	200	0,54	0,53	13,46

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	76,19	4	19,05	57,12	<0,0001
Tatramientos	76,19	4	19,05	57,12	<0,0001
Error	65,03	195	0,33		
Total	141,22	199			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,35287

Error: 0,3335 gl: 195

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
2	5,39	40	0,09	A
3	4,40	40	0,09	B
5	4,18	40	0,09	B C
1	3,94	40	0,09	C
4	3,56	40	0,09	D

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

**Anexo O.** Análisis de la varianza de la variable diámetro ecuatorial del fruto.

**Análisis de la varianza**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DEF	199	0,53	0,52	12,32

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	78,74	4	19,68	53,61	<0,0001
Tatramientos	78,74	4	19,68	53,61	<0,0001
Error	71,24	194	0,37		
Total	149,97	198			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,37123

Error: 0,3672 gl: 194

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
2	6,03	40	0,10	A
3	5,00	40	0,10	B
5	4,92	40	0,10	B
1	4,43	39	0,10	C
4	4,21	40	0,10	C

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

**Anexo P.** Análisis de la varianza de la variable número de flores.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
No. Flores	200	0,24	0,22	15,34

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	42,68	4	10,67	15,18	<0,0001
Tatramientos	42,68	4	10,67	15,18	<0,0001
Error	137,08	195	0,70		
Total	179,76	199			

Test: Tukey Alfa=0,05 DMS=0,51233

Error: 0,7029 gl: 195

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
2	6,10	40	0,13	A
5	5,88	40	0,13	A B
3	5,40	40	0,13	B C
1	5,05	40	0,13	C
4	4,90	40	0,13	C

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

**Anexo Q.** Análisis de la varianza de la variable número de frutos.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
No. Frutos	200	0,35	0,34	20,99

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	48,97	4	12,24	26,23	<0,0001
Tatramientos	48,97	4	12,24	26,23	<0,0001
Error	91,03	195	0,47		
Total	140,00	199			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,41749

Error: 0,4668 gl: 195

Tatramientos	Medias	n	E.E.	
2	3,95	40	0,11	A
5	3,63	40	0,11	A
1	3,18	40	0,11	B
3	3,00	40	0,11	B
4	2,53	40	0,11	C

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

**Anexo R.** Análisis de la varianza de la variable rendimiento Kg/parcela.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Peso kg /parcela	20	0,92	0,90	7,07

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,15	4	0,04	43,13	<0,0001
Tratamientos	0,15	4	0,04	43,13	<0,0001
Error	0,01	15	8,4E-04		
Total	0,16	19			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,06332

Error: 0,0008 gl: 15

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
2	0,54	4	0,01	A
5	0,47	4	0,01	B
3	0,39	4	0,01	C
1	0,35	4	0,01	C D
4	0,30	4	0,01	D

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

**Anexo S.** Análisis de la varianza de la variable acidez del fruto.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Acidez	15	0,98	0,97	3,20

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,05	4	0,01	133,58	<0,0001
Tratamientos	0,05	4	0,01	133,58	<0,0001
Error	8,7E-04	10	8,7E-05		
Total	0,05	14			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,02502

Error: 0,0001 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
4	0,37	3	0,01	A
3	0,33	3	0,01	B
5	0,28	3	0,01	C
1	0,27	3	0,01	C
2	0,21	3	0,01	D

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

**Anexo T.** Análisis de la varianza de la variable solidos solubles totales.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Brix	15	0,91	0,88	5,01

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5,03	4	1,26	25,86	<0,0001
Tratamientos	5,03	4	1,26	25,86	<0,0001
Error	0,49	10	0,05		
Total	5,52	14			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,59280

Error: 0,0487 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
2	5,33	3	0,13	A
3	4,57	3	0,13	B
1	4,30	3	0,13	B
5	4,27	3	0,13	B
4	3,53	3	0,13	C

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

**Anexo U.** Análisis de la varianza de la variable Vitamina C.

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Vit C	15	1,00	1,00	0,31

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	214,87	4	53,72	20451,04	<0,0001
Tratamientos	214,87	4	53,72	20451,04	<0,0001
Error	0,03	10	2,6E-03		
Total	214,90	14			

Test:Tukey Alfa=0,05 DMS=0,13772

Error: 0,0026 gl: 10

Tratamientos	Medias	n	E.E.	
2	23,55	3	0,03	A
5	17,27	3	0,03	B
1	16,47	3	0,03	C
3	14,32	3	0,03	D
4	12,38	3	0,03	E

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