



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

Trabajo de Integración Curricular
previo a la obtención del Grado
Académico de Ingeniero
Agrónomo

Proyecto de Investigación:

“VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA DE QUITOSANO EN CARACTERES
AGRONÓMICOS Y PRODUCTIVIDAD DE *Solanum lycopersicum* (TOMATE)
MEDIANTE APLICACIÓN EDÁFICA”

Autor:

Evelyn Geraldine Nieves Sánchez

Director del Proyecto de Investigación:

Ing. Luis Tarquino Llerena Ramos MSc.

Quevedo – Los Ríos – Ecuador

2024



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Evelyn Geraldine Nieves Sánchez**, declaro que la investigación aquí descrita 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.

Evelyn Geraldine Nieves Sánchez
C.I. 0940371727



CERTIFICACIÓN DE CULMINACIÓN DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

El suscrito, **Ing. Luis Tarquino Llerena Ramos, MSc.** Docente de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo, certifica que el estudiante Evelyn Geraldine Nieves Sánchez, realizó el Proyecto de investigación de grado titulado “**Valoración de la eficiencia de quitosano en caracteres agronómicos y productividad de *Solanum lycopersicum* (tomate) mediante aplicación edáfica.**”, previo a la obtención del título 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 Tarquino Llerena Ramos, MSc.**, mediante el presente cumpla en presentar a usted, el informe del Proyecto de Investigación titulado **“Valoración de la eficiencia de quitosano en caracteres agronómicos y productividad de *Solanum lycopersicum* (tomate) mediante aplicación edáfica”**, presentado por el estudiante Evelyn Geraldine Nieves Sánchez, egresado 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 COMPILATIO el cual avala los niveles de originalidad en un 92% y similitud 8%, del trabajo investigativo. Valido este documento para que el estudiante siga con los trámites pertinentes, de acuerdo como lo establece el Reglamento.

**CERTIFICADO DE ANÁLISIS**
magister

Proyecto de Investigación Evelyn Nieves Sánchez

8%
Textos sospechosos

4% Similitudes
0% similitudes entre comillas
0% entre las fuentes mencionadas

4% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: Proyecto de Investigación Evelyn Nieves Sánchez.docx ID del documento: 4dd5363aa0132f7c642eb0fbd441dae645059ac Tamaño del documento original: 385,11 kB Autores: []	Depositante: LUIS TARQUINO LLERENA RAMOS Fecha de depósito: 20/11/2024 Tipo de carga: interface fecha de fin de análisis: 20/11/2024	Número de palabras: 12.471 Número de caracteres: 80.052
--	---	--

.....

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:

“Valoración de la eficiencia de quitosano en caracteres agronómicos y productividad de
Solanum lycopersicum (tomate) mediante aplicación edáfica.”

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

Aprobado por:

PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

Ing. Pablo Cesar Ramos Corrales, PhD.

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Freddy Javier Guevara Santana, MSc

MIEMBRO DEL TRIBUNAL

Ing. Carlos Luis Sánchez Fonseca, PhD.

QUEVEDO – LOS RÍOS – ECUADOR

2024

AGRADECIMIENTO

Con profunda gratitud, expreso mi más sincero agradecimiento a la Universidad Técnica Estatal de Quevedo por brindarme la oportunidad de realizar mis estudios en una institución de tan alto prestigio y por proporcionarme los recursos necesarios para llevar a cabo mi investigación en el invernadero.

Quiero expresar mi gratitud al Ing. Luis Llerena Ramos, MSc., por su invaluable apoyo y orientación durante el desarrollo de mi trabajo de investigación. Agradezco su paciencia y constante motivación, que me han inspirado a superar los desafíos y alcanzar mis metas.

Finalmente, extendiendo mi sincero agradecimiento a mi tribunal de tesis por sus valiosos conocimientos y recomendaciones, los cuales han sido fundamentales para el desarrollo de este proyecto de investigación.

DEDICATORIA

Con el corazón rebosante de amor y gratitud, elevo mi dedicatoria a Dios, fuente inagotable de amor, sabiduría y fortaleza, quien ha iluminado mi camino hacia este logro. Sin su ayuda y bendición, nada de esto hubiera sido posible.

A mis padres, Xavier Nieves y Nury Sánchez, pilares fundamentales de mi vida, quienes con su amor incondicional, apoyo inquebrantable y valores inculcados me han impulsado a alcanzar mis sueños. Gracias por creer en mí desde el primer momento, por sus sacrificios y por enseñarme el valor del trabajo duro y la perseverancia.

A mis hermanos, Samuel y Kevin, por ser una fuente constante de motivación y alegría. Su apoyo y compañerismo han sido vitales en este camino.

A mis amigos y futuros colegas, quienes han estado presentes en cada paso de este camino, ofreciéndome su apoyo y amistad.

Evelyn Geraldine Nieves Sánchez

RESUMEN

En Ecuador, el tomate es un alimento básico en la dieta diaria y su cultivo genera empleo. Sin embargo, la creciente demanda de fertilizantes y los problemas fitosanitarios causados por plagas, nematodos y hongos han llevado al uso frecuente de agroquímicos, impactando negativamente el medio ambiente y la salud humana. El quitosano surge como una alternativa para reducir el uso de agroquímicos y mejorar la productividad. Este estudio tuvo como objetivo valorar la eficiencia de quitosano en caracteres agronómicos y productividad de *Solanum lycopersicum* (tomate) mediante aplicación edáfica, evaluando específicamente su efecto en el crecimiento y desarrollo de la variedad de tomate Naty F1 bajo condiciones de invernadero, empleando un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). Los resultados mostraron que las cuatro dosis de quitosano aplicadas tuvieron efectos positivos en las variables evaluadas. La aplicación de quitosano en concentraciones de 6, 8 y 10 mg L⁻¹ incrementó significativamente el crecimiento de las plantas en comparación con el control. Las plantas tratadas con 10 mg L⁻¹ de quitosano alcanzaron el mayor crecimiento, confirmando su función como bioestimulante. En cuanto a la producción, el tratamiento con 8 mg L⁻¹ (T3) produjo frutos con un diámetro promedio de 1,30 cm, sin diferencias significativas con el tratamiento de 10 mg L⁻¹ (T4), aunque T4 registró el mayor peso promedio de 201,63 g por fruto. Esto sugiere que el efecto del quitosano en el peso del fruto se estabiliza a partir de los 8 mg L⁻¹. En conclusión, los tratamientos T3 y T4 resultaron ser los más rentables, destacándose T4 por su rendimiento, ingreso neto y rentabilidad, siendo la opción más recomendada para su aplicación.

Palabras clave: quitosano, bioestimulante, productividad.

ABSTRACT

In Ecuador, tomatoes are a staple food in the daily diet, and their cultivation generates employment. However, the increasing demand for fertilizers and phytosanitary issues caused by pests, nematodes, and fungi have led to the frequent use of agrochemicals, negatively impacting the environment and human health. Chitosan emerges as an alternative to reduce agrochemical use and improve productivity. This study aimed to evaluate the efficiency of chitosan on agronomic traits and productivity of *Solanum lycopersicum* (tomato) through soil application, specifically assessing its effect on the growth and development of the Naty F1 tomato variety under greenhouse conditions, using a Randomized Complete Block Design (RCBD). The results showed that the four doses of chitosan applied had positive effects on the evaluated variables. The application of chitosan at concentrations of 6, 8 and 10 mg L⁻¹ significantly increased plant growth compared to the control. Plants treated with 10 mg L⁻¹ of chitosan achieved the highest growth, confirming its function as a bioestimulant treatment. Regarding production, the treatment with 8 mg L⁻¹ (T3) produced fruits with an average diameter of 1.30 cm, without significant differences with the 10 mg L⁻¹ treatment (T4), although T4 recorded the highest average weight of 201.63 g per fruit. This indicates that the effect of Chitosano on fruit weight stabilizes above 8 mg L⁻¹. In conclusion, treatments T3 and T4 turned out to be the most profitable, with T4 standing out for its performance, net income and profitability, being the most recommended option for its application.

Keywords: Chitosano, bioestimulant treatment, productivity.

TABLA DE CONTENIDO

CUBIERTA Y PORTADA	i
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN 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 APROBACION POR TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN.....	v
AGRADECIMIENTO.....	vi
DEDICATORIA.....	vii
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
TABLA DE CONTENIDO	x
CÓDIGO DUBLÍN	xvii
Introducción.....	1
CAPÍTULO I._CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	
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	
2.1. Marco conceptual.....	9
2.1.1. <i>Tomate Solanum lycopersicum</i>	9
2.1.2. Productividad.....	9
2.1.3. Bioestimulantes.....	9
2.1.4. Caracteres agronómicos.....	9
2.1.5. Quitosano	10
2.2. Marco referencial.....	10
2.2.1. <i>Origen de tomate Solanum lycopersicum</i>	10
2.2.2. <i>Tomate Solanum lycopersicum</i>	10

2.2.3. Taxonomía del tomate.....	11
2.2.4. Variedades de tomate	11
2.2.4.1. Amalia.	12
2.2.4.2. Florade.....	12
2.2.5. <i>Descripción botánica y morfológica</i>	13
2.2.5.1. Semilla.....	13
2.2.5.2. Sistema radicular.	14
2.2.5.3. Tallo principal.....	15
2.2.5.4. Hojas.....	15
2.2.5.5. Flor.....	15
2.2.5.6. Fruto.....	16
2.2.6. <i>Requerimientos edafoclimáticos</i>	16
2.2.6.1. Temperatura.	16
2.2.6.2. Humedad.	16
2.2.6.3. Luminosidad.	17
2.2.6.4. Métodos de fertilización.	17
2.2.6.5. Fertilización Edáfica.	17
2.2.6.6. Fertilización foliar.	18
2.2.7. <i>Tipos de fertilizantes</i>	18
2.2.8. <i>Uso de bioestimulantes en la agricultura</i>	19
2.2.9. <i>Quitosano</i>	20
2.2.9.1. Propiedades del quitosano.....	21
2.2.9.2. Beneficios del quitosano en el cultivo de tomate.	21
2.2.9.3. Estimulador de crecimiento.	21
2.2.9.4. Protección de plántulas.....	22
2.2.9.5. Protección de productos postcosecha.....	22
2.2.9.6. El quitosano como potenciador de bioplaguicidas y biofertilización.....	22
2.2.10. <i>Estudios realizados en la aplicación de Quitosano como bioestimulante</i>	23
2.2.10.1. Influencia de un polímero de quitosano en el crecimiento y la actividad de enzimas defensivas en tomate (<i>Solanum lycopersicum</i>).	23
2.2.10.2. Influencia del tratamiento a semillas con quitosano en el crecimiento de plantas de tomate <i>Solanum lycopersicum</i>	24
2.2.10.3. Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (<i>Oryza sativa</i> L. Variedad sd20a).....	24

2.2.10.4. Evaluación de quitosano sobre el nematodo nodulador (<i>Meloidogyne</i> spp) en el cultivo de tomate (<i>solanum lycopersicum</i>).....	25
2.2.10.5. Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) en condiciones de invernadero. 26	

CAPÍTULO III._METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización	28
3.2. Tipo de Investigación	28
3.3. Método de investigación.....	28
3.4. Fuentes de recopilación de información.....	29
3.5. Diseño de la investigación.....	29
3.5.1. Factores de estudio	29
3.5.2. Tratamientos	29
3.5.3. Diseño experimental.....	30
3.6. Instrumentos de investigación	30
3.6.1. Manejo del experimento	30
3.6.1.1. Preparación del sustrato para el semillero.	31
3.6.1.2. Siembra en semilleros.	31
3.6.1.3. Llenado de macetas.	31
3.6.1.4. Trasplante de plántulas.....	31
3.6.1.5. Preparación de dosis de quitosano.....	31
3.6.1.6. Aplicación de quitosano.....	32
3.6.1.7. Tutorado y amarre.	32
3.6.1.8. Cosecha.....	32
3.6.2. Variables evaluadas.....	32
3.6.2.1. Longitud del tallo (cm).	32
3.6.2.2. Diámetro del tallo (cm).....	33
3.6.2.3. Número de flores por planta (U).....	33
3.6.2.4. Diámetro polar de los frutos (cm).....	33
3.6.2.5. Diámetro ecuatorial de los frutos (cm).	33
3.6.2.6. Peso de fruto por planta (g).	33
3.6.2.7. Rendimiento (Kg/ha).....	33
3.6.2.8. Análisis económico.	34
3.7. Tratamiento de los datos.....	34

3.8. Recursos humanos y materiales.....	34
3.8.1. Recursos humanos	34
3.8.2. <i>Materiales</i>	35
3.8.2.1. Material Genético.	35
3.8.2.2. Materiales agrícolas.	35
3.8.2.3. Materiales de oficina.	35
3.8.2.4. Materiales de campo.	35

CAPÍTULO IV._RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados.....	37
4.1.1. Altura de planta 30 días	37
4.1.2. Altura de planta 45 días	38
4.1.3. Altura de planta 60 días	39
4.1.4. Diámetro de tallo 30 días.....	40
4.1.5. Diámetros de tallo 45 días	41
4.1.6. Diámetro de tallo 60 días.....	42
4.1.7. Numero de flores	43
4.1.8. Diámetro polar	44
4.1.9. Diámetro ecuatorial	45
4.1.10. Peso fruto (g)	45
4.1.11. Rendimiento (kg/ha)	46
4.1.12. Análisis económico.....	47
4.2. Discusión	49

CAPITULO V._CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones.....	52
5.2. Recomendaciones	53

CAPITULO VI._BIBLIOGRAFIA

6.1. Bibliografía.....	55
------------------------	----

CAPITULO VII._ANEXOS

7.1. Anexos.....	62
------------------	----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Clacificación taxonomica del tomate	11
Tabla 2. Condiciones agroclimáticas del sitio experimental	28
Tabla 3. Tratamientos en estudio.....	30
Tabla 4. Esquema del análisis de varianza (DBCA) para Diseño de Bloques Completamente al Azar	30
Tabla 5. Analisis económicos	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Altura de planta 30 días	37
Figura 2. Altura de planta 45 días.....	38
Figura 3. Altura de planta 60 días	39
Figura 4. Diámetro de tallo 30 días	40
Figura 5. Diámetros de tallo 45 días.....	41
Figura 6. Diámetro de tallo 60 días	42
Figura 7. Número de flores.....	43
Figura 8. Diámetro polar	44
Figura 9. Diámetro ecuatorial.....	45
Figura 10. Peso fruto	46
Figura 11. Rendimiento	47

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo A. Preparación del sustrato.	62
Anexo B. Siembra en semillero.....	62
Anexo C. Trasplante de plántulas.	63
Anexo D. Toma de datos de altura.	63
Anexo E. Toma de datos de diámetro.	63
Anexo F. ADEVAS Análisis de la varianza altura a los 30 días.	63
Anexo G. ADEVAS Análisis de la varianza altura a los 45 días.....	64
Anexo H. ADEVAS Análisis de la varianza altura a los 60 días.....	64
Anexo I. ADEVAS Análisis de la varianza diámetro de tallo 30 días.....	64
Anexo J. ADEVAS Análisis de la varianza diámetro de tallo a los 45 días.....	65
Anexo K. ADEVAS Análisis de la varianza diámetro de tallo a los 60 días.....	65
Anexo L. ADEVAS Análisis de la varianza de Numero de flores	65
Anexo M. ADEVAS Análisis de la varianza de Diámetro polar.....	66
Anexo N. ADEVAS Análisis de la varianza diámetro ecuatorial de frutos.....	67
Anexo O. ADEVAS Análisis de la varianza peso de frutos.	67
Anexo P. ADEVAS Análisis de la varianza de rendimiento.	67
Anexo Q. Croquis del experimento.....	67
Anexo R. Datos del análisis económico.....	68

CÓDIGO DUBLÍN

Título:	“Valoración de la eficiencia de quitosano en caracteres agronómicos y productividad de <i>Solanum lycopersicum</i> (tomate) mediante aplicación edáfica”
Autor:	Evelyn Geraldine Nieves Sánchez
Palabras Clave:	Quitosano, bioestimulante, productividad
Fecha de publicación:	Noviembre, 2024
Editorial:	Quevedo: UTEQ, 2024
Resumen:	En Ecuador, el tomate es un alimento esencial en la dieta y su cultivo genera empleo. Sin embargo, el uso intensivo de agroquímicos debido a la alta demanda de fertilizantes y los problemas fitosanitarios causados por plagas, nematodos y hongos impacta negativamente el ambiente y la salud. El quitosano surge como alternativa para reducir estos químicos y mejorar la productividad. Este estudio valoró la eficiencia del quitosano en caracteres agronómicos y productividad de <i>Solanum lycopersicum</i> (tomate) mediante aplicación edáfica, usando un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA). Los resultados mostraron que las cuatro dosis de quitosano estimularon el crecimiento, destacando 10 mg/L⁻¹ por su mayor efecto. En producción, 8 mg/L⁻¹ generó frutos con buen tamaño y peso, mientras que 10 mg/L⁻¹ obtuvo frutos más pesados (201,63 g). Esto indica que el beneficio en peso se estabiliza a partir de 8 mg/L⁻¹. En conclusión, las dosis de 8 y 10 mg/L⁻¹ fueron las más efectivas, destacando 10 mg/L⁻¹ por su superioridad en rendimiento y rentabilidad.
Abstract:	In Ecuador, tomatoes are a staple food and their cultivation generates employment. However, the intensive use of agrochemicals due to high fertilizer demand and phytosanitary issues caused by pests, nematodes, and fungi negatively impacts the environment and health. Chitosan emerges as an alternative to reduce chemical usage and improve productivity. This study evaluated the efficiency of chitosan on agronomic traits and productivity of <i>Solanum lycopersicum</i> (tomato) through soil application, using a Randomized Complete Block Design (RCBD). Results showed that all four doses of chitosan stimulated plant growth, with 10 mg/L⁻¹ showing the greatest effect. Regarding production, 8 mg/L⁻¹ produced fruits with good size and weight, while 10 mg/L⁻¹ yielded heavier fruits (201.63 g). This suggests that weight benefits stabilize at 8 mg/L⁻¹. In conclusion, the 8 mg/L⁻¹ and 10 mg/L⁻¹ doses were the most effective, with 10 mg/L⁻¹ standing out for its superior yield and profitability.
Descripción:	85 hojas; dimensiones, 29 x 21 cm + CD – ROM 6162
URL:	

Introducción

En la actualidad, la hortaliza que tiene la mayor demanda en el mundo es el tomate *Solanum lycopersicum*, lo que impulsa su continua expansión en cultivo, producción y comercio (Florido y Álvarez, 2015). Según la FAO (2017), el tomate ha mantenido una producción estable en los últimos años, consolidándose como uno de los productos más importantes a nivel agrícola. Demesio et al. (2016) también coinciden en que este producto es esencial para el comercio global. Por otro lado, Chanaluisa et al. (2022) resaltan que este cultivo es muy importante para la economía nacional, porque tiene una demanda fuerte en el mercado local y genera muchos empleos tanto en las zonas que se cultiva como en las que se la procesa.

Cada año se ha podido determinar que la producción de tomate va en aumento considerablemente en Ecuador. Coronel (2019) señala que las regiones de la Sierra y la Costa concentran la mayor producción, destacando su importancia económica y agrícola. En la actualidad, según SIPA (2022), existen aproximadamente 1970 hectáreas destinadas al cultivo de tomate en estas regiones, lo que ha llevado a una producción nacional de 62.75 toneladas. Además, SIPA (2022) informa que, bajo condiciones de invernadero, se alcanza un rendimiento promedio de 250 t ha⁻¹, lo que refleja el potencial del cultivo en el país, favoreciendo su desarrollo competitivo tanto a nivel nacional como internacional.

El tomate es una planta dicotiledónea, herbácea, perteneciente a la familia botánica Solanaceae. Flaño (2019) menciona que, como muchos cultivos agrícolas, el tomate enfrenta desafíos significativos debido a plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales, factores que limitan su rendimiento y afectan la rentabilidad del cultivo. En este contexto, el autor resalta que el quitosano, un biopolímero natural derivado de la quitina, se posiciona como una alternativa sostenible para mitigar estos problemas y estimular el crecimiento, tamaño y rendimiento del cultivo.

En los últimos estudios, Iriti et al. (2022) han demostrado que la aplicación de quitosano en cultivos como tabaco, frijol y maíz tiene un impacto positivo en el crecimiento y rendimiento, incrementando la producción de clorofila y mejorando la eficiencia de la fotosíntesis. Mukhtar Ahmed et al. (2019) explican que la clorofila, como pigmento esencial para la fotosíntesis, permite a las plantas transformar la luz solar, el agua y el dióxido de carbono en energía y azúcares, lo que se traduce en un mayor desarrollo de las plantas.

Ambos autores coinciden en que estos efectos se reflejan en una mejora notable en la productividad agrícola.

El quitosano es beneficioso para el cultivo del tomate, mejorando su crecimiento y rendimiento económico (Pérez, 2020). Se ha destacado en investigaciones por sus efectos positivos en las defensas naturales y el crecimiento de las plantas, especialmente a nivel de raíz, hojas y frutos (Maldonado et al., 2017). Sin embargo, Wang et al. (2019) apoyan esta perspectiva, subrayando la importancia de ajustar su aplicación para maximizar los beneficios.

El uso del quitosano representa una alternativa viable por sus múltiples beneficios económicos y ambientales. Reyes et al. (2019) señalan que su implementación reduce significativamente el uso de fertilizantes y pesticidas químicos, promoviendo así una agricultura más sostenible. Además, Torres et al. (2018) destacan que, al minimizar los residuos químicos en los cultivos, se obtienen alimentos más saludables, contribuyendo al bienestar del consumidor y a la conservación del medio ambiente.

Bautista-Baños et al. (2020) destacan que el uso de bioestimulantes como el quitosano no solo mejora los parámetros agronómicos, sino que también fortalece la resistencia de las plantas frente a condiciones adversas, como estrés abiótico y ataques de patógenos. Por otro lado, Sharma et al. (2019) señalan que su aplicación en el tomate ha demostrado ser eficaz para aumentar la calidad de los frutos, mejorando características como el contenido de sólidos solubles y la firmeza, aspectos clave para el comercio y el consumo.

Esta investigación tiene como objetivo valorar la eficiencia de quitosano en caracteres agronómicos y productividad de *Solanum lycopersicum* (tomate) mediante aplicación edáfica. Realizado en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo en las instalaciones agrícolas como lo son los invernaderos, se ha demostrado que este producto orgánico como lo es el quitosano puede estimular y mejorar la producción de clorofila y mejorar en las plantas la fotosíntesis, lo que contribuye significativamente al crecimiento y rendimiento del tomate. Este estudio busca ofrecer una alternativa viable y sostenible para los agricultores, optimizando la aplicación quitosano para mejorar la producción de tomates y, en consecuencia, lograr un mejor rendimiento agrícola.

CAPÍTULO I
CONTEXTUALIZACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.1. Problema de investigación

1.1.1. Planteamiento del problema

En Ecuador la producción de tomate enfrenta serios problemas de eficiencia productiva debido a las deficiencias nutricionales y a la incidencia de plagas enfermedades. Estos factores no solo disminuyen la cantidad y calidad del producto final, sino que también llevan a un uso intensivo de pesticidas y fertilizantes químicos. El uso indiscriminado de químicos no solo pone en riesgo la salud de los seres humanos sino también al medio ambiente ocasionando daños irreparables. Es necesario, evaluar otros tipos de métodos que sean más favorables, como la aplicación de quitosano, para mejorar propiedades beneficiosas para las plantas, como: la capacidad de estimular el crecimiento actúa favorablemente a resistir las diferentes plagas y enfermedades y mejorar la producción y calidad de los frutos.

Diagnóstico

El cultivo de tomate tiene un incremento significativo en su producción, con una favorable aceptación tanto en el mercado local como internacional. Sin embargo, este cultivo enfrenta problemas como deficiencias nutricionales, presencia de las enfermedades y plagas ocasionan que su rendimiento y calidad se vean afectados. La adopción de técnicas innovadoras y biocompatibles, como el uso de quitosano, se presenta como una solución potencial para superar estos desafíos y mejorar la eficiencia productiva del tomate.

Pronóstico

De no implementarse nuevas medidas que permitan tener controladas a las plagas, enfermedades y deficiencias nutricionales, la producción de tomate seguirá enfrentando pérdidas significativas. La introducción del quitosano promete no solo mejorar la producción y tener una rentabilidad favorable, sino también ofrece una alternativa sostenible que puede transformar la manera en que se cultiva, promoviendo prácticas agrícolas más seguras y eficientes.

1.1.2. Formulación del problema

¿Mediante la aplicación de quitosano se influirá en el crecimiento y productividad en plantas de tomate?

1.1.3. Sistematización del problema

- ¿Qué efecto que provoca el uso de quitosano sobre variables de crecimiento y desarrollo en plantas de tomate?
- ¿Cuáles serán los indicadores de producción en las plantas de tomate bajo condiciones controladas?
- ¿La aplicación de quitosano por vía edáfica en el cultivo de tomate mejora la rentabilidad económica?

1.2. Objetivos

1.2.1. *Objetivo general*

Valorar la eficiencia de quitosano en caracteres agronómicos y productividad de *Solanum lycopersicum* (tomate) mediante aplicación edáfica.

1.2.2. *Objetivos específicos*

- Evaluar caracteres agronómicos de *Solanum lycopersicum* en respuesta a la aplicación edáfica de quitosano.
- Determinar la eficiencia de la aplicación edáfica de quitosano en producción de *Solanum lycopersicum*.
- Determinar la rentabilidad económica a la aplicación de quitosano por vía edáfica en *Solanum lycopersicum*.

1.3. Justificación

Es fundamental el consumo de tomate para los seres humanos, aportando un alto valor nutricional y siendo de gran importancia económica para los productores. Sin embargo, se ven afectados estos cultivos por diferentes obstáculos que amenazan su sostenibilidad y productividad.

Se tiene identificado los inconvenientes al empleo excesivo de químicos en el cultivo de tomate, generando consecuencias negativas. Entre estas se encuentran la pérdida de nutrientes hacia aguas subterráneas y superficiales, ocasionando en el suelo serias alteraciones del suelo en su pH, el deterioro en su estructura y la afectación de los microorganismos que habitan en él.

Los bioestimulantes, como el quitosano, son una alternativa prometedora para reducir la aplicación de diferentes agroquímicos que se utilizan en el cultivo de tomate. El quitosano, obtenido de crustáceos desechados por las empresas que se dedican a la industrialización pesquera, tiene varias aplicaciones agrícolas al influir en el metabolismo vegetal, fomentar para tener una mejor germinación y desarrollo en las plantas de tomate, y actuar contra microorganismos. Esto aumenta la rentabilidad y protege la efectividad de la cosecha, dando frutos más saludables para el consumo humano.

El quitosano mejora la altura y desarrollo del cultivo de tomate, estimulando la división y elongación celular, promoviendo la formación de raíces y aumentando la absorción de nutrientes. Además, induce resistencia a enfermedades al activar mecanismos de defensa en las plantas frente a patógenos fúngicos, bacterianos y virales. Ayuda a las plantas a tolerar condiciones de estrés abiótico como salinidad, sequía y deficiencias nutricionales. Por último, mejora la calidad y el rendimiento del fruto, incrementando el número, tamaño y calidad de los frutos de tomate.

Este proyecto busca beneficiar a agricultores dedicados al cultivo de esta hortaliza, estudiantes interesados en soluciones agrícolas sostenibles y futuros investigadores que deseen profundizar en estrategias innovadoras, al proporcionar información sobre el potencial del quitosano como alternativa sostenible para mejorar la productividad y calidad del tomate en invernadero.

CAPÍTULO II
FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA DE LA INVESTIGACIÓN

2.1. Marco conceptual

2.1.1. *Tomate *Solanum lycopersicum**

El tomate (*Solanum lycopersicum*) pertenece a la familia Solanaceae y tiene su origen en las zonas de Centro y Sudamérica, donde se cultiva desde hace siglos por sus propiedades nutricionales y su sabor característico. Hoy en día, se cultiva globalmente y es una de las hortalizas más populares en consumo (Allende, 2017).

Esta planta es valorada por su alto contenido en nutrientes y su amplia versatilidad en diversas preparaciones, siendo un cultivo de gran relevancia en la economía agrícola de numerosos países (Peralta y Spooner, 2021).

2.1.2. *Productividad*

La productividad se refiere a la relación entre la cantidad de productos generados y los recursos utilizados, o bien, a la eficiencia con la que se emplean los factores de producción para satisfacer necesidades sociales (Medina, 2010).

2.1.3. *Bioestimulantes*

Los bioestimulantes son sustancias aplicadas en las plantas para mejorar la absorción y asimilación de nutrientes, resistencia a factores de estrés y ciertas características agronómicas sin depender de su contenido nutricional (Martínez y Ferrón, 2018). Incluyen productos como extractos de algas, ácidos húmicos, aminoácidos y microorganismos, cada uno con efectos específicos sobre el crecimiento y la resistencia de las plantas (Calvo, Nelson y Kloepper, 2021).

2.1.4. *Caracteres agronómicos*

Los caracteres agronómicos son rasgos visibles y cuantificables de las plantas que afectan su cultivo, como el crecimiento, desarrollo de frutos y resistencia a plagas. Estos caracteres son clave en la productividad y calidad de las cosechas (Cruz et al., 2022). En el tomate,

incluyen altura de la planta, número de frutos, peso, resistencia a enfermedades y eficiencia en el uso de recursos (Foolad, 2021).

2.1.5. Quitosano

El quitosano, un polisacárido derivado de la quitina presente en hongos y crustáceos, se utiliza como bioestimulante debido a su capacidad para fomentar el crecimiento vegetal, aumentar la resistencia a enfermedades y mejorar el uso de fertilizantes (Carrera et al., 2021). Además, su aplicación favorece la resistencia de las plantas frente a factores de estrés (Iriti y Faoro, 2022).

2.2. Marco referencial

2.2.1. Origen de tomate *Solanum lycopersicum*

Esta especie, originaria de Sudamérica, fue hallada en la región de los Andes y más tarde llevada a México, donde los exploradores europeos la encontraron en 1519 y la introdujeron a Europa. La producción global de tomate ha crecido constantemente, pasando de 48 millones de toneladas en 1978 a 124 millones en 2006 (Blancard, 2021).

2.2.2. Tomate *Solanum lycopersicum*

El tomate, conocido científicamente como *Solanum lycopersicum*, es una de las hortalizas más cultivadas y consumidas mundialmente. Perteneciente a la familia Solanaceae, el tomate presenta diversas variedades que difieren en características como el tamaño, la forma y el uso culinario. Las variedades de tomate más comunes incluyen el tomate de ensalada, el tomate cherry y el tomate de pera, que tienen aplicaciones distintas en la cocina y la industria alimentaria (Jones, 2007).

Se le considera una fruta-hortaliza ya que su aporte en azúcares simples es superior a otras verduras, lo que le confiere un ligero sabor dulce. Es una fuente interesante de fibra, minerales como el potasio y el fósforo, y de vitaminas, entre las que destacan la C, E, provitamina A y vitaminas del grupo B, en especial B1 y niacina o B3. Además, presenta un alto contenido en carotenos como el licopeno, pigmento natural que aporta al tomate su color

rojo característico. El alto contenido en vitamina C y E y la presencia de carotenos en el tomate convierten a éste en una importante fuente de antioxidantes, sustancias con función protectora de nuestro organismo (Perveen et al., 2015)

Posee numerosas cualidades, por lo que constituye un producto indispensable en nuestra dieta. Aparte de su contenido en vitaminas y minerales, que lo convierten en una gran fuente de sustancias nutritivas, estudios recientes han demostrado que el consumo de tomate reduce significativamente el riesgo de contraer varios tipos de cáncer, lo cual se relaciona con su contenido de licopeno y otros carotenoides, debido al carácter antioxidante de estos compuestos (Rowles y Erdman, 2020).

2.2.3. Taxonomía del tomate

La clasificación taxonómica del tomate riñón se encuentra en el SIIT (Sistema Integrado de Información Taxonómica (Conabio, 2022).

Tabla 1

Clasificación taxonomía del tomate

Clasificación taxonómica	
Reino:	Plantae
Filo:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Género:	Solanum
Especie:	<i>Lycopersicon esculentum</i>
Fuente: (Iosipenko, 2022)	

2.2.4. Variedades de tomate

El tomate es una de las hortalizas más populares y ampliamente cultivadas en todo el mundo, destacándose por su versatilidad culinaria y valor nutricional. Existen numerosas variedades, cada una con características específicas en tamaño, sabor, resistencia a enfermedades y adaptabilidad a diferentes climas y métodos de cultivo. A continuación, se describen dos

variedades específicas de tomate y se menciona la posibilidad de explorar otras con características innovadoras (Esquinas y Nuez, 2021).

2.2.4.1. Amalia.

La variedad Amalia es conocida por su excelente sabor, textura firme y resistencia a enfermedades comunes del tomate, además, se destaca por su alta productividad y capacidad de adaptación a diversas condiciones climáticas. A continuación, se presentan algunas características destacadas de la variedad Amalia:

Forma y tamaño: Los tomates Amalia suelen ser redondos y de tamaño mediano a grande.

Color: Tienen un color rojo intenso cuando están maduros.

Sabor: Destacan por su sabor dulce y jugoso, ideal para consumo fresco en ensaladas y salsas.

Planta: La planta es vigorosa y produce frutos de manera continua durante la temporada de cultivo.

Resistencia: Amalia muestra buena resistencia a enfermedades como el mildiu y el fusarium, lo que la convierte en una opción robusta para cultivadores tanto aficionados como comerciales (Esquinas y Nuez, 2021).

2.2.4.2. Florade.

La variedad Florade es altamente apreciada por su excelente capacidad de adaptación a diversas condiciones de cultivo, así como por la calidad superior de sus frutos, lo que la hace ideal para diferentes climas y sistemas productivos. A continuación, se detallan sus características.

Forma y tamaño: Los tomates Florade son redondos y de tamaño medio.

Color: Adquieren un color rojo brillante en su madurez.

Sabor: Tienen un sabor equilibrado, con una buena combinación de dulzura y acidez, adecuado para diversas preparaciones culinarias.

Planta: La planta de Florade es robusta, de crecimiento determinado, y se caracteriza por su vigor y adaptabilidad a diferentes condiciones de cultivo. Además, su porte compacto facilita las labores de manejo, como la poda y la cosecha, optimizando la eficiencia en la producción.

Resistencia: Esta variedad es conocida por su resistencia a enfermedades como el virus del mosaico del tomate y la marchitez por verticillium, lo que la hace ideal para cultivos en áreas con alta incidencia de estas enfermedades (Esquinas y Nuez, 2021).

2.2.5. Descripción botánica y morfológica

La morfología es una ciencia que describe las características de las plantas, abarcando desde la semilla hasta los frutos. A continuación, se describen las principales características morfológicas de cada parte de la planta:

2.2.5.1. Semilla.

Las semillas del tomate tienen una forma similar a una lente, de color grisáceo, con un tamaño entre 3 y 5 mm de diámetro. Cada semilla está compuesta por el embrión, el endospermo y una cubierta externa llamada testa. Un gramo de estas semillas contiene entre 300 y 350 unidades. Las semillas pueden mantener su capacidad de germinación durante un período de 4 años o más si se almacenan en condiciones óptimas. La temperatura ideal para la germinación se encuentra entre 16 y 28°C (Nuez, 2021).

Para extraer las semillas de frutos carnosos como el tomate de cáscara, se utiliza una máquina despulpadora. Esta máquina, equipada con un tornillo sin fin o aspas, desintegra los frutos, generando una mezcla que posteriormente se pasa a recipientes con agua para decantar impurezas y seleccionar las semillas más pesadas (Martínez et al., 2004).

Según la FAO (2019), el manejo del contenido de humedad de las semillas es un aspecto crítico durante su almacenamiento, ya que tiene un impacto directo en su durabilidad y en la velocidad con la que se deterioran. Una gestión deficiente de los niveles de humedad puede provocar un deterioro acelerado y una disminución en la viabilidad de las semillas a lo largo del tiempo de almacenamiento.

La limpieza y clasificación son etapas esenciales en el proceso de beneficio de semillas. Estos pasos ayudan a eliminar impurezas, seleccionar las semillas por tamaño para la siembra y eliminar las dañadas o deterioradas, lo cual incrementa la calidad de la producción sin afectar las características genéticas (Doria, 2010).

La producción de tomates de cáscara puede realizarse tanto en condiciones de riego como de temporal. Para establecer el cultivo en campo, se utilizan métodos de siembra directa o trasplante. En siembra directa, especialmente en condiciones de temporal, los agricultores usan de 1 a 2 kg de semilla por hectárea, producida generalmente por ellos mismos (Magaña et al., 2015).

El proceso de obtención de estas semillas implica macerar o triturar frutos maduros cosechados en la parcela, separar la pulpa gruesa y la cáscara de la semilla y la pulpa fina, depositar la mezcla en un recipiente con agua y, mediante decantación, eliminar la pulpa fina y las semillas vacías. Las semillas que se asientan en el fondo se recogen y se secan al sol. Sin embargo, estas semillas suelen presentar un porcentaje de germinación relativamente bajo y son las que los productores utilizan para la siembra (Magaña et al., 2015).

2.2.5.2. Sistema radicular.

El sistema de raíces del tomate puede extenderse hasta 2 metros de profundidad, desarrollando una raíz pivotante y varias raíces secundarias. En ciertas condiciones de cultivo, la raíz pivotante puede sufrir daños, lo que obliga a la planta a formar un sistema radicular fasciculado en el que predominan las raíces adventicias, las cuales se concentran en los primeros 30 cm del suelo (CIREN, 2016.).

El tallo principal del tomate es medianamente grueso, semileñoso y presenta una forma ligeramente angular con pilosidades simples y glandulares. Su eje central, de un grosor que varía entre 2 y 4 cm en la base, da soporte al desarrollo de hojas, tallos secundarios e inflorescencias. En la zona distal se encuentra el meristemo apical, encargado de iniciar nuevos primordios foliares y florales (CIREN, 2016.).

Las raíces cumplen funciones esenciales como anclar la planta al suelo, absorber agua y minerales de manera selectiva y almacenar reservas. Además, estas estructuras actúan como barreras selectivas contra distintos patógenos (Naseer et al., 2019).

El sistema radicular se compone de tres capas principales: epidermis, córtex y endodermis, junto con los tejidos vasculares y el periciclo. Además de la raíz primaria, las plantas desarrollan raíces secundarias que se originan de las bifurcaciones de la raíz principal (raíces

laterales de primer orden) o de otras raíces laterales (de segundo, tercer orden, etc.). En los tomates, el sistema radicular tiene forma axonomorfa, con raíces laterales que parten de la raíz principal. También pueden observarse raíces adventicias, que se desarrollan después de la etapa embrionaria a partir de estructuras aéreas de la planta, como los hipocótilos, hojas o tallos. Esta formación de raíces adventicias puede ocurrir de forma natural o como respuesta al estrés (Casson y Lindsey, 2019).

2.2.5.3. Tallo principal.

El tallo de la planta de tomate se caracteriza por ser una estructura robusta y de textura pubescente, con una forma angulosa y un color verde distintivo. Su grosor oscila entre 2 y 4 cm, aunque tiende a ser más delgado en la parte superior. Del tallo principal emergen tallos secundarios, así como hojas y racimos florales. En su extremo distal, se encuentra el meristemo apical, responsable de la generación de nuevos primordios tanto foliares como florales (INTA, 2017).

2.2.5.4. Hojas.

Las hojas de la planta de tomate se describen como compuestas e imparipinnadas, y están formadas por entre 7 y 9 folíolos que tienen pecíolos, son lobulados y tienen un borde dentado. Estas hojas se encuentran de manera alternada en el tallo y están cubiertas por pelos glandulares, lo que les otorga un color verde oscuro. Cuando se manipulan, desprenden un olor distintivo y pueden dejar manchas de un tono verdoso-amarillento en las manos (INIA, 2017).

2.2.5.5. Flor.

La flor del tomate se caracteriza por ser amarilla y de tipo hipógino, lo que significa que se origina por debajo del ovario. Las flores se agrupan en racimos, los cuales aparecen cada dos o tres hojas, y en un mismo racimo se pueden encontrar tomates verdes, flores y botones florales. Esta flor es bisexual, ya que posee tanto los órganos sexuales masculinos (estambres) como femeninos (pistilo). La fecundación ocurre mediante autofecundación, cuando el polen de la misma flor fecunda los óvulos. El cáliz de la flor es gamosépalo, con cinco lóbulos soldados entre sí, los cuales permanecen en el fruto cuando madura. La corola

es amarilla, gamopétala y rotácea, formada por cinco o siete pétalos. Los estambres, pequeños y soldados entre sí, forman un anillo, y las anteras liberan el polen a través de una fisura cuando alcanzan la madurez (Monardes, 2009).

Sin embargo, la fecundación no ocurre si la temperatura supera los 30°C, ya que el polen no madura adecuadamente. El ovario es bicarpelar y contiene numerosos óvulos. Una vez que la corola se abre y se libera el polen, comienza el proceso de fecundación, y el fruto tarda entre 45 y 60 días en madurar después de la polinización (Monardes, 2009).

2.2.5.6. Fruto.

El fruto del tomate es una baya que puede ser de uno o varios lóculos, con una forma que varía entre esférica y alargada, y un peso que puede ir desde unos pocos gramos hasta 600 gramos, dependiendo de la variedad. Está compuesto por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. Cuando el fruto no ha madurado, es de color verde, pero al alcanzar su madurez, puede volverse rojo u otros colores como amarillo y naranja, según la variedad (INTA, 2017).

2.2.6. Requerimientos edafoclimáticos

A continuación, se describen los parámetros climáticos referentes a este cultivo:

2.2.6.1. Temperatura.

La temperatura óptima de desarrollo oscila entre 20 y 30°C durante el día y entre 1 y 17°C durante la noche; temperaturas superiores a los 30-35°C afectan a la fructificación, por mal desarrollo de óvulos y al desarrollo de la planta en general y del sistema radicular en particular. Temperaturas inferiores a 12-15°C también originan problemas en el desarrollo de la planta (Infoagro, 2019).

2.2.6.2. Humedad.

En el cultivo de tomate, es conveniente que la humedad relativa (HR) del aire se mantenga entre el 70 y el 80 %. Los valores superiores a este rango favorecen el desarrollo de

enfermedades del follaje, como hongos y bacterias, que pueden dañar gravemente la planta. Por otro lado, valores inferiores pueden restringir el crecimiento óptimo, afectando procesos esenciales como la fotosíntesis y la transpiración, lo que resulta en una reducción significativa en la productividad, el tamaño y la calidad de los frutos obtenidos (Schwarz, Thompson, y Kläring, 2014).

2.2.6.3. Luminosidad.

El tomate requiere días soleados para un buen desarrollo de la planta y lograr una coloración uniforme en el fruto. Cuando la luminosidad es escasa dentro del invernadero, las plantas tienden a un aislamiento buscando la luz, los tallos se vuelven débiles disminuyendo el potencial del cultivar reflejándose en la producción. La baja luminosidad también incide en los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta ya que reduce la viabilidad del polen, limita la evapotranspiración y disminuye la absorción de agua y nutrientes llevando la planta a una posible deficiencia de calcio, lo que se conoce comúnmente como podredumbre apical del fruto (Schwarz, Thompson, y Kläring, 2014).

2.2.6.4. Métodos de fertilización.

La fertilización es una práctica esencial en la agricultura que consiste en suministrar nutrientes a las plantas para promover su crecimiento y desarrollo, asegurando una producción óptima. Existen varios métodos de fertilización que se utilizan según las necesidades específicas del cultivo, las condiciones del suelo y los recursos disponibles. A continuación, se detallan los principales métodos y sus aplicaciones prácticas:

2.2.6.5. Fertilización Edáfica.

La fertilización edáfica implica la aplicación de fertilizantes directamente al suelo. Este método se puede realizar mediante diferentes técnicas como al voleo, en banda, a la siembra o a través del fertirriego. La aplicación inadecuada de abonos químicos a largo plazo ha traído daños ambientales para el suelo tales como la pérdida de fertilidad, reducción de la biodiversidad y contaminación, sumando al deterioro de las aguas subterráneas, lo cual afecta la sostenibilidad de los sistemas agrícolas y contribuye a la disminución de la productividad (Guo et al., 2018).

Los fertilizantes orgánicos edáficos pueden ser un valioso restaurador del suelo y fuente de nutrientes para las plantas, además de mejorar el rendimiento y las propiedades del suelo, como la capacidad de retención de agua, porosidad, disminución de la densidad aparente, estabilización del pH del suelo, aumento de la biomasa microbiana, mayores concentraciones de nutrientes disponibles para las plantas y reducción de enfermedades, Sin embargo los aumentos de materia orgánica en el suelo ocurren lentamente (Liu et al., 2021).

2.2.6.6. Fertilización foliar.

La fertilización foliar implica la aplicación de nutrientes directamente a las hojas de las plantas. Es una técnica que complementa la fertilización edáfica, permitiendo superar limitaciones como la lixiviación y la precipitación de fertilizantes insolubles. Esta técnica es especialmente útil cuando las raíces presentan actividad limitada debido a condiciones adversas (Davarpanah et al., 2020).

La fertilización foliar es efectiva para corregir rápidamente deficiencias de nutrientes y mejorar el rendimiento de las plantas en etapas críticas de su desarrollo. Además, la compatibilidad química de los fertilizantes foliares con pesticidas puede reducir costos y mejorar la eficiencia del manejo agrícola (Doolette et al., 2018).

La fertilización foliar es útil para superar problemas radiculares causados por temperaturas extremas ($<10^{\circ}$, $>40^{\circ}\text{C}$), falta de oxígeno en campos inundados, ataque de nematodos y disminución de la actividad radicular durante etapas reproductivas, cuando la mayoría de los fotoasimilados se destina a la reproducción, dejando pocos para la respiración de la raíz. Este método es una solución rápida y efectiva para corregir deficiencias nutricionales y mejorar el rendimiento de las plantas en momentos críticos de su desarrollo fisiológico (Alshaal y El-Ramady, 2017).

2.2.7. Tipos de fertilizantes

Los fertilizantes se clasifican en dos tipos principales: orgánicos y químicos. Los fertilizantes orgánicos provienen de fuentes naturales, como estiércol, compost y residuos vegetales, mientras que los químicos son producidos a partir de compuestos sintéticos para proporcionar nutrientes esenciales a las plantas.

2.2.7.1. Fertilizantes Orgánicos.

Estos fertilizantes, originados a partir de recursos naturales como estiércol, compost y residuos de plantas, ofrecen varios beneficios para el suelo. Mejoran su estructura, incrementan la retención de agua y proporcionan nutrientes de liberación lenta, lo que favorece un crecimiento sostenido de las plantas. Sin embargo, debido a su menor y variable concentración de nutrientes, suelen requerir aplicaciones en cantidades mayores para alcanzar los mismos efectos que los fertilizantes sintéticos (Hernández et al., 2014).

2.2.7.2. Fertilizantes Químicos.

Estos fertilizantes son fabricados industrialmente y contienen nutrientes en formas altamente solubles y concentradas. Permiten un control exacto sobre la nutrición de las plantas y proporcionan nutrientes de manera rápida y en cantidades precisas. No obstante, su uso indebido puede provocar acumulación de sales y otros problemas de contaminación (Burgos, 2020).

La elección del tipo de fertilizante y la técnica de aplicación dependerá de factores como el tipo de cultivo, las condiciones del suelo, el clima y los recursos disponibles (Hu y Li, 2005). Para desarrollar una fertilización química adecuada para el tomate, es fundamental considerar los siguientes aspectos: la variedad de planta, densidad poblacional y tipo de riego (Burgos, 2020).

El suministro de urea debe ser controlado, ya que el exceso de nitrógeno promueve el follaje en detrimento de la floración y fructificación, y puede incrementar problemas fitosanitarios. Es recomendable aplicarla junto con el riego y en el llenado del fruto. Un uso excesivo de fertilizantes químicos puede causar daños ambientales, degradar el suelo y contaminar cuerpos de agua (Burgos, 2020).

2.2.8. Uso de bioestimulantes en la agricultura

Los bioestimulantes son sustancias y microorganismos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas, mejorando su resistencia a condiciones de estrés biótico y abiótico, tales como plagas, enfermedades, sequía y temperaturas extremas. Independientemente de

su contenido en nutrientes, estos productos benefician el crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo, al estimular procesos fisiológicos clave que optimizan la salud de las plantas (Brown y Saa, 2015).

Los bioestimulantes contienen una variedad de sustancias y microorganismos que mejoran la captación de nutrientes, aumentan la tolerancia al estrés y favorecen la calidad de los cultivos (Infoagro, 2018). Estos compuestos actúan biológicamente de diversas maneras, como en la fijación de nitrógeno y la solubilización de fosfatos, lo que permite convertir nutrientes esenciales en formas más disponibles para las plantas, promoviendo su crecimiento y productividad (Pichyangkura y Chadchawan, 2015).

2.2.9. Quitosano

El quitosano es el derivado principal de la quitina, obtenido mediante desacetilación parcial o total de esta última. Es un copolímero lineal compuesto principalmente de unidades de glucosamina y, en menor cantidad, de 2-amino-2-deoxi- α -D-glucosa (Rodríguez et al., 2021). Este polisacárido, conocido como quitina desacetilada, es de origen natural, biodegradable y no tóxico, y se extrae principalmente del exoesqueleto de crustáceos como cangrejos y camarones (Sandford y Hitchings, 1987). También se puede obtener de insectos, nemátodos y la pared celular de ciertos hongos (Freepons, 1991).

Una de las propiedades más destacadas del quitosano es su carácter catiónico, lo que le permite actuar como floculante, humectante y quelante. Además, gracias a su grupo amino, tiene la capacidad de atrapar metales pesados, así como insecticidas y compuestos policarburados. El quitosano ha encontrado aplicaciones en diversas industrias, tales como la medicina, la farmacéutica, la biotecnología, la cosmética, la alimentación y la agricultura.

En la última década, el interés por aplicar el quitosano en el sector agrícola ha aumentado, impulsado principalmente por las crecientes restricciones en el uso de agentes químicos contaminantes como fungicidas y pesticidas (Bautista et al., 2017).

Este compuesto posee propiedades que lo hacen aplicable en numerosos campos, incluyendo la agricultura, donde se emplea como bioestimulante para promover el crecimiento vegetal e inducir tolerancia al estrés abiótico o resistencia a patógenos (Pichyangkura y

Chadchawan, 2015). Investigaciones recientes han mostrado el potencial del quitosano como estimulador del rendimiento en distintos cultivos (Morales et al., 2015).

2.2.9.1. Propiedades del quitosano.

El quitosano, un biopolímero obtenido de la quitina que se encuentra en los exoesqueletos de crustáceos, ha generado gran interés en distintas áreas debido a sus propiedades excepcionales. Es biodegradable y se descompone de manera natural sin dejar residuos tóxicos, lo que lo convierte en un material biocompatible y adecuado para aplicaciones tanto médicas como agrícolas sin causar efectos negativos.

Gracias a su actividad antimicrobiana, el quitosano es eficaz contra bacterias y hongos, impidiendo el crecimiento de patógenos. Además, es seguro su consumo y es amigable con el medio ambiente, ya que no es tóxico. Posee la capacidad de formar películas y recubrimientos protectores, lo que amplía sus aplicaciones. En la agricultura, favorece el crecimiento de las plantas al estimular su desarrollo y aumentar su resistencia a enfermedades (Bhaskara et al., 2019).

También tiene la capacidad de retener agua, lo que mejora la hidratación del suelo y optimiza el crecimiento vegetal. En resumen, el quitosano es un biopolímero versátil con un gran potencial en múltiples áreas, debido a su conjunto de propiedades útiles y beneficiosas.

2.2.9.2. Beneficios del quitosano en el cultivo de tomate.

El quitosano ofrece múltiples beneficios en la agricultura de tomate, ya que no solo mejora el crecimiento de las plantas, sino que también brinda protección eficaz contra enfermedades y plagas, favoreciendo así un desarrollo más saludable y una mayor productividad en los cultivos de tomate.

2.2.9.3. Estimulador de crecimiento.

La aplicación de quitosano ha mostrado resultados positivos en el crecimiento de las plantas, impulsando tanto la germinación de semillas como el desarrollo de diferentes partes, incluyendo raíces, brotes y hojas. En ciertos estudios, el tratamiento con quitosano ha

elevado los porcentajes de germinación al nivel necesario para obtener certificación (Bhaskara et al., 2019).

Un estudio sobre crecimiento de tejidos vegetales destaca que el origen del quitosano influye en su efectividad. Los quitosanos derivados de hongos requieren menores dosis para inducir la diferenciación de tejidos en plantas de orquídea, en comparación con los oligómeros obtenidos de caparazones de camarones (Nge et al., 2006). De hecho, la fuente de extracción es un factor clave en las propiedades fisicoquímicas del quitosano (Tolaimate et al., 2000).

2.2.9.4. Protección de plántulas.

El quitosano protege las plántulas de enfermedades, creando barreras o acumulando sustancias fungitóxicas (Velásquez, 2019).

2.2.9.5. Protección de productos postcosecha.

Las propiedades biológicas del quitosano, junto con su capacidad para formar películas, han permitido su uso en la conservación de frutas y vegetales, funcionando como un recubrimiento protector que prolonga su vida útil. Este recubrimiento ayuda a reducir las pérdidas por transpiración.

Para lograr resultados óptimos, es importante considerar varios factores en estos tratamientos: el tipo de quitosano utilizado (grado de acetilación, peso molecular y origen), el solvente empleado en la preparación de la solución, el pH del medio y la temperatura de almacenamiento (Lárez, 2019).

2.2.9.6. El quitosano como potenciador de bioplaguicidas y biofertilización.

El quitosano ha demostrado ser útil no solo como bioestimulante, sino también como matriz para la encapsulación de agroquímicos, lo que permite reducir la necesidad de aplicar grandes cantidades de sustancias activas que podrían ser perjudiciales para el medio ambiente y la salud humana. Esta encapsulación facilita un control preciso sobre la liberación gradual de los productos activos, manteniendo la concentración adecuada de los mismos en el suelo a lo largo del tiempo. Además, el uso de quitosano como matriz no solo

optimiza la eficiencia de los agroquímicos, sino que también aporta al suelo y a las plantas sus notables propiedades biológicas, promoviendo un entorno más saludable para el crecimiento vegetal (Velásquez, 2008).

2.2.10. Estudios realizados en la aplicación de Quitosano como bioestimulante

2.2.10.1. Influencia de un polímero de quitosano en el crecimiento y la actividad de enzimas defensivas en tomate (*Solanum lycopersicum*).

El estudio evaluó los efectos del quitosano, un polímero derivado de la quitina, sobre el crecimiento y la actividad enzimática defensiva en el tomate (*Solanum lycopersicum*). Para ello, se sumergieron las semillas del cultivar Amalia en soluciones de quitosano con diferentes concentraciones (0, 0.1, 1, 2.5 y 10 g/L) durante 4. Posteriormente, las plántulas fueron trasplantadas y, a los 21 días de germinación, se asperjaron nuevamente con las mismas concentraciones de quitosano. Se midieron varios parámetros, incluyendo la longitud de raíces y tallos, el peso seco de las plántulas, la concentración de proteínas totales y la actividad de las enzimas defensivas, como la β -1,3 glucanasa y la fenilalanina amonio liasa (PAL).

Los resultados revelaron que el quitosano promovió el crecimiento de las raíces y tallos, con un impacto más significativo en las semillas embebidas que en las plántulas asperjadas. En términos de actividad enzimática, se observará un aumento considerable en la actividad de la enzima PAL en las semillas tratadas con la concentración más baja de quitosano (0,1 g/L). Por otro lado, la actividad de la enzima β -1,3 glucanasa se incrementa significativamente en las concentraciones más altas (2,5 y 10 g/L), lo que sugiere un efecto positivo en la defensa natural de las plantas contra patógenos.

Sin embargo, no se observarán cambios relevantes en el peso seco de las plántulas ni en la concentración de proteínas totales. Este estudio destaca el potencial del quitosano como un promotor del crecimiento y como un estimulador de las respuestas defensivas del tomate, especialmente durante las etapas tempranas del desarrollo. No obstante, los autores sugieren que se requieren más investigaciones y estudios a largo plazo para establecer las dosis óptimas y los métodos de aplicación más efectivos del quitosano, con el propósito de maximizar sus beneficios en el cultivo de tomate y otros cultivos agrícolas. Estas

investigaciones son clave para optimizar su uso, garantizar resultados consistentes y sostenibles, y adaptar su aplicación a diferentes condiciones agrícolas, considerando variables como tipo de suelo, clima y manejo agronómico, promoviendo una agricultura más eficiente y ambientalmente responsable.

2.2.10.2. Influencia del tratamiento a semillas con quitosano en el crecimiento de plantas de tomate *Solanum lycopersicum*.

Martínez Núñez et al. (2007), investigadores del Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA) de Cuba, realizaron un estudio para evaluar cómo el tratamiento de semillas con quitosano afecta el crecimiento de plantas de tomate, específicamente la variedad Amalia. Se utilizó una gama de concentraciones de quitosano (0, 1, 10, 100, 1000 y 2000 mg/L) durante dos tiempos de inmersión (4 y 8 horas). Tras la siembra, se midieron la altura de las plantas, el diámetro del tallo, la longitud de la raíz y la masa seca a los 22 días.

Los resultados indicaron que la concentración más baja de 1 mg/L con un tiempo de inmersión de 4 horas favoreció un mayor crecimiento en términos de altura, diámetro del tallo y masa seca, aunque no se observaron diferencias significativas en la longitud de la raíz. El estudio sugiere que el tratamiento con quitosano puede ser una estrategia eficaz para estimular el crecimiento temprano de las plantas de tomate, destacando que una concentración de 1 mg/L y un tiempo de inmersión de 4 horas fueron óptimos.

2.2.10.3. Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L. Variedad sd20a).

En su estudio, emplearon un gel de quitosano en la variedad de arroz SD20, con el objetivo de mejorar su desarrollo. El análisis por espectroscopía infrarroja (IR) del quitosano mostró una alta similitud en las muestras, lo que confirmó que las quitinas obtenidas mediante desmineralización con HCl y H₃PO₄ mantuvieron las propiedades esenciales del quitosano, preservando sus grupos funcionales clave.

Las plantas de arroz tratadas con quitosano presentaron un crecimiento en altura hasta un 16,57% mayor en comparación con las plantas control. En los primeros 12 días, se observó también un incremento en el desarrollo de raíces del 52% en relación al grupo de control,

además de una coloración verde más intensa en las plantas tratadas. Este cambio se atribuye a las propiedades del quitosano que mejoran tanto el enraizamiento como el desarrollo del área foliar. Finalmente, se observó un aumento de 1025 kg/ha en el rendimiento, lo que representa una mejora del 16,21% en comparación con las plantas no tratadas. Este estudio concluye que el tratamiento con quitosano resultó en un mejor desarrollo vegetativo para la variedad de arroz SD20A, destacando su potencial como agente bioestimulante para este cultivo (Zerpa et al., 2017).

2.2.10.4. Evaluación de quitosano sobre el nematodo nodulador (*Meloidogyne spp*) en el cultivo de tomate (*solanum lycopersicum*).

La enfermedad del Nudo Radical causada por *Meloidogyne spp.*, es una de las limitantes para la producción de tomate (*g.*), su manejo se realiza combinando prácticas de cultivo, así como, prácticas genéticas, biológicas y químicas, con limitantes como la escasa disponibilidad de materiales genéticamente resistentes, uso ineficiente de controladores biológicos y alto riesgo de contaminación medioambiental y toxicidad para humanos. En este sentido, una de las macrotendencias de la agricultura a nivel mundial es diseñar sistemas de cultivos más amables con el ambiente que utilicen métodos sostenibles de manejo de plagas y enfermedades, que sean innovadoras y competitivas.

El objetivo de este estudio es contribuir al Manejo Integrado del Nematodo del Nudo Radical (*Meloidogyne spp.*) en tomate (*Solanum spp.*) mediante el uso de quitosano, considerado una molécula biodegradable, biocompatible, con capacidad antimicrobiana; y con estimulación de los mecanismos de defensa de las plantas. Se evaluó quitosano de bajo peso molecular en dosis de 1,0 - 1,5 – 2,0 mg.ml⁻¹, aplicado edáfica y foliarmente, sobre plantas de tomate, bajo condiciones de campo en un sistema de siembra semicontrolada, las variables evaluadas fueron, número de flores, número de frutos en planta y cosechados, peso de frutos cosechados, rendimiento, severidad de la enfermedad y población de nematodos.

Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar, en un arreglo factorial. Se encontró que en el genotipo IAC 1687 el tratamiento de mayor respuesta en términos de rendimiento y disminución de la población fue 2,5 mg/ml de quitosano aplicado de manera edáfica, con valores de 10,9 ton/ha en comparación con el agua sin nematodos obtuvo 2,8 ton/ha superior y una población de 3928 nematodos en 100 g de suelo

en comparación con el testigo de agua con nematodos obtuvo un 85,2 % inferior. Para el genotipo LA 2076 el tratamiento de mayor respuesta en la variable rendimiento fue la aplicación foliar de quitosano a 2,0 mg/ml con 7 ton/ha en comparación con el testigo de quitosano comercial obtuvo 0,9 ton/ha mas y el de mayor respuesta en población de nematodos fue el tratamiento de 1,5 mg/ml aplicado de manera foliar con un total de 4049 nematodos en 100 g de suelo en comparación con el testigo de quitosano comercial obtuvo 46,2% menor. Para el genotipo T.

Resistente en términos de rendimiento el tratamiento de mayor respuesta fue el de 2,0 mg/ml aplicado de manera edáfica con 8,8 ton/ha comparado con el testigo de agua sin nematodos obtuvo 4,3 ton/ha mas, para la variable población de nematodos en 100g de suelo el tratamiento de mayor respuesta fue quitosano 2,5 mg/ml de manera foliar con 4301 nematodos en 100g de suelo, para el genotipo T. Susceptible en términos de rendimiento el de mayor respuesta fue el tratamiento de quitosano 2,0 aplicado de manera edáfica con 3,8 ton/ha comparado con el testigo de agua sin nematodos obtuvo 1,9 ton/ha adicionales y en términos de población nematodos sobre 100g de suelo el tratamiento de mayor respuesta fue la aplicación foliar de quitosano 2,0 mg/ml comparado con el testigo de quitosano comercial obtuvo 66,9 % menor.

2.2.10.5. Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero.

En 2020, investigadores de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo en Ecuador y de la Universidad Autónoma de Baja California Sur en México estudiaron cómo diferentes concentraciones de quitosano afectaban la emergencia, el crecimiento y el rendimiento de dos variedades de tomate, Floradade y Amalia, bajo condiciones de invernadero. Este estudio evaluó tres niveles de dosis de quitosano (1, 2 y 3 g/L) mediante un diseño experimental de bloques completos al azar con un arreglo factorial de $2 \times 3 + 2$.

Los resultados indicaron que la dosis de 2 g/L promovió la emergencia y el desarrollo más efectivo en la variedad Floradade, logrando un aumento significativo en la fructificación, el peso de los frutos y el rendimiento general. Esta investigación sugiere que el uso de quitosano a esta dosis puede ser una estrategia eficaz para potenciar el rendimiento agrícola del tomate en sistemas controlados y sostenibles.

CAPÍTULO III
METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1. Localización

El presente trabajo fue realizado en la Universidad Técnica Estatal de Quevedo en el Campus Universitario “La María” que se encuentra ubicada en el km 7,5 en la Vía Quevedo-Mocache, con sus respectivas coordenadas geográficas 79° 30' 9.67" " de longitud Oeste y 1° 04' 50.69" de latitud Sur a una altitud elipsoidal de 71 m.s.n.m. Esta investigación se la realizó en invernadero.

Tabla 2

Condiciones agroclimáticas del sitio experimental

Parámetros	Promedio
Temperatura media anual	24,9 °C
Humedad relativa media anual, %	84%
Precipitación media anual mm	2295.1
Heliofanía promedio anual (Hs)	870.2
Zona ecológica	BH-T
Topografía	Plana
Clima	Tropical húmedo

Fuente: Estación meteorológica "Pichilingue"- INAMHI Serie multianual 1990-2019

3.2. Tipo de Investigación

El tipo de investigación fue experimental y exploratoria, enfocándose en los diferentes estudios relacionados con la aplicación de dosis de quitosano en el suelo. Este enfoque permitirá analizar de manera detallada los fenómenos que puedan presentarse en el desarrollo y productividad del cultivo de tomate, contribuyendo así al entendimiento de sus efectos agronómicos.

3.3. Método de investigación

Aplicamos el método analítico para evaluar cómo las distintas dosis de quitosano afectan el crecimiento de las plantas de tomate mediante aplicación edáfica, analizando su impacto en el desarrollo y productividad.

Se realizó el método deductivo, analítico y observación partiendo de información procedente de literatura y trabajos anteriores sobre la aplicación de quitosano en el manejo fitosanitario y su efecto en el rendimiento en un cultivo de tomate, de igual manera se usó el método analítico, el cual permite arrojar un análisis para su previa interpretación de resultados, el mismo que corrobora si es económicamente factible el uso del quitosano en las plantas de tomate y por último, el método de observación nos permite visualizar cual es la reacción de la aplicación de dicho bioestimulante.

3.4. Fuentes de recopilación de información

El trabajo de investigación utilizó fuentes primarias, como la observación directa y la recopilación detallada de datos provenientes del experimento, enfocándose en las diferentes variables evaluadas a lo largo del estudio. Las fuentes secundarias se obtuvieron de revistas científicas, artículos especializados, publicaciones académicas, libros e internet, lo que permitió recopilar información relevante y actualizada. Este proceso facilitó la comparación y el análisis crítico de los datos experimentales con la literatura existente, garantizando un respaldo teórico sólido para los resultados obtenidos en la investigación.

3.5. Diseño de la investigación

En el estudio, se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al Azar (DBCA) debido a la necesidad de manipular variables de dosificación para la aplicación edáfica del quitosano.

3.5.1. Factores de estudio

Se utilizó como factor de estudio la aplicación de Quitosano, en forma edáfica en tomate, con tres aplicaciones, las cuales se realizó a los 10, 25 y 40 días después del trasplante.

3.5.2. Tratamientos

Se empleó un total de tres tratamientos más un control, con el objetivo de evaluar el efecto de diferentes dosis de quitosano en el crecimiento y productividad del cultivo de tomate. Los tratamientos se presentan a continuación:

Tabla 3*Tratamientos en estudio*

Tratamientos	Dosis de fuentes de quitosano
T1: Control	Sin quitosano
T2: Quitosano	6 mg L ⁻¹
T3: Quitosano	8 mg L ⁻¹
T4: Quitosano	10 mg L ⁻¹

Elaborado: Autora

3.5.3. Diseño experimental

Se estableció 4 tratamiento, 4 bloques y 6 unidades experimental. Se utilizó un Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Todas las variables de respuesta fueron sometidas al análisis de varianza para la comparación de las medias de los tratamientos. La tabulación de los datos se realizó en Infostat.

Tabla 4*Esquema del análisis de varianza (DBCA) para Diseño de Bloques Completamente al Azar*

Fuente de variación	Grados de libertad		
Bloques	(r-1)	(4-1)	3
Tratamientos	(t-1)	(4-1)	3
Error experimental	(t-1) (r-1)	(4-1) (4-1)	9
Total	(tr- 1)	4(4) - 1	15

Elaborado: Autora

3.6. Instrumentos de investigación

3.6.1. Manejo del experimento

El desarrollo de esta investigación se llevó a cabo en invernadero de la Universidad Técnica Estatal de Quevedo en el Campus Universitario “La María”. A continuación, se detallan las fases específicas de manejo del experimento.

3.6.1.1. Preparación del sustrato para el semillero.

Se preparó el sustrato utilizando una proporción de 4:1, donde se mezclaron cuatro carretillas de tierra negra (previamente tamizada) con una carretilla de compost. Con el apoyo de una pala manual, se mezclaron ambos materiales hasta obtener una textura uniforme, asegurándose de retirar restos indeseables como trozos de madera, piedras y grumos para optimizar la calidad del sustrato.

3.6.1.2. Siembra en semilleros.

Se utilizó bandejas germinadoras para la elaboración de los semilleros, composición que es de 4:1, cuatro carretillas de tierra negra (la cual será previamente cernida con un tamiz) y un compost, después se colocan las semillas de tomate variedad NATY F-1.

3.6.1.3. Llenado de macetas.

Se procedió a llenar las macetas de plástico de 23x23 cm con sustrato húmedo, asegurando que no quedaran espacios de aire. Las macetas fueron dispuestas cuidadosamente en las unidades experimentales, siguiendo el diseño experimental previamente establecido, garantizando condiciones uniformes para el desarrollo del estudio.

3.6.1.4. Trasplante de plántulas.

El trasplante de las plántulas se realizó a los 30 días después de la germinación, asegurando que las plantas se adaptaran adecuadamente. Este proceso se llevó a cabo bajo condiciones de sombra para protegerlas de la exposición directa al sol y minimizar el estrés.

3.6.1.5. Preparación de dosis de quitosano.

Se utilizó un polímero de quitosano comercial (*Sigma-Aldrich, solubilizable en solvente acuoso ácido*). A partir de una solución madre de 5 g de quitosano en 400 ml de agua destilada, acidulada con 5 ml de ácido acético glacial (99 %), se ajustó a pH = 5 con NaOH. Se tomaron alícuotas para preparar las diferentes concentraciones a evaluar: 6, 8 y 10 mg L⁻¹, para su aplicación edáfica.

3.6.1.6. Aplicación de quitosano.

En el cultivo de tomate se realizó de manera edáfica. Utilizando una jeringa, se aplicaron 3.6 ml de cada concentración en cada maceta que contenía plantas de tomate. La aplicación se realizó a los 10, 25 y 40 días después del trasplante. Las concentraciones de quitosano utilizadas en este estudio son comparables con las empleadas por Martínez et al. (2021), quienes evaluaron una amplia gama de concentraciones de quitosano (1 a 2000 mg L⁻¹) en plantas de tomate, mostrando que diferentes concentraciones pueden mejorar el crecimiento y desarrollo. Estos hallazgos respaldan el uso de las concentraciones seleccionadas en este trabajo.

3.6.1.7. Tutorado y amarre.

Veinte días después del trasplante, se realizó el tutorado. Para esto, se colocaron estacas o cañas en los extremos de cada fila de plantas de tomate, creando una línea aérea de alambre. De esta línea se colgaron cuerdas que se ataron a la base de cada planta, permitiendo ajustar los amarres a medida que las plantas crecían.

3.6.1.8. Cosecha.

La cosecha se realizó una vez que los tomates alcanzaron el nivel de madurez óptimo para su comercialización. Se consideró tanto el tiempo transcurrido desde la siembra como el color de los frutos, asegurando que los tomates tuvieran la calidad necesaria para garantizar una vida útil adecuada en el mercado. De esta manera, se favoreció la aceptación del producto por los consumidores.

3.6.2. Variables evaluadas

3.6.2.1. Longitud del tallo (cm).

Se realizó la medición de la altura de las plantas en cada unidad experimental, tomando como referencia la distancia desde la base del tallo hasta el ápice foliar superior. Las mediciones se realizaron a los 30, 45 y 60 días después del trasplante, utilizando una cinta métrica para obtener datos precisos sobre el crecimiento de las plantas.

3.6.2.2. *Diámetro del tallo (cm).*

Se midió el diámetro del tallo de cada planta en las unidades experimentales a los 30, 45 y 60 días después del trasplante, utilizando un calibrador de Vernier que garantizó precisión y uniformidad en los datos recolectados.

3.6.2.3. *Número de flores por planta (U).*

Se realizó el conteo de flores por cada unidad experimental cuando las plantas alcanzaron un 50 % del estado de floración, a los 45 días después del trasplante, y se registraron los datos obtenidos.

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

Se midió el diámetro polar de los frutos por tratamiento utilizando un calibrador de Vernier, lo que permitió obtener mediciones precisas que fueron registradas para el análisis de las diferencias entre tratamientos.

3.6.2.5. *Diámetro ecuatorial de los frutos (cm).*

Se midió el diámetro ecuatorial de los frutos por tratamiento utilizando un calibrador de vernier, y se registraron para su análisis correspondiente.

3.6.2.6. *Peso de fruto por planta (g).*

Se determinó el peso del fruto por planta utilizando una balanza de precisión, asegurando mediciones exactas. Los datos obtenidos fueron registrados meticulosamente para su análisis correspondiente y para evaluar las variaciones entre los diferentes tratamientos aplicados.

3.6.2.7. *Rendimiento (Kg/ha).*

Se consideró el rendimiento por el peso directo que se obtuvieron de todos los frutos evaluados por tratamiento, registrando el total obtenido de cada unidad experimental. Los resultados se expresaron en kg/ha.

3.6.2.8. Análisis económico.

El análisis económico del estudio se realizó mediante la evaluación de la relación beneficio/costo (B/C) de cada tratamiento, incluyendo un grupo control tratado solo con agua. La B/C se calcula dividiendo los ingresos brutos (I.B.) por el costo total de producción (C.T.P.) para cada tratamiento, para cada tratamiento, permitiendo así comparar la rentabilidad de las diferentes alternativas y determinar cuál ofrece el mayor rendimiento económico en función de los costos asociados.

$$B/C = \frac{I.B}{C.T.P}$$

Los resultados del análisis económico se interpretaron cuidadosamente y se utilizaron para tomar decisiones informadas sobre el uso del quitosano como biofertilizante en el cultivo de tomate. Este análisis permitió identificar la dosis más rentable, evaluar su impacto en la rentabilidad global del cultivo y considerar los beneficios a largo plazo en términos de sostenibilidad agrícola, mejorando la eficiencia productiva y reduciendo la dependencia de insumos químicos tradicionales en el manejo del cultivo.

3.7. Tratamiento de los datos

Se realizó el tratamiento de los datos mediante un Análisis de Varianza (ADEVA) de un factor, utilizando un nivel de significancia de 0.05, con el objetivo de comprobar diferencias significativas entre los tratamientos evaluados. Posteriormente, se aplicó el test de Tukey ($P < 0.05$) para realizar comparaciones entre las medias y determinar las diferencias estadísticamente significativas de manera precisa y confiable.

3.8. Recursos humanos y materiales

3.8.1. Recursos humanos

- Evelyn Nieves estudiante
- Ing. Luis Llerena, MSc. Tutor del proyecto de investigación.

3.8.2. *Materiales*

3.8.2.1. *Material Genético.*

- Semillas de tomate Variedad NATY F-1

3.8.2.2. *Materiales agrícolas.*

- Quitosano comercial (*Sigma-Aldrich*)

3.8.2.3. *Materiales de oficina.*

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

3.8.2.4. *Materiales de campo.*

- Bandejas germinadoras.
- Sustrato de siembra.
- Cinta métrica.
- Piolas
- Pala
- Calibrador de Vernier
- Macetas
- Regaderas

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

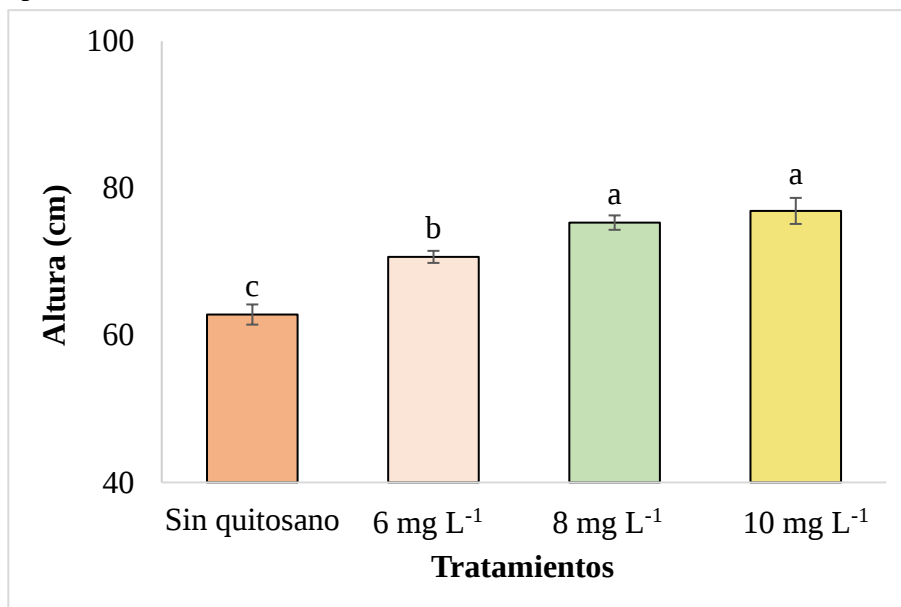
4.1. Resultados

4.1.1. Altura de planta 30 días

De los datos obtenidos de la altura de las plantas en el cultivo de tomate tratado con diferentes aplicación de dosis de quitosano a los 30 días muestra las siguientes observaciones que el Grupo Control T1 - sin quitosano alcanzó una altura promedio entre 62,75 cm y 63,5 cm, siendo el tratamiento con menor crecimiento en comparación con los otros tratamientos que contienen quitosano, el T2 Quitosano 6 mg L⁻¹ promovió un aumento significativo en la altura de las plantas, alcanzando un promedio de 70,67 cm, lo que indica un aumento en el crecimiento en comparación con el grupo control, el T3 Quitosano 8 mg L⁻¹ este tratamiento muestra una mejora adicional en la altura de las plantas, con promedios que van desde 75,5 cm hasta 76,75 cm, lo que sugiere que una mayor concentración de quitosano promueve un mejor crecimiento, el T4 Quitosano 10 mg L⁻¹ la concentración más alta de quitosano resulta en el mayor crecimiento, alcanzando un promedio de 76,92 cm, lo que indica que esta es la concentración más efectiva entre las probadas.

Figura 1

Altura de planta 30 días



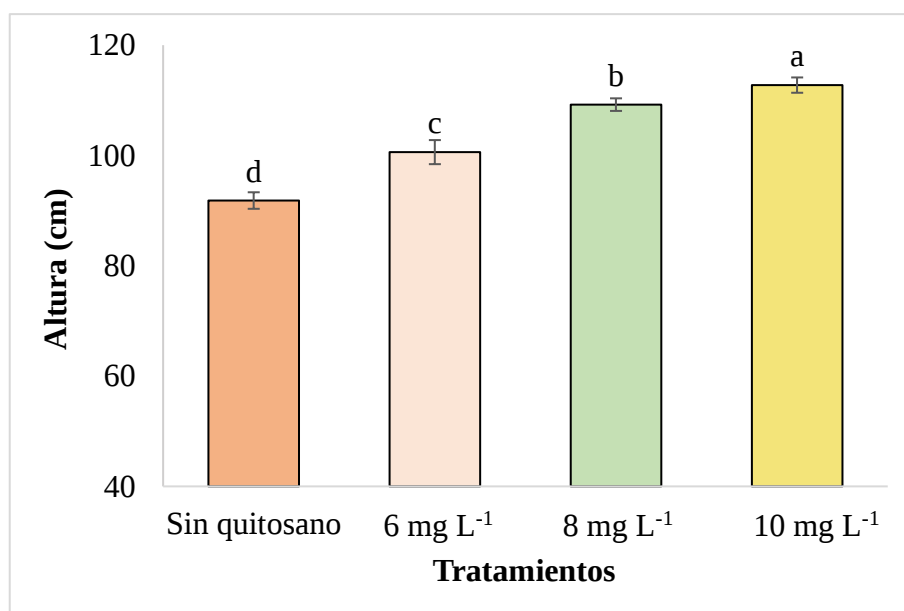
Nota: En la figura 1 se muestra los tratamientos T1 (Control sin Quitosano), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), en altura de planta a los 30 días. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

4.1.2. Altura de planta 45 días

El análisis de los datos de altura de las plantas de tomate tratadas con diferentes concentraciones de quitosano a los 45 días muestra las siguientes observaciones que en Grupo Control T1 - sin quitosano las alturas promedio de las plantas en el grupo control es entre 90,50 cm y 91,67 cm, mostrando el menor crecimiento en comparación con los tratamientos con quitosano, el T2 Quitosano 6 mg L⁻¹ T2 mostró un incremento significativo, alcanzando un promedio de 100,61 cm, Aunque este tratamiento incrementa el crecimiento en comparación con el grupo control, es menos efectivo que las concentraciones más altas de quitosano, el T3 Quitosano 8 mg L⁻¹ este tratamiento muestra una mejora significativa en la altura de las plantas, con promedios que van desde 109,75 cm hasta 110,50 cm, lo que indica que esta concentración es más efectiva que 6 mg L⁻¹, el T4 Quitosano 10 mg L⁻¹ la concentración más alta de quitosano continúa siendo la más efectiva, alcanzando un promedio de 112,77 cm. lo que indica que esta dosis produce el mayor crecimiento en las plantas de tomate.

Figura 2

Altura de planta 45 días



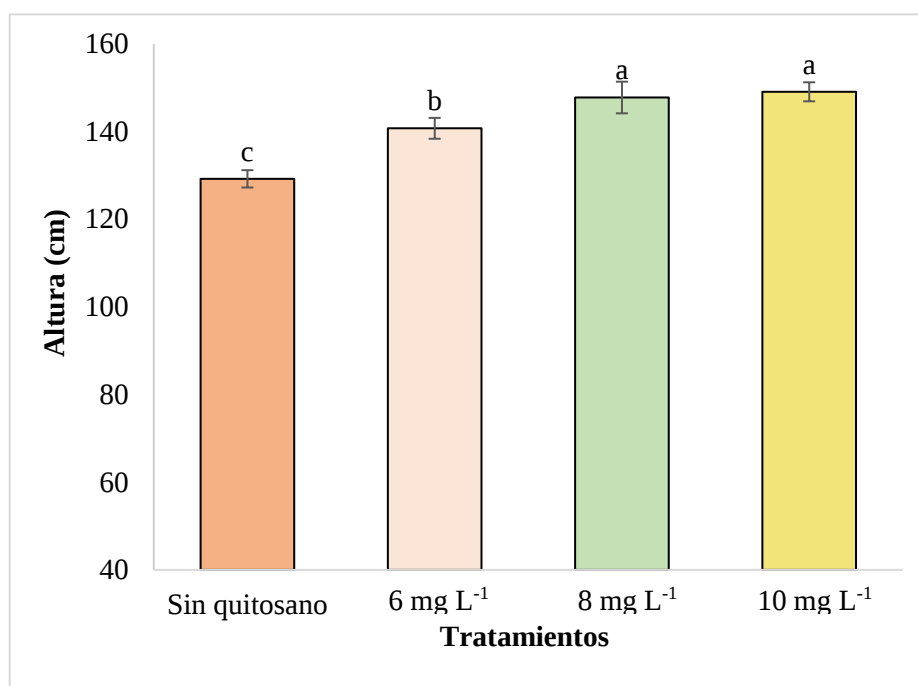
Nota: En la figura 2 se muestra los tratamientos T1 (sin Quitosano), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), en altura de planta a los 45 días. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

4.1.3. Altura de planta 60 días

El análisis de los datos obtenidos del cultivo de tomate, tratados con diferentes concentraciones de quitosano, revela una tendencia clara de incremento en la altura promedio de las plantas a los 60 días después del trasplante. Las plantas del tratamiento T1 (sin quitosano/control) presentaron la menor altura promedio en todas las repeticiones, alcanzando 129,22 cm. En contraste, las plantas tratadas con T2 quitosano 6 mg L⁻¹, mostraron un aumento significativo en la altura, con un promedio de 140,75 cm. Los tratamientos con mayores concentraciones de quitosano, T3 quitosano 8 mg L⁻¹ y T4 quitosano 10 mg L⁻¹, registraron las alturas más elevadas, con promedios de 147,78 cm y 149,08 cm, respectivamente. Estas diferencias en la altura de las plantas fueron estadísticamente significativas cuando se compararon con los tratamientos de menor concentración o sin quitosano.

Figura 3

Altura de planta 60 días



Nota: En la figura 3 se muestra los tratamientos T1 (Control sin quitosano), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), en altura de planta a los 60 días. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

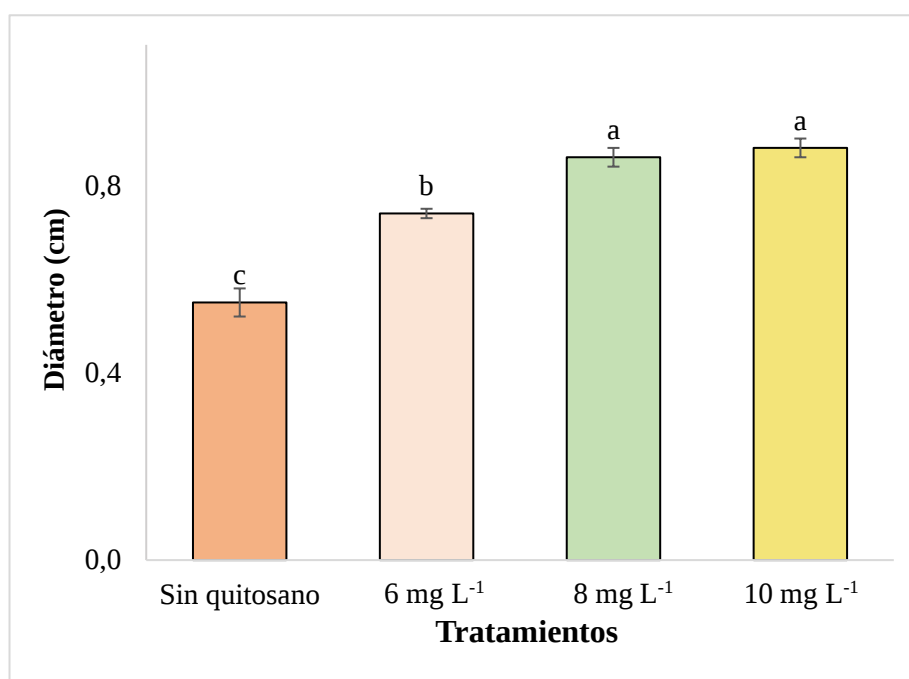
4.1.4. Diámetro de tallo 30 días

El análisis de los datos de diámetro del tallo de las plantas de tomate a los 30 días bajo diferentes dosis de quitosano revela un patrón claro de incremento en el diámetro con el aumento de la dosis de quitosano.

Tratamiento T1 Sin quitosano tuvieron el menor diámetro promedio en todas las repeticiones, alcanzando un promedio de 0,55 cm. el tratamiento T2 Quitosano 6 mg L⁻¹ Este mostró un incremento en el diámetro promedio de las plantas en comparación con el control, alcanzando un promedio de 0,74 cm. el tratamiento T3 Quitosano 8 mg L⁻¹ Al aumentar la dosis de quitosano a 8 mg L⁻¹, el diámetro promedio de las plantas continuó aumentando, alcanzando un promedio de 0,86 cm, el tratamiento T4 Quitosano 10 mg L⁻¹ Este tratamiento, con la dosis más alta de quitosano, produjo las plantas con el mayor diámetro promedio. Al igual que en el caso de la altura, se observa una relación positiva entre la dosis de quitosano y el diámetro del tallo de las plantas de tomate.

Figura 4

Diámetro de tallo 30 días



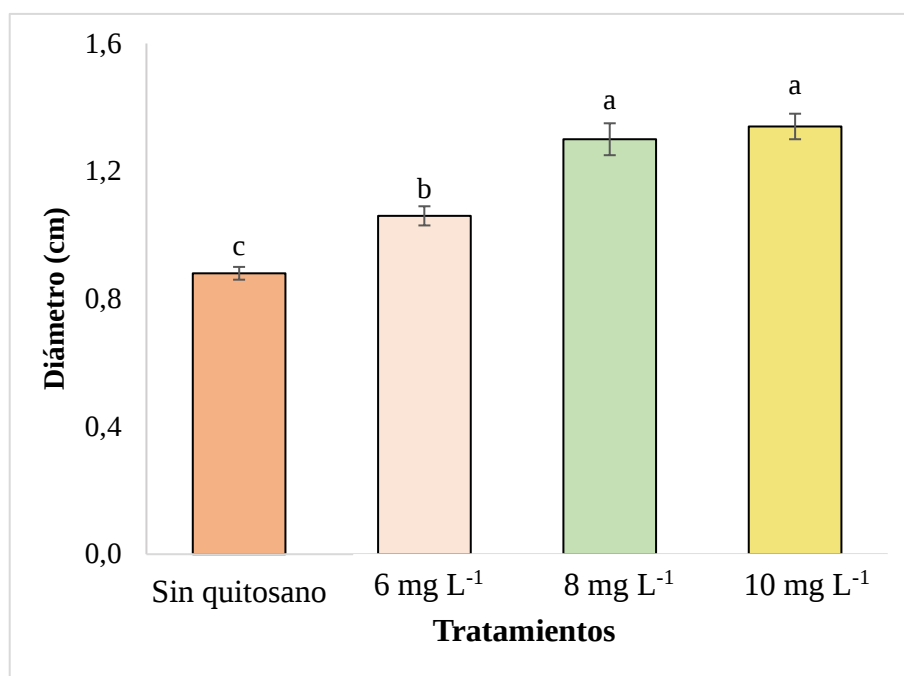
Nota: En la figura 4 se muestra los tratamientos T1 (Control sin quitosano), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), en diámetro de tallo a los 30 días. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

4.1.5. Diámetros de tallo 45 días

El análisis de los diámetros del tallo de las plantas de tomate a los 45 días con diferentes dosis de quitosano revela una relación positiva entre el aumento de la dosis y el diámetro del tallo. Las plantas del tratamiento T1 (sin quitosano) presentaron el menor diámetro promedio, con 0.88 cm, lo cual indica un desarrollo limitado frente a los tratamientos con quitosano. En el tratamiento T2 (6 mg L⁻¹ de quitosano) se observó un incremento en el diámetro del tallo, alcanzando un promedio de 1.06 cm, lo que sugiere que una concentración moderada de quitosano empieza a impactar positivamente el crecimiento del tallo en esta fase. El tratamiento T3 (8 mg L⁻¹ de quitosano) presentó un diámetro promedio de 1.30 cm, lo que evidenció una mejora significativa respecto al T2. Por otro lado, el tratamiento T4 (10 mg L⁻¹ de quitosano) no mostró diferencias significativas en comparación con T3, sugiriendo que a partir de esta dosis el crecimiento se estabiliza.

Figura 5

Diámetros de tallo 45 días



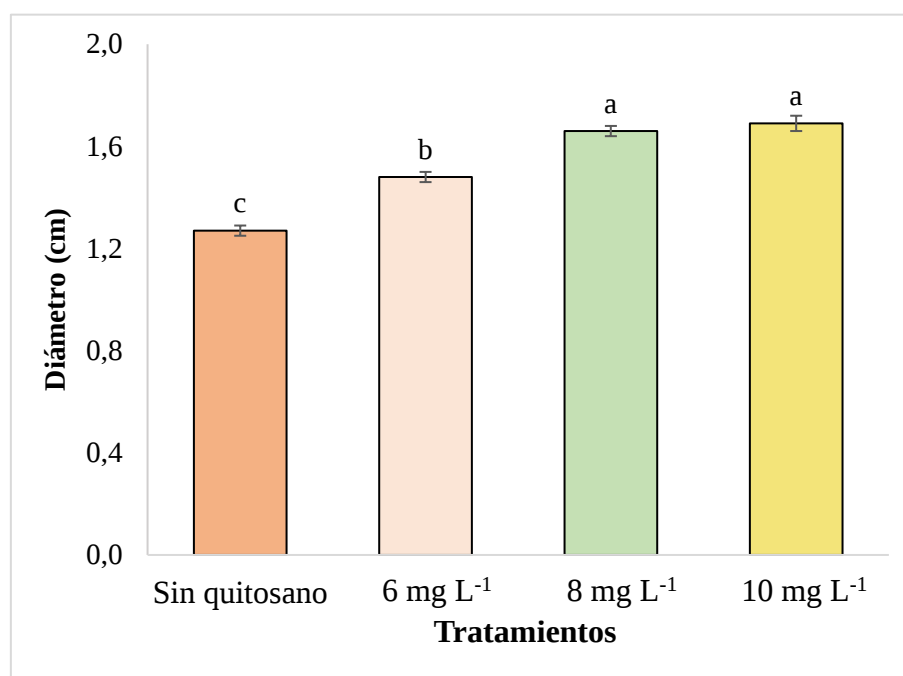
Nota: En la figura 5 se muestra los tratamientos T1 (Sin quitosano), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), en diámetro de tallo a los 45 días. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

4.1.6. Diámetro de tallo 60 días

El tratamiento T1 (sin quitosano) mostró un diámetro promedio de 1,28 cm, evidenciando que la ausencia de quitosano limita el desarrollo del tallo, especialmente en las etapas avanzadas de crecimiento. Por su parte, el tratamiento T2 (quitosano 6 mg L⁻¹) presentó un aumento significativo en el diámetro promedio de las plantas, alcanzando 1,48 cm, lo que sugiere que esta dosis contribuye al fortalecimiento estructural del tallo. En cuanto a los tratamientos T3 (quitosano 8 mg L⁻¹) y T4 (quitosano 10 mg L⁻¹), ambos destacaron por obtener los mayores diámetros de tallo, con promedios de 1,66 cm y 1,70 cm, respectivamente. Estas diferencias fueron estadísticamente significativas en comparación con los tratamientos de menor concentración o sin quitosano, demostrando que las dosis más altas de quitosano promueven un crecimiento más robusto en las plantas. Estos resultados refuerzan el potencial del quitosano para optimizar el desarrollo agronómico del cultivo de tomate.

Figura 6

Diámetro de tallo 60 días



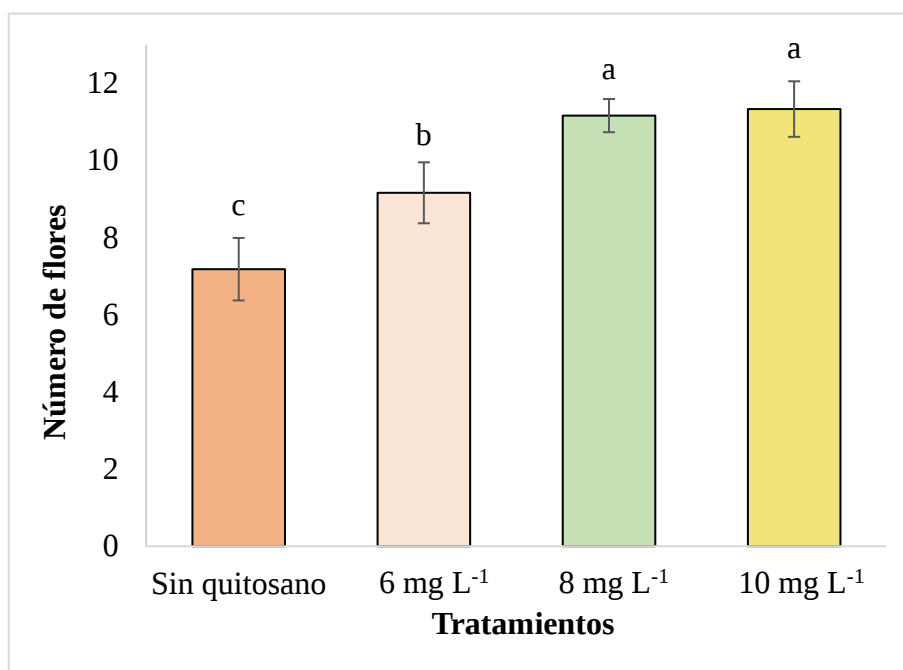
Nota: En la figura 6 se muestra los tratamientos T1 (Control), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), en diámetro de tallo a los 60 días. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

4.1.7. Numero de flores

El análisis del número de flores en plantas de tomate bajo diferentes dosis de quitosano revela una tendencia clara en la que el tratamiento con quitosano aumenta el número promedio de flores por planta. En el tratamiento control las plantas que no recibieron quitosano presentaron el menor número de flores en todas las repeticiones, alcanzó un promedio de 7,19 flores, siendo el tratamiento con menor cantidad de flores. Esto sugiere que la ausencia de quitosano puede estar relacionada con un menor desarrollo reproductivo de las plantas. El tratamiento T2 con la aplicación de 6 mg L⁻¹ de quitosano, se observa un incremento en el número de flores por planta, alcanzando un promedio de 9,17 flores por planta. Aunque se observa un aumento en la floración, los resultados no son tan pronunciados como en los tratamientos con dosis más altas de quitosano. Los tratamientos T3 Quitosano 8 mg L⁻¹ y T4 10 mg L⁻¹ mostraron un promedio de flores mayor, con valores entre 11,17 y 11,33 flores por planta.

Figura 7

Número de flores



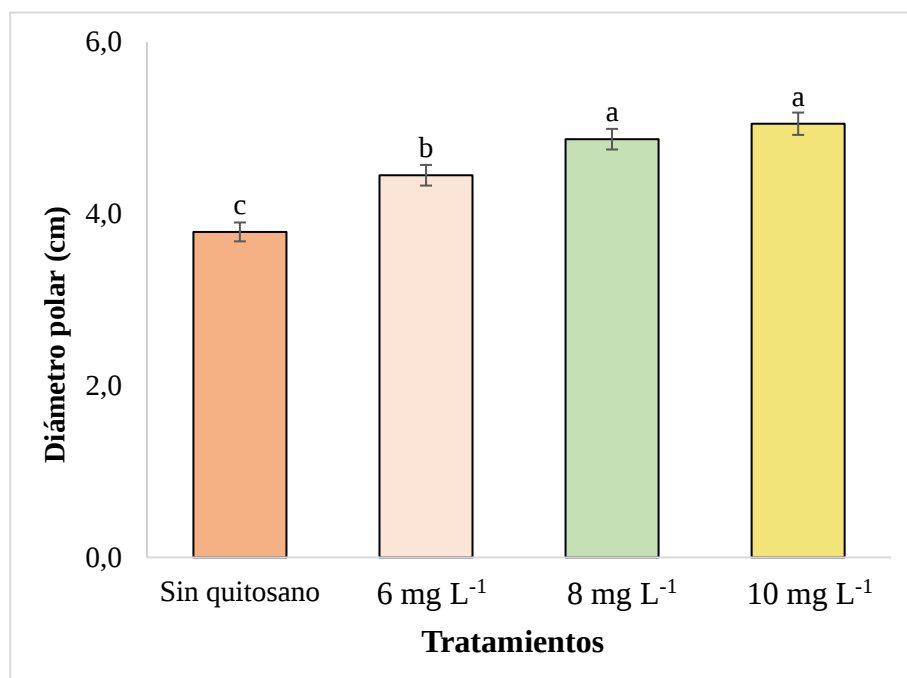
Nota: En la figura 7 se muestra los tratamientos T1 (Control), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), numero de flores. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

4.1.8. Diámetro polar

El análisis del diámetro polar de los frutos en plantas de tomate tratadas con diferentes dosis de quitosano evidencia que este compuesto mejora el diámetro promedio de los frutos en comparación con el control sin quitosano. Los frutos del grupo control T1 registró el menor diámetro promedio, con 3,80 cm. En los diámetros de frutos del tratamiento T2, con 6 mg L⁻¹ de quitosano, se observó un incremento significativo, alcanzando un promedio de 4,45 cm, lo que refleja una mejora notable respecto al control. Los diámetros de frutos de las plantas del tratamiento T3 tratadas con 8 mg L⁻¹ de quitosano mostraron un diámetro promedio de 4,87 cm, confirmando un efecto positivo adicional frente al tratamiento con 6 mg L⁻¹. Por último, el tratamiento T4, con 10 mg L⁻¹ de quitosano, obtuvo el mayor diámetro polar, alcanzando un promedio de 5,06 cm. Estos resultados destacan el potencial del quitosano para optimizar el desarrollo de los frutos en el cultivo de tomate, siendo más efectivo a dosis altas.

Figura 8

Diámetro polar



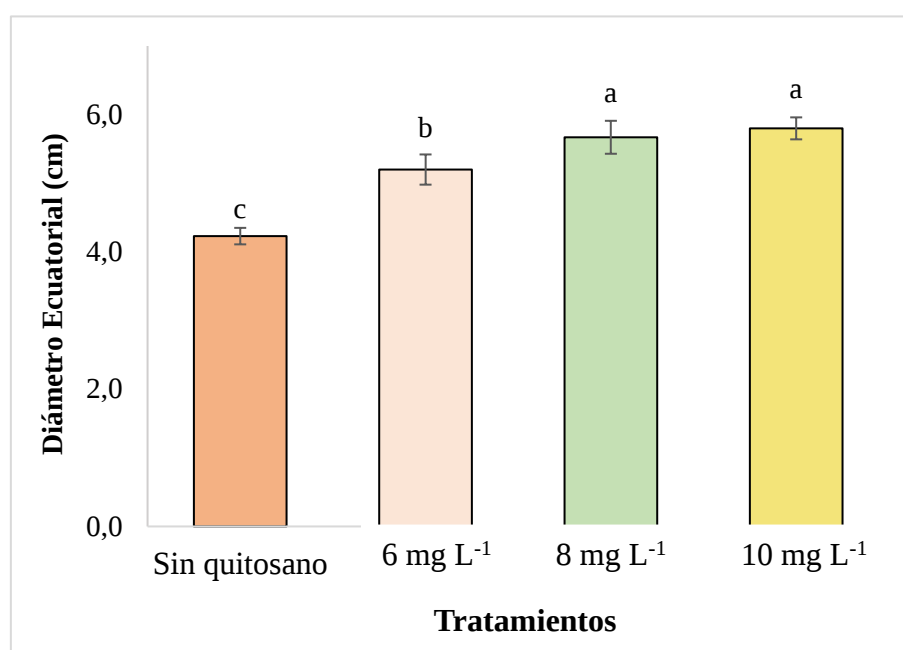
Nota: En la figura 8 se muestra los tratamientos T1 (Control), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), diámetro polar. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

4.1.9. Diámetro ecuatorial

En este análisis de los tamaños de frutos de tomate bajo diferentes dosis de quitosano, se observan variaciones en el promedio del tamaño de los frutos para cada tratamiento. Los frutos del tratamiento T1 control muestran un tamaño promedio alcanzando de 4,24 cm. Aunque algunos frutos alcanzan tamaños respetables, el promedio general es menor en comparación con los tratamientos con quitosano. El tratamiento T2 Quitosano 6 mg L⁻¹ muestra un promedio de 5,21 cm. Los tratamientos T3 Quitosano 8 mg L⁻¹ (5,67cm) y T4 10 mg L⁻¹ m (5,8cm) obtuvieron los valores más altos en relación al diámetro Ecuatorial. No obstante, no se observaron diferencias significativas entre ambos tratamientos.

Figura 9

Diámetro ecuatorial



Nota: En la figura 9 se muestra los tratamientos T1 (Control), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), diámetro ecuatorial. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

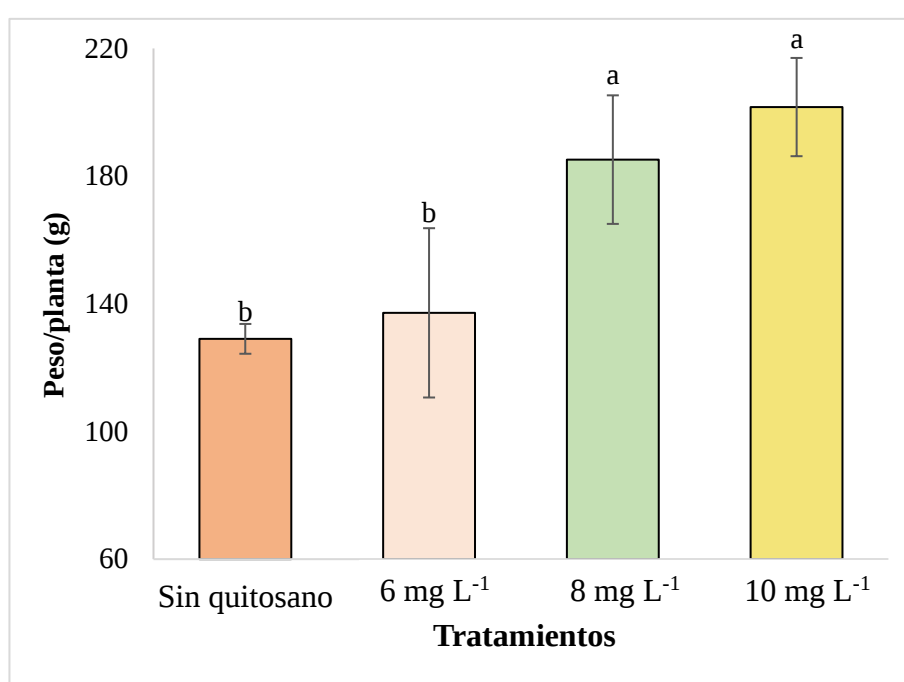
4.1.10. Peso fruto (g)

El análisis en el cultivo de tomate bajo diferentes dosis de quitosano reveló las siguientes observaciones. El peso promedio del fruto por planta mostró variaciones importantes entre

los tratamientos. El tratamiento T1 Sin quitosano registró el menor peso promedio, con 129,02 g. El tratamiento T2 con 6 mg L⁻¹ presentó un incremento en el peso promedio del fruto, alcanzando 137,16 g, aunque sin diferencias significativas respecto al grupo control. Los tratamientos con 8 mg L⁻¹ y 10 mg L⁻¹ mostraron incrementos significativos en el peso de los frutos en comparación con los tratamientos anteriores. T3 alcanzó un promedio de 185,53 g, mientras que T4 logró el mayor peso promedio, con 201,63 g siendo el tratamiento con mejor peso de frutos por planta.

Figura 10

Peso fruto



Nota: En la figura 10 se muestra los tratamientos T1 (Control), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), peso de fruto por planta. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

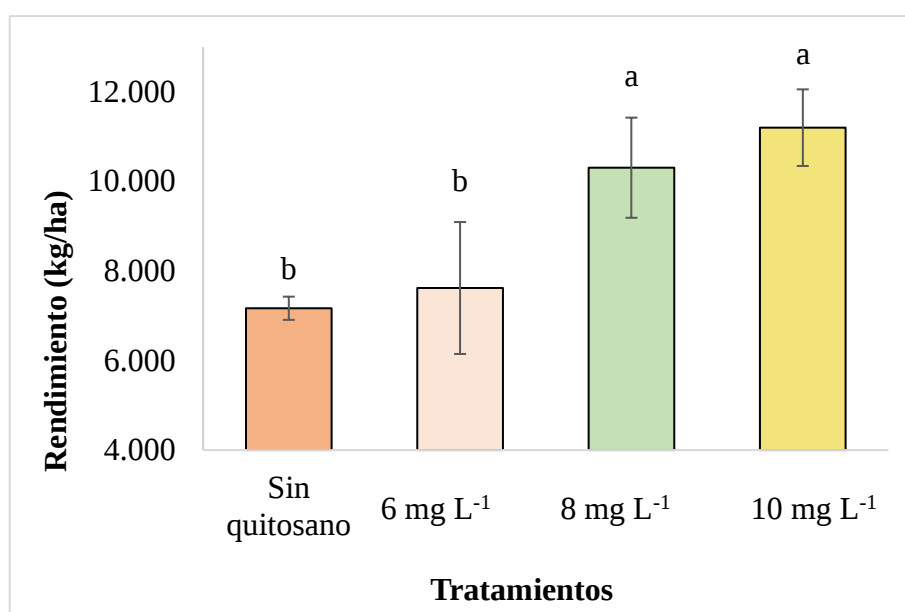
4.1.11. Rendimiento (kg/ ha)

El análisis del rendimiento muestra diferencias significativas entre los tratamientos. El tratamiento T1 sin quitosano registró un rendimiento promedio de 791,09 g, siendo el de menor productividad. En el tratamiento T2 con 6 mg L⁻¹ de quitosano, el rendimiento aumentó a 898,86 g, aunque sin mostrar diferencias significativas respecto al control, según

el análisis de Tukey. Por otro lado, las plantas tratadas con 8 mg L⁻¹ de quitosano (T3) alcanzaron un rendimiento promedio de 1128,58 g, lo que representa un incremento significativo en la productividad. Finalmente, el tratamiento con 10 mg L⁻¹ de quitosano (T4) logró el mayor rendimiento, con un promedio de 1186,93 g por planta. Aunque no se observaron diferencias significativas entre los tratamientos con 8 mg L⁻¹ y 10 mg L⁻¹, ambos superan claramente a las dosis más bajas en términos de rendimiento.

Figura 11

Rendimiento



Nota: En la figura 11 se muestra los tratamientos T1 (Control), T2 (Quitosano 6 mg L⁻¹), T3 (Quitosano 8 mg L⁻¹), y T4 (Quitosano 10 mg L⁻¹), rendimiento kg/ha. Las barras representan el valor promedio, mientras que las líneas verticales sobre el promedio indican la desviación estándar. Las letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los tratamientos.

4.1.12. Análisis económico

La tabla muestra que la aplicación de quitosano en los diferentes tratamientos incrementa el rendimiento y los ingresos, con variaciones en la rentabilidad y el beneficio/costo (B/C) entre ellos. Aunque el tratamiento T1 control presenta un B/C de 2,06 y una rentabilidad de 206,17%, lo cual lo hace viable, su rendimiento y ganancias son inferiores en comparación con los tratamientos que utilizan quitosano. El tratamiento T2 mejora el rendimiento y el ingreso neto en comparación con el control, aumentando el B/C a 2,20 y la rentabilidad a

220,02%, lo cual lo hace más rentable que el control. El tratamiento T3 muestra una mejora notable, alcanzando un B/C de 3,33 y una rentabilidad de 332,53%, además de generar un ingreso neto significativamente mayor, posicionándose como una opción muy rentable. Por último, el tratamiento T4 destaca por obtener el mejor rendimiento, ingreso neto, y B/C de 3,70, con una rentabilidad de 369,69%, lo que lo convierte en la opción más viable y rentable entre todos los tratamientos evaluados. Los tratamientos T3 y T4 son los más rentables, con T4 sobresaliendo en términos de rendimiento, ingreso neto y rentabilidad. Por ello, el tratamiento T4 es la opción más recomendada debido a su mayor B/C y rentabilidad, seguido de cerca por T3.

Tabla 5

Análisis económico

Tratamientos	Rendimiento (Kg/ha)	Ingreso bruto (\$)	Costo	Ingreso	B/C	Rentabilidad (%)
			total (\$)	neto (\$)		
CONTROL	7167,64	9317,93	3043,375	6274,56	2,06	206,17
T2	7620,27	9906,35	3095,575	6810,78	2,20	220,02
T3	10307,35	13399,56	3097,975	10301,58	3,33	332,53
T4	11201,77	14562,30	3100,375	11461,92	3,70	369,69

Elaborado: Autora

4.2. Discusión

De los datos obtenidos en esta investigación se confirman la efectividad del quitosano como bioestimulante, mostrando un impacto favorable en el tamaño y productividad de *Solanum lycopersicum* bajo aplicación edáfica. Este hallazgo concuerda con estudios previos, que han documentado las propiedades del quitosano para estimular el crecimiento vegetal, mejorar la respuesta defensiva de las plantas y optimizar la absorción de nutrientes (Pichyangkura y Chadchawan, 2015). En el contexto de esta investigación, la aplicación de quitosano en concentraciones de 6, 8 y 10 mg L⁻¹ produjo mejoras notables en los caracteres agronómicos evaluados, como el tamaño de la planta, el diámetro del tallo, el número de flores y el rendimiento de los frutos.

Uno de los mecanismos principales del quitosano en las plantas es su capacidad para estimular la producción de fitoalexinas y otros compuestos defensivos, lo cual fortalece la resistencia de las plantas contra enfermedades y, como resultado, permite un crecimiento más vigoroso. Este efecto fue reportado por Martínez Núñez et al. (2021), quienes indicaron que el quitosano promueve el crecimiento temprano en plantas al incrementar el grosor del tallo y la altura. Esto coincide con los resultados del presente estudio, en el que las plantas tratadas con concentraciones de 8 mg L⁻¹ y 10 mg L⁻¹ de quitosano mostraron un mayor desarrollo en cuanto al grosor del tallo y altura en comparación con las plantas no tratadas, como también describieron Guan et al. (2022).

Respecto a la altura de la planta, los tratamientos con quitosano revelaron una tendencia clara al aumento frente al grupo control. A los 30 días, el tratamiento con 6 mg L⁻¹ de quitosano mostró un incremento significativo en altura, alcanzando un promedio de 70.67 cm, en comparación con los 62.75 cm del grupo control. Estas observaciones son coherentes con los hallazgos de Martínez Núñez et al. (2021), quienes también reportaron que dosis bajas de quitosano estimulan el crecimiento temprano de las plantas. Esta tendencia es aún más evidente a los 60 días, con el tratamiento de 10 mg L⁻¹ alcanzando el mayor crecimiento, con un promedio de 149.08 cm. Esto apoya los resultados de Gonzales et al. (2017), quienes sostienen que el quitosano actúa como estimulante de crecimiento al mejorar la absorción de nutrientes y favorecer el desarrollo celular.

Además de sus efectos sobre el crecimiento vegetativo, el quitosano también tiene impacto en los procesos reproductivos de las plantas. En este estudio se observó un aumento en el número de flores en las plantas tratadas con quitosano, particularmente en las dosis de 8 mg L⁻¹ y 10 mg L⁻¹. Esto coincide con los resultados de Wang et al. (2019), quienes concluyeron que el quitosano incrementa la capacidad reproductiva de las plantas al potenciar la síntesis de hormonas vegetales como las auxinas y giberelinas, las cuales regulan la floración y la fructificación.

En cuanto a la producción de frutos, el quitosano facilitó una mayor movilización de nutrientes desde las raíces hacia las estructuras productivas, mejorando así el llenado de los frutos y aumentando el peso promedio por planta. Los resultados de este estudio muestran que las plantas tratadas con las concentraciones más altas de quitosano (8 mg L⁻¹ y 10 mg L⁻¹) alcanzaron los mayores rendimientos en peso y tamaño de los frutos, en concordancia con los hallazgos de Molina Zerpa et al. (2017), quienes señalaron que el quitosano favorece la absorción de nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio, incrementando la fotosíntesis y la acumulación de biomasa en los frutos.

En términos de rentabilidad, los resultados de esta investigación sugieren que el uso de quitosano es económicamente viable. Los tratamientos T3 y T4, con concentraciones de 8 y 10 mg L⁻¹ de quitosano, mostraron los valores más altos de beneficio/costo (B/C), con 3.33 y 3.70, y una rentabilidad de 332.53% y 369.69%. Estos hallazgos son consistentes con los resultados de Molina Zerpa et al. (2017), quienes demostraron que la aplicación de quitosano incrementa la rentabilidad del cultivo al mejorar la eficiencia en la absorción de nutrientes y el rendimiento general de la planta. De manera similar, Gonzales et al. (2017) observaron que el quitosano eleva la relación B/C en cultivos hortícolas, maximizando los ingresos sin aumentar significativamente los costos de producción.

En comparación, el presente estudio también demuestra que el tratamiento T4 (10 mg L⁻¹) es particularmente rentable, lo que podría atribuirse a las condiciones específicas de suelo y manejo agrícola implementadas. Los estudios de Wang et al. (2018), también respaldan estos resultados al señalar que el quitosano incrementa la síntesis de hormonas de crecimiento, promoviendo un desarrollo robusto de la planta y una mayor producción de frutos, lo que, en última instancia, contribuye a una mayor rentabilidad.

CAPITULO V
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

La aplicación de quitosano en concentraciones de 6, 8 y 10 mg L⁻¹ aumentó notablemente el crecimiento de las plantas de tomate en comparación con el grupo control. Las plantas tratadas con 10 mg L⁻¹ de quitosano alcanzaron en promedio a los 60 días, de 149.08 cm de altura, lo que sugiere que el quitosano es un bioestimulante eficaz para promover el crecimiento vegetal.

El uso de quitosano incrementó la productividad del cultivo de tomate, reflejándose en un mayor diámetro de los frutos. El tratamiento T4 con 10 mg L⁻¹ de quitosano, registró los mayores valores, con un diámetro polar de 5,06 cm y ecuatorial de 5,8 cm, superando al control, que presentó un diámetro polar de 3,80 cm y ecuatorial de 4,24 cm. Esto demuestra la eficacia del quitosano para mejorar la producción agrícola.

La aplicación de quitosano en los tratamientos evaluados resultó económicamente rentable, especialmente en las dosis de 8 y 10 mg L⁻¹, donde se obtuvo una relación beneficio/costo de 3,33 y 3,70, y rentabilidades de 332,53 % y 369,69 %, respectivamente favorable. Estos resultados sugieren que el quitosano es una alternativa viable tanto desde el punto de vista agronómico como económico, contribuyendo al incremento de los ingresos sin una elevación sustancial de los costos de producción.

5.2. Recomendaciones

Evaluar el desempeño del quitosano bajo distintas condiciones de cultivo (campo abierto o invernadero) y en diferentes variedades de tomate para asegurar que sus beneficios sean consistentes en diversas situaciones agronómicas.

Realizar estudios adicionales para ajustar las dosis de quitosano, con el fin de encontrar la concentración óptima que maximice los beneficios agronómicos y económicos, garantizando una alta productividad con una relación costo/beneficio favorable.

Investigar la posibilidad de combinar quitosano con otros bioestimulantes o fertilizantes naturales para mejorar su eficiencia. Esto podría ayudar a reducir la cantidad de quitosano necesario por planta, disminuyendo los costos sin comprometer la productividad y rentabilidad del cultivo.

CAPITULO VI
BIBLIOGRAFIA

6.1. Bibliografía

- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., y Ibraheem, I. B. M. (2019). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.04.005>
- Abdel-Raouf, N., Al-Homaidan, A. A., y Ibraheem, I. B. M. (2019). Microalgae and wastewater treatment. *Saudi Journal of Biological Sciences*. <https://doi.org/10.1016/j.sjbs.2019.04.005>
- Agronet. (2020). *Naty F1 - Tomate híbrido para invernadero y campo abierto*. Agronet Catálogo de Variedades.
- Allende, M. (2017). *Importancia y consideraciones del cultivo de tomate*. Santiago de Chile: Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA).
- Alshaal, T., y El-Ramady, H. (2017). Foliar application: From plant nutrition to biofortification. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 1(2017), 71–83.
- Bhaskara, G., Suresh, R., y Jayaprakash, N. (1999). Quitosano: aplicaciones y eficacia en la protección de cultivos. *Journal of Plant Protection*, 36(4), 87–96.
- Bautista-Baños, S., Bosquez-Molina, E., & Gómez-Lim, M. (2020). Advances in the use of chitosan as a bioactive compound for crop protection. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 39(3), 204–224.
- Blancard, D. (2011). La enfermedad del tomate en el contexto global: Impactos y soluciones. *Agricultura Global*, 4(3), 235–242.
- Burgos, R. (2020). Impacto del uso excesivo de fertilizantes en la agricultura. *Ciencias Ambientales*, 31(4), 320–329.
- Brown, P., y Saa, S. (2015). Fertilizantes foliares y salud de las plantas: Más allá del suministro de nutrientes. *Journal of Plant Physiology*, 177, 1–9. <https://doi.org/10.1016/j.jplph.2014.12.001>
- Calvo, P., Nelson, L., y Kloepper, J. W. (2014). Agricultural uses of plant biostimulants. *Plant and Soil*, 383(1–2), 3–41.
- Carrera, L. M., Rodríguez, E., y Vargas, J. C. (2021). El uso de quitosano en la agricultura: Potencial bioestimulante para cultivos. *Revista Colombiana de Biotecnología*, 23(1), 45–58.
- Casson, S., y Lindsey, K. (2019). Developmental biology of plant roots: Physiology and response mechanisms. *Journal of Experimental Botany*, 70(8), 2117–2130. <https://doi.org/10.1093/jxb/erz123>

- Centro de Información de Recursos Naturales (CIREN). (2016). *Descripción morfológica del tomate: Sistema radicular y estructura del tallo*. Recuperado de <https://bibliotecadigital.ciren.cl>
- Chanaluiza, J., Álvarez, A., Reyes, J., y Lizarde, A. (2022). Respuesta agronómica y fitosanitaria de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la aplicación de quitosano en condiciones controladas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 10(1), 139–145. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/528>
- Chiquito Contreras, R. G., Reyes Pérez, J. J., Troyo Diéguez, E., Rueda Puente, E. O., Torres Rodríguez, J. A., y Murillo Amador, B. (2018). Crecimiento de plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) tratadas con humato de vermicompost. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9(spe20), 4187–4197. <https://doi.org/10.29312/REMEXCA.V0>
- Coronel, E. (2019). Desarrollo de la producción de tomate en la Sierra y Costa de Ecuador. *Investigaciones Agropecuarias Ecuatorianas*, 6(2), 78–85.
- Cruz, G. M., Ramos, A. J., y Paredes, M. L. (2022). Caracterización de caracteres agronómicos en cultivos de importancia económica. *Revista Mexicana de Fitotecnia*, 43(1), 101–113.
- Davarpanah, S., Tehranifar, A., y Davarynejad, G. (2020). Eficacia de la aplicación foliar en prácticas agrícolas: Gestión de nutrientes en cultivos. *Scientia Horticulturae*, 273, 109608. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109608>
- Demesio, R., Pérez, A., Brito, J. D., Guerra, R., y Re, S. S. (2016). Indicadores morfológicos y productivos del cultivo del tomate en invernadero con manejo agroecológico en las condiciones de la Amazonía Ecuatoriana. *Centro Agrícola*, 43(1), 71–76.
- Doolette, A. L., McLaughlin, M. J., y Kirby, J. K. (2018). Fertilización foliar de nutrientes esenciales en cultivos. *Plant and Soil*, 426(1–2), 5–18. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-3605-6>
- Doria, R. (2010). El beneficio de semillas: Procesos y técnicas. *Revista de Semillas*, 36(2), 89–94.
- Esquinas-Alcázar, J., y Nuez, F. (1995). Situación y perspectivas del cultivo del tomate en el mundo.
- FAO. (2017). Estado de la producción mundial de tomate. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*.
- Flaño, R. (2019). El quitosano como alternativa sostenible en cultivos agrícolas. *Revista de Biopolímeros y Agricultura*, 3(1), 21–30.

- Florido, J., y Álvarez, M. (2015). Producción y comercio del tomate en mercados internacionales. *Revista de Horticultura Global*, 10(3), 15–25.
- Foolad, M. R. (2007). Genome mapping and molecular breeding of tomato. *International Journal of Plant Genomics*, 2007.
- Freepons, S. (1991). Fuentes no tradicionales de quitosano y sus usos potenciales en la agricultura. *Aplicaciones de Biopolímeros*, 12(3), 100–110.
- González, F., González, M., y Martínez, L. (2017). Efectos del quitosano en el crecimiento y productividad de plantas de tomate en condiciones controladas. *Journal of Plant Nutrition*, 40(7), 1130–1139.
- Guan, Z., Feng, Q., y Liu, J. (2022). Quitosano y quitoooligosacárido: Los prometedores prebióticos no derivados de plantas con múltiples actividades biológicas. *Revista Internacional de Ciencias Moleculares*, 23(12), 6761.
- Guo, J. H., Liu, X. J., Zhang, Y., Shen, J. L., Han, W. X., Zhang, W. F., y Zhang, F. S. (2010). Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 327(5968), 1008–1010.
- Hu, Z., y Li, H. (2005). Prácticas agrícolas y desarrollo sostenible: Técnicas de fertilización y consideraciones ambientales. *Publicaciones Académicas*.
- Infoagro. (2019). *Tomato crop guide: Climate requirements for tomato cultivation*. Recuperado de www.infoagro.com
- Instituto de Investigaciones Agropecuarias. (2017). *Manual de cultivo del tomate al aire libre*. Santiago, Chile: INIA.
- Instituto Nacional de Innovación y Transferencia en Tecnología Agropecuaria. (2017). *Manual técnico del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*). San José, Costa Rica: INTA.
- Iriti, M., Picchi, I. V., Rossoni, M., Gomarasca, S., Ludwig, N., Gargano, M., y Faoro, F. (2022). Chitosan antitranspirant activity is due to abscisic acid-dependent stomatal closure. *Environmental and Experimental Botany*, 191, 104636.
- Jones Jr, J. B. (2007). *Tomato plant culture: In the field, greenhouse, and home garden*.
- Liu, J., Shu, A., Song, W., Shi, W., Li, M., Zhang, W., ... y Gao, Z. (2021). Long-term organic fertilizer substitution increases rice yield by improving soil properties and regulating soil bacteria. *Geoderma*, 404, 115287.
- Magaña-Lira, N., Peña-Lomelí, A., y López-Martínez, V. (2015). El mejoramiento participativo de tomate de cáscara como estrategia de conservación in situ. *Revista*

- Martínez, A., Pérez, H., y Gómez, M. (2004). Extracción y beneficio de semilla de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.). *Revista Fitotecnia Mexicana*, 42(2), 147–154.
- Martínez, L., Castro, I., Díaz, L., y Núñez, M. (2007). Influencia del tratamiento a semillas con quitosano en el crecimiento de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Cultivos Tropicales*, 28(4), 79–82.
- Maldonado, F., García, P., y Hernández, L. (2017). Efectos del quitosano en la defensa y crecimiento de plantas de tomate. *Agroecología y Sostenibilidad*, 5(2), 34–42.
- Medina, M. (2010). La productividad agrícola y sus factores determinantes. *Revista de Economía y Agricultura*, 27(1), 15–20.
- Morales, S., Rivera, J., y Hernández, A. (2015). Eficacia del quitosano en cultivos agrícolas: Un enfoque experimental. *Revista de Ciencias Biológicas*, 25(2), 158–167.
- Mukhtar Ahmed, K., Khan, M. A., Siddiqui, H., et al. (2019). Chitosan and its oligosaccharides, a promising option for sustainable crop production: A review.
- Naseer, S., Lee, Y., y Laplaze, L. (2019). Function and anatomy of roots: A comparative approach. *Annual Review of Plant Biology*, 70, 1–24.
<https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050718-100423>
- Nge, K. L., y Jensen, H. J. (2006). Quitosano de diferentes fuentes: Efectos sobre la diferenciación de tejidos vegetales. *Plant Cell Reports*, 25(3), 255–261.
<https://doi.org/10.1007/s00299-005-0076-5>
- Nuez, F. (2021). *Catálogo de semillas de tomate*. Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2019). *Materiales para capacitación en semillas: Módulo 3: Procesamiento de semillas, equipo y prácticas*. FAO.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). (2021). *Manual de manejo de semillas: Principios y prácticas para la conservación de semillas*. FAO.
- Peralta, I. E., y Spooner, D. M. (2007). Historia, origen y cultivo temprano del tomate (*Solanaceae*). *Recursos Genéticos y Evolución de Cultivos*, 54(3), 457–461.
- Perveen, R., Suleria, H., Anjum, F., Butt, M., Pasha, I., y Ahmad, S. (2015). Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; Metabolism,

- absorption, nutrition, and allied health claims—A comprehensive review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 55(7), 919–929.
- Pérez, J. (2020). Beneficios del quitosano en el cultivo de tomate. *Revista de Innovación en Agricultura*, 9(3), 75–83.
- Pichyangkura, R., y Chadchawan, S. (2015). Bioestimulantes en el crecimiento de las plantas y la resistencia al estrés: El papel de los biopolímeros. *Acta Horticulturae*, 1081, 265–276. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2015.1081.35>
- Ramírez, S. C., Ortega, H., Fortis, M., Nava, J. M., Orozco, J. A., y Preciado, P. (2022). Nanopartículas de quitosano mejoran la calidad nutracéutica de germinados de triticale.
- Reyes, A., López, M., y Morales, C. (2019). Reducción del uso de pesticidas con quitosano en cultivos sostenibles. *Agrociencia*, 14(3), 55–63.
- Reyes-Pérez, J. J., Ramírez-Arrebato, M. Á., Rodríguez-Pedroso, A. T., Lara-Capistrán, L., y Hernández-Montiel, L. G. (2019). Efecto de QuitoMax® sobre los indicadores de crecimiento, fenología y rendimiento del caupí (*Vigna unguiculata* L.). *Biotecnia*, 21, 45–52.
- Rodríguez Reyes, R. C., Figueredo, J. V., y González, O. S. (2013). Influences of the chitosan in tomato (*Solanum lycopersicum* Mill.) var. Amalia. *Centro Agrícola*, 40(2), 58–64.
- Rowles III, J. L., y Erdman Jr, J. W. (2020). Carotenoids and their role in cancer prevention. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular and Cell Biology of Lipids*, 1865(11), 158613.
- Sandford, P. A., y Hitchings, G. H. (1987). El quitosano como biopolímero agrícola. *Biopolímeros Industriales*, 3(1), 10–18.
- Schwarz, D., Thompson, A. J., y Kläring, H. P. (2014). Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment. *Frontiers in Plant Science*, 5, 625.
- Sharma, H. S. S., Fleming, C., Selby, C., Rao, J. R., & Martin, T. (2019). Plant biostimulants: A review on the processing of biomaterials and effects on plant performance. *Scientific Horticulture*, 243, 123-131.
- Sistema de Información Pública Agropecuaria [SIPA]. (2022). *Informe anual de producción de tomate en Ecuador*. Ministerio de Agricultura y Ganadería de Ecuador.
- Tolaimate, A., Desbrières, J., y Rinaudo, M. (2000). Extracción y caracterización fisicoquímica del quitosano de crustáceos. *Polymer*, 41(7), 2463–2472.

- Velásquez, M. (2008). Efectos del quitosano en la protección de plantas contra patógenos. *Ciencias Agrícolas*, 31(2), 87–93.
- Wang, L., Xue, X., Li, Y., Li, F., Zhang, F., y Guo, W. (2015). Effect of pH upper control limit on nutrient solution component and water spinach growth under hydroponics. *Advance Journal of Food Science and Technology*, 9(4), 717–721. <https://doi.org/10.19026/ajfst.9.1766>
- Wang, Y., y Chen, X. (2019). Effect of chitosan on seed germination, seedling growth and the clubroot control in Chinese cabbage. *Journal of Food Agriculture and Environment*, 12(5), 673–675.
- Zerpa, P., Pérez, L., Rodríguez, M., y Sánchez, J. (2017). Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa* L. Variedad SD20A). *Revista de Bioestimulantes Agrícolas*, 12(3), 45–53.

CAPITULO VII
ANEXOS

7.1. Anexos

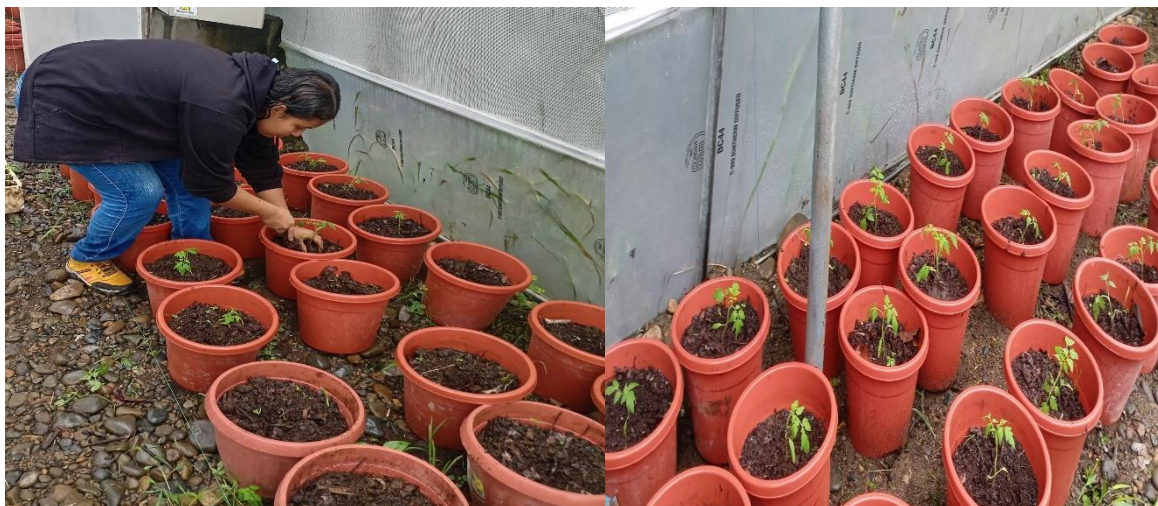
Anexo A. Preparación del sustrato.



Anexo B. Siembra en semillero.



Anexo C. Trasplante de plántulas.



Anexo D. Toma de datos de Altura.



Anexo E. Toma de datos de diámetro.



Anexo F. ADEVAS Análisis de la varianza altura a los 30 días.

Variable	N	R²	R²Aj	CV
Altura 30	16	0,97	0,95	1,78

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	484,7	6	80,78	49,68	<0,0001
BLOQUE	5,34	3	1,78	1,09	0,4006
TRAT	479,36	3	159,79	98,27	<0,0001
Error	14,63	9	1,63		
Total	499,33	15			

Anexo G. ADEVAS Análisis de la varianza altura a los 45 días.

_Variable	N	R²	R²Aj	CV
Altura 45	16	0,98	0,97	1,35

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1065,17	6	177,53	90,57	<0,0001
BLOQUE	13,14	3	4,38	2,23	0,1535
TRAT	1052,03	3	350,68	178,91	<0,0001
Error	17,64	9	1,96		
Total	1082,81	15			

Anexo H. ADEVAS Análisis de la varianza altura a los 60 días.

Variable	N	R²	R²Aj	CV
Altura 60	16	0,98	0,97	1,12

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1051,79	6	175,3	70,06	<0,0001
BLOQUE	59,43	3	19,81	7,92	0,0068
TRAT	992,36	3	330,79	132,21	<0,0001
Error	22,52	9	2,5		
Total	1074,3	15			

Anexo I. ADEVAS Análisis de la varianza diámetro de tallo a los 30 días.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diametro_30	16	0,99	0,98	2,52

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,28	6	0,05	125,35	<0,0001
BLOQUE	2,5E-03	3	8,4E-04	2,28	0,1484
TRAT	0,28	3	0,09	248,41	<0,0001
Error	3,3E-03	9	3,7E-04		
Total	0,28	15			

Anexo J. ADEVAS Análisis de la varianza diámetro de tallo a los 45 días.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diametro_45	16	0,98	0,96	3,18

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,56	6	0,09	69,5	<0,0001
BLOQUE	1,63E-03	3	4,4E-04	0,33	0,8036
TRAT	0,56	3	0,19	138,67	<0,0001
Error	0,01	9	1,3E-03		
Total	0,57	15			

Anexo K. ADEVAS Análisis de la varianza diámetro de tallo a los 60 días.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diametro_60	16	1,00	1,00	0,64

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0,45	6	0,07	191,82	<0,0001
TRAT	0,45	3	0,15	382,3	<0,0001
Bloques	1,6E-03	3	5,2E-04	1,34	0,3209
Error	3,5E-03	9	3,9E-04		
Total	0,73	15			

Anexo L. ADEVAS Análisis de la varianza de Numero de flores

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Numero_de_flores	16	0,90	0,84	7,72

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	46,57	6	7,76	13,82	0,0004
BLOQUE	0,92	3	0,31	0,54	0,6639
TRAT	45,66	3	15,22	27,09	0,0001
Error	5,06	9	0,56		
Total	51,63	15			

Anexo M. ADEVAS Análisis de la varianza de Diámetro polar.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diametro_Polar	16	0,96	0,94	2,75

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3,79	6	0,63	40,33	<0,0001
BLOQUE	0,03	3	0,01	0,61	0,6229
TRAT	3,76	3	1,25	80,04	<0,0001
Error	0,14	9	0,02		
Total	3,93	15			

Anexo N. ADEVAS Análisis de la varianza diámetro ecuatorial de frutos.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV
Diametro_Ecuatorial	16	0,95	0,92	3,64

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6,16	6	1,03	28,37	<0,0001
BLOQUE	0,13	3	0,04	1,2	0,3648
TRAT	6,03	3	2,01	55,54	<0,0001
Error	0,33	9	0,04		
Total	6,48	15			

Anexo O. ADEVAS Análisis de la varianza peso de frutos.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Peso de fruto	16	0,84	0,74	11,22	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	16371,27	6	2728,54	8,13	0,0032
Bloque	1083,64	3	361,21	1,08	0,4071
TRATAMIENTO	15287,63	3	5095,88	15,18	0,0007
Error	3020,95	9	335,66		
Total	19392,22	15			

Anexo P. ADEVAS Análisis de la varianza de rendimiento.

Variable	N	R ²	R ² Aj	CV	
Rendimiento(Kg/ha)	16	0,79	0,74	11,32	
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	50528469,13	6	8421411,52	8,13	0,0032
Bloque	3344105,47	3	1114701,82	1,08	0,4071
TRATAMIENTO	47184363,66	3	15728121,22	15,18	0,0007
Error	9323066,43	9	1035896,27		
Total	59851535,56	15			

Anexo Q. Croquis del experimento.

Bloques	Tratamientos			
I	T1	T4	T3	T2
II	T4	T1	T2	T3
III	T3	T4	T2	T1
IV	T1	T3	T4	T2

Anexo R. Datos del análisis económico.

COSTOS VARIABLES Kg/ha								
"VALORACIÓN DE LA EFICIENCIA DE QUITOSANO EN CARACTERES AGRONÓMICOS Y PRODUCTIVIDAD DE <i>Solanum lycopersicum</i> (TOMATE) MEDIANTE APLICACIÓN EDÁFICA"								
Productos	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL	Control	T2	T3	T4
semilla Naty F1	sobre	23	2,5	57,50	57,50	57,50	57,50	57,50
Quitosano 250g	gr	14,4	2	28,80	0,00	7,20	9,60	12,00
nematicida 1 Litro	Litro	4	31	124,00	124,00	124,00	124,00	124,00
fungicida 125 ml	U	1	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45	9,45
insecticida 1 Litro	Litro	0,15	29,5	4,43	4,43	4,43	4,43	4,43
Pirola	U	67	4	268,00	268,00	268,00	268,00	268,00
COSTOS TOTAL VARIABLES / TRATAMIENTO					463,38	470,58	472,98	475,38
Costos mano de obra								
Labores	días	Personas	Jornal	TOTAL	Control	T2	T3	T4
Preparación de sustrato	4	5	20	300	300,00	300,00	300,00	300,00
siembra	5	6	30	450	450,00	450,00	450,00	450,00
Tutorio	7	8	56	840	840,00	840,00	840,00	840,00
control de maleza	3	5	15	225	225,00	225,00	225,00	225,00
aplicación Quitosano	1	3	3	45	0,00	45,00	45,00	45,00
cosecha manual	3	8	24	360	360,00	360,00	360,00	360,00
riego	1	4	4	60	60,00	60,00	60,00	60,00
poda	4	5	20	300	300,00	300,00	300,00	300,00
Aplicación de fungicida e insecticida	1	3	3	45	45,00	45,00	45,00	45,00
COSTOS TOTAL MANO DE OBRA / TRATAMIENTO					2580,00	2625,00	2625,00	2625,00
TOTAL COSTOS					3043,38	3095,58	3097,98	3100,38