

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA



Nanocompuestos a Base de Quitosano-Alginato-Maltodextrina Modifican el
Crecimiento, Rendimiento y Calidad de Fruto de Chile Anaheim

Por:

ADRIAN MÉNDEZ VEGA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.
Septiembre, 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISION DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE BOTÁNICA

Nanocompuestos a Base de Quitosano-Alginato-Maltodextrina Modifican el
Crecimiento, Rendimiento y Calidad de Fruto de Chile Anaheim

Por:

ADRIÁN MÉNDEZ VEGA

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:


Dr. Alonso Méndez-López
Asesor Principal


Dr. Hermes Pérez Hernández
Asesor Principal Externo


Dra. Rebeca Betancourt Galindo
Coasesor


Dra. Silvia Yudith Martínez Amador
Coasesor


Dr. Alberto Sandoval Rangel
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México.
Septiembre, 2023

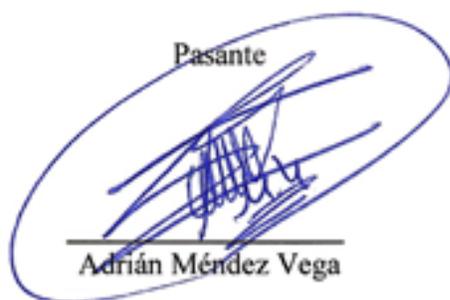
Declaración de no plagio

El autor quien es responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrectas en los siguientes aspectos:

Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (autor o plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propio; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlo; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, bibliografías, mapas o cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.

Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaro que este trabajo es original.

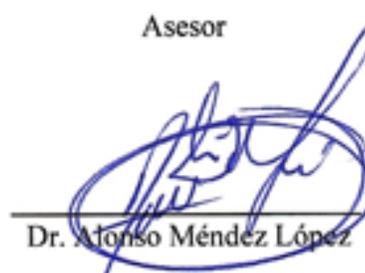
Pasante



Adrián Méndez Vega

Firma y nombre

Asesor



Dr. Alonso Méndez López

Firma y nombre

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater – Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, la cual la consideré como mi segunda casa en donde viví grandes experiencias y momentos maravillosos tanto personales como académicamente conociendo grandes personas que apoyaron en mi formación como ingeniero.

A mi asesor, Dr. Alonso Méndez López por el apoyo y la atención brindada durante el transcurso de la elaboración del proyecto el cual fue una meta alcanzada y por os consejos para realizar un buen trabajo.

A mis co-asesores por el apoyo y consejos para desarrollar un trabajo correcto y con la mejor presentación tanto en campo como en laboratorio.

A doctores y profesores que durante mi estadio académico me brindaron sus conocimientos además de mucha de la experiencia laboral que tienen para darme consejos de la vida laboral que próximamente enfrentare.

A muchos de mis amigos (José Huertos, Guadalupe, Diego, Julio, Omar), que me apoyaron durante el desarrollo del proyecto en campo como en laboratorio.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Sra. Cecilia Vega Villalva

Sr. Jaime Méndez Estrada

A mis padres por el apoyo incondicional en la decisión de tomar el camino de estudiar lejos de casa, por las ocasiones de brindarme apoyo y cariño que todo padre da a sus hijos, por el amor brindado, por sus consejos de vida y la sabiduría que me brindan cada día, por haberme criado con los mejores valores y respeto a quien lo merezca y sobre todas las cosas gracias por darme la vida y las ganas de vivirla de la mejor manera.

A mis hermanos:

Santos Daniel Méndez Vega

Vicente Méndez Vega

Jaime Méndez Vega

Vanessa Guadalupe Méndez Vega

A mis hermanos por todos los consejos brindados, por todos los temas de conversación, por todo el apoyo moral, por todo el apoyo y consejos cada vez que cometía errores y por todas las experiencias vividas.

A mi cuñada y sobrina:

Ana Vázquez

Kimberly Daniela

A mi nueva y preciada familia por el apoyo brindado para crecer como persona además de los consejos brindados.

A mi familia abuelos, padres, tíos, hermanos, primos y sobrina por todo el apoyo incondicional durante toda mi realización profesional.

Índice general

I. Introducción	3
1.1. Objetivos.....	5
1.2. General.....	5
1.3. Específicos.....	5
1.4. Hipótesis.....	5
II. Revisión de literatura	6
2.1. Chile Anaheim	6
2.1. Antecedentes del cultivo.....	6
2.2. Importancia nacional e internacional.....	6
2.3. Aportes nutrimentales.....	7
2.4. Volumen de producción y valor de la producción.....	8
2.4.1 Producción de chile en México	8
2.5. Manejo del cultivo	8
2.6. Plagas y enfermedades	9
2.6.1. Principales plagas del cultivo:	9
2.6.2. Minador de la hoja (<i>Liriomyza trifolli</i>).....	9
2.6.3 Picudo del chile (<i>Anthonomus eugenii</i> , Cano).....	9
2.7. Principales enfermedades del cultivo.....	10
2.7.1. Pudrición de la raíz	10
2.7.2. Cenicilla (<i>Leveillula taurica</i>).	10
2.8. Importancia de los nanofertilizantes en la agricultura	11
2.9. Tipos de nanomateriales	11
2.10. Nano fertilizantes.....	12
2.11. Modo de acción de nanofertilizantes.....	12
2.12. Mecanismo de acción de nanofertilizantes	12
2.13. Importancia del quitosano en la agricultura.....	12
2.14. Efectos del quitosano en las plantas.....	13
2.15. Importancia de la maltodextrina	13
2.16. Importancia de alginato	14
III. Materiales y métodos.....	15
3.1. Ubicación del experimento.....	15
3.1.1. Localización geográfica	15

3.2. Material biológico	16
3.3. Acondicionamiento del terreno	16
3.4. Diseño del experimento	16
3.5. Establecimiento del experimento	16
3.6. Trasplante	17
3.7. Manejo del cultivo	17
3.8. Aplicación de tratamientos.	17
3.9. Variables vegetativas.....	17
3.9.1. Firmeza de fruto	17
3.9.2. Altura de planta (cm)	17
3.9.3. Diámetro de tallo	17
3.9.4. Numero de frutos	18
3.9.5. Peso fresco de planta}.....	18
3.9.6. Peso seco de planta	18
3.9.7. Largo de fruto	18
3.9.8. Ancho de fruto	18
3.9.9. Rendimiento	18
3.10. Variables de calidad en Poscosecha	19
3.10.1. Lectura de (pH).....	19
3.10.2. Potencial de óxido reducción (ORP).....	19
3.10.3. Solidos solubles totales (°Brix)	19
3.10.4. Acidez titulable (A.T)	19
3.10.5. Vitamina C	19
3.10.6. Conductividad eléctrica (C.E)	20
3.10.7 Análisis estadístico	¡Error! Marcador no definido.
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	21
4.1. Variables agronómicas	21
4.1.1. Firmeza de fruto	21
4.1.2. Altura de planta	22
4.1.3. Diámetro de tallo	23
4.1.4. Numero de frutos	25
4.1.5. Peso fresco de planta	26

4.1.6. Peso seco de planta	28
4.1.7. Largo de fruto	29
4.1.8. Ancho de fruto	31
4.1.9. Rendimiento	32
4.2. Variables de calidad	33
4.2.1. Prueba de (pH).....	33
4.2.2. ORP (Potencial de óxido reducción).....	35
4.2.3. °Brix (Solidos solubles totales)	36
4.2.4. AT (Acidez titulable)	38
4.2.5. VC (Vitamina C).....	39
4.2.6. C.E (Conductividad eléctrica)	40
V. Conclusiones.....	42
V.I. Bibliografía citada.....	43

Índice de figuras

Figura 1. Micro localización del sitio experimental.....	15
Figura 2. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre la firmeza de fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).....	21
Figura 3. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre la Altura de plata de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).....	22
Figura 4. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el diámetro del tallo de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).....	24
Figura 5. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el número de frutos por plata de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).....	25
Figura 6. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre peso fresco de plata de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).....	27
Figura 7. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el peso seco de plata de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).....	28
Figura 8. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el largo de fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).....	30

Figura 9. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el ancho de fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).	31
Figura 10. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el rendimiento de plata de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).	32
Figura 11. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el (pH) en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).	34
Figura 12. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el potencial de óxido reducción en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).	35
Figura 13. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el contenido de sólidos solubles totales en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).	37
Figura 14. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el % de ácido contenido en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).	38
Figura 15. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el contenido de vitamina C en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).	39
Figura 16. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre la conductividad eléctrica en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).	40

Índice de tablas

Tabla 1. Aportes nutricionales de chile verde.	7
--	---

Resumen

En la actualidad la agricultura se enfrenta a diversos problemas del cual se puede identificar como la aplicación en acceso de productos agrícolas por lo cual para tratar de brindar una solución a esto diversas técnicas han tomado relevancia para beneficiar y maximizar el aprovechamiento de los productos aplicados a los cultivos, además de mejorar los rendimientos para de esta manera satisfacer más la demanda de alimentos a nivel global. El objetivo del presente trabajo fue estudiar y determinar el efecto de la aplicación de nanofertilizantes vía foliar (quitosano, alginato y maltodextrina) en la producción y calidad de fruto del cultivo de chile anaheim de la variedad charger. El experimento fue establecido con el diseño de bloques completamente al azar con 7 tratamientos y cuatro repeticiones. El análisis de comparación de medias LDS Fisher ($\alpha \leq 0.05$) revelo diferencias significativas entre los tratamientos evaluados de las variables agronómicas y en las variables de calidad de los frutos. Las aplicaciones vía foliar de quitosano con maltodextrina reflejaron un incremento en el diámetro de tallo, numero de frutos, peso fresco – seco de la planta, tamaño de frutos y mejorando el rendimiento y mejoraron el ORP, Acidez titulable, C.E. Mientras que quitosano con alginato presentaron valores menores que el anterior, siendo superior solo en la variable de (pH), ancho de fruto y altura de la planta.

Palabras clave: biofertilizantes, quitosano, maltodextrina, alginato, ORP, etc.

I. Introducción

El cultivo de chile verde presenta mayor producción por volumen y valor con producciones de casi todo el año en distintas partes de México, ya que en los últimos años la demanda internacional del cultivo creció considerablemente de los cuales se pueden identificar 22 grupos de variedades y 18 secos, dentro de los verdes pueden ser jalapeño, poblano, serrano y también algunas variedades consideradas dulces como por ejemplo morrón, anaheim. Para el cultivo de chile verde México se posiciona como uno de los principales exportadores ya que su volumen de producción internacional excede 28.8% entre 2000 y 2009 (SIAP, 2010). El cultivo de chile en verde presenta una tendencia en el aumento de la superficie cultivada por la demanda del mercado internacional que va en aumento, una de las variedades que presenta un aumento en la demanda de consumo de chile en verde caracterizado por ser una variedad que es dulce es chile anaheim (*Capsicum annuum* L.), en México es una hortaliza de gran importancia económica en cuanto a sector de agricultura protegida (López, E, 2013). En la actualidad el cultivo de chile se produce proporcionando mejores condiciones de desarrollo de la planta, por ejemplo, una de las condiciones que se implementan es el uso de acolchados con el propósito de controlar la incidencia de malezas para evitar hospederos de plagas y competencia nutricional, además de maximizar el aprovechamiento de los riegos por parte de la planta y de esta manera reducir el gasto de este recurso limitado, por otro lado, también se beneficia la eficiencia del uso de fertilizantes (Bustamante, 2015).

En el sector agrícola existe una gran problemática para la producción de alimentos ya que en muchos casos se debe a diversos factores como el deterioro de los suelos, así como la contaminación de los mismos por uso excesivo de agroquímicos. En la actualidad se implementan nuevas alternativas para un mejor aprovechamiento de los recursos, en particular la implementación de la nanotecnología para la producción de alimentos, es de gran importancia ya que diversos estudios de aplicación de la nanotecnología se impulsan a mejorar la eficiencia de los recursos como en fertilizantes, pesticidas, insecticidas o herbicidas (Pramanik *et al*, 2020).

El impacto de las nanopartículas en el sector agrícola y el desarrollo de nuevos nanomateriales abren un gran potencial para diversas aplicaciones. Las nanopartículas se caracterizan por ser materiales de rango manométrico. Estos materiales se aplican en diversos

campos en la agricultura por ejemplo algunos de ellos se denominan nanomateriales de liberación controlada en lugares específicos de diversos agroquímicos o fertilizantes, algunos de ellos también se emplean para generar respuestas de defensa en las plantas (Mahapatra *et al*, 2022). La nanotecnología está investigando, probando y aplicando en el sector agrícola desde la producción hasta procesamiento de alimentos, estas tecnologías juegan un papel muy importante para el sector agrícola ya que con la implementación de estas se busca reducir problemáticas como mejorar la eficiencia de aplicaciones de fertilizantes mejorando la disponibilidad de algunos elementos como el Fosforo y potasio (Ganesh, D, 2016).

En la agricultura una de las problemáticas es el uso excesivo e inadecuado de fertilizantes los cuales se pierden por lixiviación y contaminan los suelos, demostrando aquí la importancia de implementar nuevas tecnologías para producción de alimentos como la nanotecnología para de esta manera poder superar estas problemáticas ya que estudios demuestran que con la nanotecnología se promueve la aplicación equilibrada de nutrientes con nanofertilizantes para maximizar la disponibilidad y eficiencia de los mismos (Chaitra *et al*, 2021).

Dentro de los nanofertilizantes podemos identificar la aplicación de quitosano el cual es un polisacárido de origen natural biodegradable y biocompatible, se obtiene de la desasimilación parcial de la quitina. El uso en la agricultura se le da como bioestimulante y para inducción de mecanismos de defensa en las plantas, así como la regulación de procesos metabólicos, posee también propiedades antivirales, antifúngica, antibacteriana, actúa como agente quelatante además como antioxidante (Stasińska *et al*, 2022).

La maltodextrina es un producto resultante del almidón por hidrólisis enzimática o ácida moderada (polisacárido) con grados de dextrosa (DE) equivalentes de 2 a 20, se caracteriza por ser más solubles en agua que los almidones nativos (Mallon, 2017).

El alginato es definido como polímero natural con propiedades potenciales dentro de las cuales se identifican como inducción de resistencia a patógenos con la estimulación y activación genes de defensa en las plantas como la síntesis de compuestos fenólicos, proteínas y lignina (Saber *et al*, 2022).

1.1.Objetivos

1.2.General

Estudiar el efecto de dos nanocompuestos a base de quitosano, alginato y maltodextrina en el crecimiento y calidad de fruto de chile Anaheim variedad “Charger

1.3.Específicos

- Determinar el efecto de los nanocompuestos a base de quitosano, alginato y maltodextrina sobre la acumulación de biomasa vegetal.
- Estimar el impacto de los nanocompuestos sobre el rendimiento de fruto de chile Anaheim.
- Comparar el efecto de los nanocompuestos sobre la calidad de los frutos de chile Anaheim.

1.4.Hipótesis

Al menos una de las dosis de nanocompuestos a base de quitosano, alginato y maltodextrina aplicadas a plantas de Chile Anaheim mejora los componentes de biomasa, rendimiento y la calidad de frutos.

II. Revisión de literatura

2.1. Chile Anaheim

2.1. Antecedentes del cultivo

La domesticación y producción de chile se atribuye a México y a América central, la planta de chile se caracteriza por pertenecer a la familia de las solanáceas y del género *Capsicum*; dentro del género *Capsicum* se pueden identificar 5 especies domesticadas que son (*C. annum*, *C. baccatum*, *C. chinense*, *C. frutescens* y *C. pubescens*). De estas la que representa mayor superficie de producción pertenece a la especie *C. annum*, esta especie tiene la propiedad de comportarse como un cultivo bianual, pero en su gran mayoría solo es establecida de un ciclo ya que después de esto presenta menor calidad en la generación de brotes y por consiguiente menor producción (INTAGRI, 2020).

2.2. Importancia nacional e internacional

En México el cultivo de chile Anaheim (*Capsicum annum* L.) es una de las especies hortícolas de mayor relevancia por sus aportes de su producción, se tiene una gran superficie cultivada en el amplio territorio de México por su gran variedad de latitudes y climas por tal motivo muy importante recurso que se puede enfocar en el mejoramiento. Es de gran importancia también en el sector económico ya que en cultivos intensivos es generadora de empleos ya que requiere de gran mano de obra por lo que a su vez está generando ingresos competitivos (Arroyo, 2012).

A nivel internacional el cultivo de chile radica en el consumo ya que la población aumenta la demanda de estos tanto en fresco como en seco por lo tanto es importante para la alimentación para las personas (Zegbe, 2012).

2.3. Aportes nutrimentales

El cultivo de chile en verde tiene gran relevancia en la población de México ya que es muy importante en la gastronomía y diversos usos que se le dan gracias a sus propiedades de las cuales podemos destacar que el chile en verde es de gran valor nutritivo que en su contenido se puede encontrar ácido ascórbico además de contener vitamina C en mayor concentración que otros frutos como cítricos, también contiene vitamina A y a menores concentraciones, pero presentes de Vitamina E y B (Aguirre, E & Muñoz, V, 2015).

El aporte nutricional del cultivo de chile para consumo en verde aporta diversos nutrimentos dentro de los cuales podemos identificar carbohidratos, proteínas, fibra, grasa y algunos otros nutrimentos como se muestra en la siguiente figura (Sánchez *et al*, 2022).

Tabla 1. Aportes nutricionales de chile verde.

Nutrimento	Calidad
Agua	91 %
Carbohidratos	5.1 g
Proteínas	1.3 g
Grasas	0.3 g
Fibra	1.4 g
Vitamina A	1000 UI
Vitamina B1	0.03 mg
Vitamina B2	0.05 mg
Vitamina B5	0.20 mg
Vitamina B12	0.45 mg
Vitamina C	120 mg
Azufre	17 mg
Calcio	9 mg
Cloro	37 mg
Cobre	0.10 mg
Fósforo	23 mg
Hierro	0.5 mg
Magnesio	11 mg
Manganeso	0.26 mg
Potasio	234 mg
Sodio	58 mg
Yodo	0.001 mg

Fuente: Sánchez, *et al* 2022.

2.4. Volumen de producción y valor de la producción

2.4.1 Producción de chile en México

El cultivo de chile en México tiene gran importancia ya que junto con otras hortalizas como el tomate generan ingresos para el sector económico y en caso del sector cultural también ya que gran parte de la población en México es consumido en las familias. En la producción de hortalizas a nivel nacional el cultivo de chile constituye un 20.2%, para el 2019 se registró una producción nacional total de 3,238,244 toneladas de chile. Que son cultivados en superficies en promedio de 147 mil hectáreas anuales, registrando un rendimiento promedio por hectárea de 13.86 toneladas en el año 2005 y para el año 2019 los rendimientos aumentaron hasta 21.65 toneladas por hectárea, refiriéndose a la tendencia de aumento de la demanda de cultivo (SIAP, 2020; INTAGRI, 2020).

La producción de chile en México en los últimos 15 años presenta un incremento que está ligado a diversos factores de los cuales se puede referir al aumento en la demanda del cultivo por los consumidores y al desarrollo de la horticultura protegida (casa sombra, macro túneles e invernaderos) con el fin de tener mayores rendimientos y de esta manera satisfacer la demanda el cultivo (SIAP, 2020).

2.5. Manejo del cultivo

Durante el establecimiento del proyecto de investigación se comenzó con la selección del material a utilizar el cual fue Charger F1 Anaheim Pepper Seed de la casa comercial Johnny's Selected Seeds comenzando con la siembra en semillero de 200 cavidades y dándole condiciones óptimas para la germinación dentro de un pequeño invernadero en donde se estará monitoreando durante 30 días aproximadamente para que esté lista para el trasplante a la ubicación exacta en donde se desarrollara. Durante el transcurso de crecimiento en semillero se acondiciona el terreno en donde se establecerá, el cual consiste en la preparación del terreno, eliminación de malezas, formación de camas, aplicación de estiércol de bobino en el centro de las camas, cubrir bien el estiércol aplicado, se establece el sistema de riego a utilizar, se implementa acolchado en las camas una vez colocado en sistema de riego.

Una que la planta está lista para el trasplante se aplica un riego pesado a los surcos un día antes para dar condiciones de humedad a la planta para mitigar estrés de la plántula al momento del trasplante. Posterior al trasplante se monitorea constantemente la plántula ya que se manejará como proyecto agroecológico para hacer un óptimo desarrollo y posterior aplicación de los tratamientos a evaluar.

2.6. Plagas y enfermedades

2.6.1. Principales plagas del cultivo:

2.6.2. Minador de la hoja (*Liriomyza trifolii*)

El daño que esta plaga es directamente a las hojas que son causados por las hembras adultas para alimentarse y para depósito de sus huevecillos, la cual genera galerías destruyendo la masa foliar que esta a su vez genera una disminución a la fotosíntesis que la hoja puede realizar (Valenzuela, E. 2010, Mendoza Reyna, P. 2014).

Control:

Para controlar esta plaga se aplican diversos procedimientos, por ejemplo, se puede realizar un control a través de trampas cromáticas, eliminar maleza hospedera, aplicación de control biológico y en muchos casos aplicación productos químicos como Abamectina y ctiromazyna.

2.6.3 Picudo del chile (*Anthonomus eugenii*, Cano)

Esta plaga ocasiona un daño muy considerable a los cultivos de chile por ejemplo el daño causado por esta plaga es ocasionado por larvas las cuales se alimentan de los botones florales además de los frutos pequeños la cual si no se detecta a inicios de comenzar su daño esta es capaz de afectar hasta el 80% de la cosecha (Walton., 2004, González, M., 2006).

Control

Para controlar esta plaga es necesario eliminar de la periferia a plantas hospederas de la plaga para evitar daños futuros y disminuir su incidencia, eliminación de frutos caídos ya que cuando esto sucede es porque el picudo ataca y se encuentra en el interior por lo que debemos eliminarlo de la parcela, en cuanto al control químico se recomienda hacer aplicaciones de insecticidas como permetrina, oxamyl, diazinon, etc.

2.7. Principales enfermedades del cultivo

2.7.1. Pudrición de la raíz

Esta es una de las enfermedades que más afecta al cultivo la cual llega a provocar un 40 a 70% de mortalidad de las plantas afectadas, dicha enfermedad está asociada a hongos como lo son: Rhizoctonia, Fusarium, Verticilium, Phytophthora, Pythium y Sclerotium. Los síntomas varían desde el marchitamiento del follaje de la planta presentando una clorosis y avanzando con pudrición en raíz lo que causa a su vez caída de las hojas (Velásquez *et al.*, 2000, González, M., 2006).

Control

La mejor recomendación para su control es utilizar material que sea resistente a esta enfermedad además aplicar constantemente prácticas para prevenir y disminuir su incidencia como seleccionar parcelas donde no se halla establecido chile, implementar curcos con cierto grado de inclinación y buen drenaje no trasplantar donde se hayan registrado problemas con pudrición de raíz.

2.7.2. Cenicilla (*Leveillula taurica*).

Esta es una enfermedad que ataca a diversas hortalizas como tomate, chile alfalfa, berenjena y cebolla, este produce manchas de color blanco de apariencia polvorosa compuesta principalmente de esporas de este hongo el cual puede diseminarse de manera rápida con ayuda del viento a una humedad relativa alta; cubre totalmente las hojas generando una clorosis de color café a gris y después causa que la hoja se seque causando esto a su vez una disminución de la fotosíntesis que debe realizar la planta (Goldberg, 2003, LA LAGUNA, 2008)

Control

Esta enfermedad se ve beneficiada en regiones con clima húmedo ya que la humedad relativa es alta y puede infectar más fácilmente a plantas jóvenes, para su control se recomienda la eliminación de algún cultivo dañado antes de sembrar para reducir riesgos de infección. En cuanto al control químico se tienen diversos productos fungicidas los cuales se deben aplicar para su control dentro de los cuales podemos encontrar el clorotalonil, benomil, triamidofon, etc.

2.8. Importancia de los nanofertilizantes en la agricultura

En la agricultura moderna se implementan diversos campos de investigación interdisciplinaria de la cual obtenemos una gran variedad de oportunidades hacia una agricultura sustentable. En la actualidad en la agricultura se promueve mejorar la eficiencia de los nutrientes para mejorar la producción de alimentos y ayudan a disminuir la escasez de los mismos con la implementación de los nanocompuestos (Lira *et al*, 2018).

En la actualidad las nanopartículas han comenzado a investigarse ya que favorecen en el incremento de alimentos, brindan la posibilidad de generar e implementar nanofertilizantes y promotores de crecimiento a base de estas, por el efecto que estas generan en la agricultura su aplicación está en aumento por lo que son una opción para el desarrollo de una agricultura sustentable y disminuyendo la contaminación ambiental (Lira *et al*, 2016).

2.9. Tipos de nanomateriales

En la actualidad el uso de nanomateriales en la industria alimentaria y en la agricultura se ha evaluado riesgos ambientales y sanitarios que conlleva la nanotecnología dando como definición a nanomaterial como, toda aquella partícula con un tamaño hasta de 300 nm, similares a las nanopartículas de 0 a 100 nm. Debido al reciente aumento de su uso que se está dando los nanomateriales, son regulados como sustancias nuevas las cuales se deben someter a pruebas de seguridad especiales para detallar sus propiedades específicas para la nanotecnología para demostrarse su inocuidad antes de aprobarse a aplicaciones agrícolas (Miller *et al.*, 2008).

- Nanopartículas manufacturadas: producidas intencionalmente (óxido de zinc, dióxido de titanio, nanotubos, nanocables, puntos cuánticos, dendrímeros, fullerenos de carbono, etc.).
- Nanopartículas incidentales: aquellos resultantes de un proceso industrial o ultrafinas resultantes de incendios forestales o erupciones volcánicas.

2.10. Nano fertilizantes

En la agricultura se han realizado diversos estudios que buscan determinar el tamaño óptimo, forma y concentración de nanopartículas para realizar aplicaciones a las plantas para mejorar la penetración y translocación vascular por los haces vasculares del xilema y floema; en cuanto al uso de nanofertilizantes diversos estudios recomiendan una aplicación de nanopartículas menos a 20 nm, para que al ser aplicadas foliarmente mediante aspersión puedan penetrar fácilmente al interior de las plantas (Sairam & Gangurde, 2016, Lira Saldivar, h, 2018).

2.11. Modo de acción de nanofertilizantes

El uso de nanofertilizantes está ligado a promover un aumento en la eficiencia del uso de nutrientes, reducir la toxicidad del suelo, minimizar efectos negativos provocados sobre una sobredosificación además de reducir a frecuencia en que se aplican los nutrientes para de esta manera reducir costos al adquirir menos fertilizantes (Sayyed *et al.*, 2016).

2.12. Mecanismo de acción de nanofertilizantes

La información teórica proporcionada por las investigaciones realizadas y previamente probadas en prácticas agrícolas sugieren que los nanofertilizantes con formulaciones nanoestructuradas se dan a través de mecanismos como: entrega dirigida, mecanismos de liberación lenta y/o controlada, liberación condicionada para la liberación de sus ingredientes activos en respuesta a condiciones de estrés de la planta generados por condiciones ambientales (Tarafdar *et al.*, 2014).

2.13. Importancia del quitosano en la agricultura

El quitosano es un derivado del polímero quitosán que sostiene de la desacetilación de la quitina la cual es obtenida de caparazones de crustáceos dentro de los cuales encontramos como camarón, langosta o cangrejo. La importancia del quitosano en la agricultura está dirigida a que se obtiene una mayor efectividad económica y práctica que otros nanocompuestos ya que tiene una buena capacidad de formación de películas, no presenta toxicidad, no produce contaminantes, es biocompatible además de ser abundante y renovable; además también presenta la capacidad de promover el crecimiento y generar resistencia a patógenos en las plantas (Moreno, A. *et al.* 2012).

2.14. Efectos del quitosano en las plantas

El quitosano es utilizado en la agricultura por sus propiedades ya que este genera diversas respuestas en las plantas: actúa como regulador de crecimiento, mejora disposición de nutrientes, en casos actúa como controlador de plagas y también se está utilizando como recubrimiento de semillas que son destinadas principalmente para su almacenamiento (Cavazos, K. E *et al.*, 2020).

Estudios realizados sugieren que el quitosano como polímero biodegradable, no tóxico y bioactivo al entrar en la planta promueve actividad fúngica, además también induce a que la planta genere mecanismos de defensa sus tejidos vegetales mediante el aumento en la producción de sustancias denominadas fitoalexinas e interviene en procesos muy relevantes como en la activación de genes de defensa (Romanazzi *et al.*, 2016, Rodríguez - Guzmán, C, E., 2019).

El quitosano es investigado también por su capacidad quelatante en nutrientes y minerales tales como Fe - Cu en las plantas para prevenir algunas enfermedades. También investigado por su capacidad potencial como nanoportador; es utilizado en la encapsulación de agroquímicos materiales genéricos que actúan como reservorio protector de biomoléculas dañadas por factores externos ambientales, también en estudios se ha probado que el quitosano induce a la planta a evitar pérdidas de agua, así como mantener la firmeza de los frutos (Panpatte *et al.* 2019, Perez Luna, A. M. 2020).

2.15. Importancia de la maltodextrina

La maltodextrina es obtenida de variables proceso de hidrólisis parcial del almidón con distintos grados de conversión, el cual es expresado como equivalente de dextrosa (DE) que corresponde al porcentaje de azúcares reductores presentes. Los hidrolizados de almidón con (DE) inferiores a 20 son las denominadas maltodextrinas, las cuales se componen por una mezcla de sacáridos, polisacáridos y oligosacáridos caracterizados por una distribución en sus pesos moleculares, los productos comerciales obtenidos los podemos encontrar en presentaciones como en polvos o en soluciones concentradas (Díaz, M. A *et al.*, 2002, Coronel Habrahamshom, P. D. 2019).

La maltodextrina posee la característica de tener la propiedad de ser un material de pared de encapsulación de otros ingredientes con núcleo sensible, por lo que es utilizado como material de encapsulación de otro material bioactivo gracias a que este es de bajo costo y

presenta gran eficiencia. Presenta la propiedad de ser un material que es soluble en agua y como material de encapsulación tiene la propiedad de ser capaz de proteger el ingrediente encapsulado de daños que son causados por la oxidación (Mara Righetto, A, *et al.*, 2005, Mallon Mercado, F. 2017).

2.16. Importancia de alginato

El alginato es un polisacárido iónico lineal, el cual está compuesto de dos monómeros que son ácidos β -D-manurónico (M) y α -L-gulurónico (G) unidos por el enlace (1,4). Este material comercial es obtenido de algas marinas, también se puede ser producido por bacterias las cuales pueden ser (*Pseudomonas* y *Azotobacter*) resultando de esto un gen producido denominado aerogel, el cual posee una densidad muy baja (Maleki, S *et al.*, 2017, Barrera Martínez, C. L. 2021).

En la actualidad en el sector agrícola el alginato es utilizado gracias a sus diversas propiedades, dentro de las cuales podemos encontrar su capacidad gelificante, estabilizador, presenta incompatibilidad, así como por su propiedad espesante y también es usado por su baja toxicidad además de tener un relativo bajo costo (Gómez Matos, M *et al.*, 2023).

Dentro de los usos que se le dan alginato en la agricultura podemos destacar que es usado como un material de recubrimiento (encapsulador) por la característica de biocompatibilidad, sin embargo debe ser mezclado con otro componente para de esta manera modificar su estructura para evitar pérdida de integridad y estabilidad mecánica para evitar formación de poros en la superficie de las sustancias encapsuladas (Krasaekoopt *et al.*, 2004, Carrisales Caycedo, M.F. 2022).

III. Materiales y métodos

3.1. Ubicación del experimento

El trabajo experimental se realizó a campo abierto en las parcelas de producción agrícola ubicadas en la parte inferior al jardín botánico (Gustavo Aguirre Benavides) del departamento de Botánica de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

3.1.1. Localización geográfica

El lugar donde se realizó el proyecto presenta las siguientes coordenadas $25^{\circ} 21' 24''$ latitud N y $101^{\circ} 02' 02''$ longitud W, ubicación de las parcelas de producción y establecimiento del experimento de investigación.



Figura 1. Micro localización del sitio experimental.

3.2. Material biológico

Para la realización del proyecto de utilización de plántula de chile Charger F1 Anaheim Pepper Seed de la casa comercial Johnny's Selected Seeds la cual tenía 30 días de siembra en semillero de 200 cavidades acondicionado dentro de pequeño invernadero para dar condiciones idóneas para su germinación y crecimiento para después proceder con el trasplante al campo donde se llevará a cabo el proyecto experimental.

3.3. Acondicionamiento del terreno

Para iniciar el proyecto experimental se comenzó con deshierbe del área específica donde se realizará el proyecto para eliminar hospederos de plagas, se continuó con aflojar la tierra con ayuda de azadón aproximadamente en 30 cm y se formaron 7 curcos con 15 metros de largo. Cuando estaban formados los curcos se realizó un canal por la mitad de cada curco para agregar estiércol y cubrir.

Por último, se colocó la cinta de riego por goteo y se implementó acolchado en los curcos que se ven a utilizar para el experimento.

3.4. Diseño del experimento

Para la realización del experimento se estudió y definió el diseño experimental de bloques completamente al azar.

3.5. Establecimiento del experimento

Se establecieron y se etiquetaron 7 tratamientos diferentes con dos biofertilizantes los cuales fueron (Quitosano – maltodextrina y Quitosano – Alginato), los cuales se identifican por las dosis (a 500 ppm – 1000 ppm – 2000 ppm) de cada uno concluyendo con el séptimo que es el testigo. Los tratamientos se aplicaron por aspersión directamente al follaje a los 15 días después del trasplante cada 15 días

3.6. Trasplante

Para el trasplante de las plántulas de chile Anaheim se comenzó con aplicar un riego pesado dejando los curcos a capacidad de campo un día antes para que tenga humedad al momento de colocar la plántula con el cepellón lo más completo posible a distancia de 30 cm entre plantas. Previamente antes del trasplante se colocó el etiquetado de los bloques con los tratamientos definidos con anterioridad

3.7. Manejo del cultivo

Una vez establecidas las plántulas de chile Anaheim en los curcos y el experimento puesto en marcha se realizaron diversas actividades como la aplicación correcta de los 7 tratamientos, realización de deshierbe en la parcela, así como en la periferia también se realizó un monitoreo de plagas y enfermedades que se pudieran presentar.

3.8. Aplicación de tratamientos.

Para la aplicación correcta de los tratamientos se realizó una medición correcta de las dosis de cada biofertilizante las cuales fueron a 500 ppm – 1000 ppm – 2000 ppm diluidas en 1 litro de agua destilada en un aspersor manual para aplicarlos al follaje identificando los tratamientos con el etiquetado que se colocó con anterioridad.

3.9. Variables vegetativas

3.9.1. Firmeza de fruto

Esta variable de firmeza de los frutos de chile se evaluó en cada tratamiento utilizando un penetrometro digital cuyas características son (Force Gauge, modelo GY-4), la medición se realizó en tres puntos aleatorios del fruto y los datos resultantes se registraron en Newtons (N).

3.9.2. Altura de planta (cm)

Esta variable se realizó con la ayuda de una cinta métrica de la marca (Cadena 5.5 mts Aqua) donde se registraron los datos de parte más baja de la planta inferior hasta los meristemas apicales de la planta.

3.9.3. Diámetro de tallo

Esta variable se tomó utilizando un vernier electrónico de la marca (Cadena 5.5 mts Aqua), la medición se realizó tomando en diámetro en la base del tallo de cada una de las plantas evaluadas.

3.9.4. Numero de frutos

En esta variable se contabilizaron en total de los frutos resultantes de cada planta y cada tratamiento una vez son cosechados.

3.9.5. Peso fresco de planta}

Esta variable se tomó cuando una vez que terminamos el registro de cosecha de la planta eliminando frutos pequeños para medir solo el follaje de la misma colocándola en bolsas de papel previamente etiquetadas de la misma forma que en la distribución de los tratamientos para un registro correcto y utilizando una balanza analítica (Electronic Scale).

3.9.6. Peso seco de planta

Esta variable se realizó registrando los datos cuando las plantas perdían la humedad cuando las colocamos en una estufa (BLUE M ELECTRIC, LINDBERG) de secado del departamento de Botánica esperando cuando esta perdiera la humedad después de 24 hrs.

3.9.7. Largo de fruto

En esta variable se utilizó una regla metálica de 30 cm, el dato se registró al medir cada uno de los frutos cosechados de cada una de las plantas y fue desde la parte superior donde termina el pedúnculo hasta la punta de los mismos.

3.9.8. Ancho de fruto

Esta variable se registra en milímetros (mm) con ayuda de un vernier digital, el dato se tomó y registro de la parte superior de cada uno de los frutos evaluados.

3.9.9. Rendimiento

3.10. Variables de calidad en Poscosecha

3.10.1. Lectura de (pH)

Para la lectura de esta variable se obtiene una muestra de los frutos evaluados de cada planta una muestra para después macerar, colocar la muestra en un vaso de precipitado y agregar agua destilada para tomar el dato con probador flotante impermeable Hanna Instruments Colmo (pH – C.E) Modelo HI98130.

3.10.2. Potencial de óxido reducción (ORP)

Para la evaluación de esta variable se preparó una muestra para macerar y extraer un jugo del de cada muestra de cada tratamiento para realizar la medición con (ORP METER ±1999 MV) especial para medición de ORP.

3.10.3. Sólidos solubles totales (°Brix)

Para los sólidos solubles totales se registraron con un refractómetro a temperatura ambiente tomando una muestra de macerado de muestras de frutos de cada planta de cada tratamiento.

3.10.4. Acidez titulable (A.T)

Para esta variable se determinó este parámetro de acuerdo al método como el % de ácido cítrico en los frutos evaluados de cada planta de acuerdo al método de (AOAC, Bernal, 1994). Para calcular el porcentaje de ácido cítrico de cada una de las muestras la siguiente formula:

$$\% \text{ Acido} = \frac{V * N * \text{Meq} * 100}{\text{Alicuota valorada}}$$

V= Volumen de NaOH gastado en mL.

N= Normalidad de NaOH

Meq= miliequivalente del ácido que se encuentra en mayor proporción de la muestra: 0.064 para ácido cítrico.

Alícuota valorada= Peso en gramos o volumen de la muestra mL.

3.10.5. Vitamina C

Para realizar esta variable se utilizó el producto cosechado y se utilizó una muestra de 20 g, se realizó el siguiente procedimiento colocarlo en un mortero para agregar 10 ml de HCL al (%) para después macerar hasta tener una muestra homogénea, agregar 100 ml de agua

destilada para después filtrar la mezcla en un matraz Erlenmeyer de 250 ml filtrando con gasas, continuar tomando una alícuota de 10 ml del filtrado para colocarlos en un diferente matraz Erlenmeyer de 125 ml; colocar en una bureta reactivo Thielmann, titular la alícuota muy cuidadosamente hasta que el filtrado cambie a color rosa registrando el volumen gastado. Para calcular el volumen de vitamina c se debe utilizar la siguiente formula:

formula:

$$\frac{mg}{100} \text{ de vitamina C} = \frac{VRT * 0.088 * VT * 100}{VA * P}$$

Donde:

VRT= Volumen gastado en ml del reactivo de Thielmann

0.088= Miligramos de ácido ascórbico equivalente a 1 ml de reactivo de Thielmann.

VT= Volumen total en ml del filtrado de vitamina C en HCL

VA= Volumen en ml de la alícuota valorada

P= Peso de muestra en gramos.

3.10.6. Conductividad eléctrica (C.E)

Para la evaluación de esta variable se preparó una muestra para macerar y obtener jugo de cada uno de los tratamientos para su posterior evaluación con un medidor de C.E especial con especificaciones Hanna Instruments Colmo (pH – C.E) Modelo HI98130.

No hay ninguna fuente en el documento actual.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Variables agronómicas

4.1.1. Firmeza de fruto

Para la variable firmeza del fruto, el análisis de comparación de medias de LSD Fischer no mostró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos, no obstante que se puede observar una tendencia hacia el incremento en la resistencia en los frutos provenientes de plantas tratadas con los nanobiocompuestos, en este parámetro el tratamiento QM a 1000 ppm mostro el valor de firmeza más alto con 3.14 kg cm², en contraste con el testigo que obtuvo 2.76 kg cm², siendo este el valor más bajo registrado.

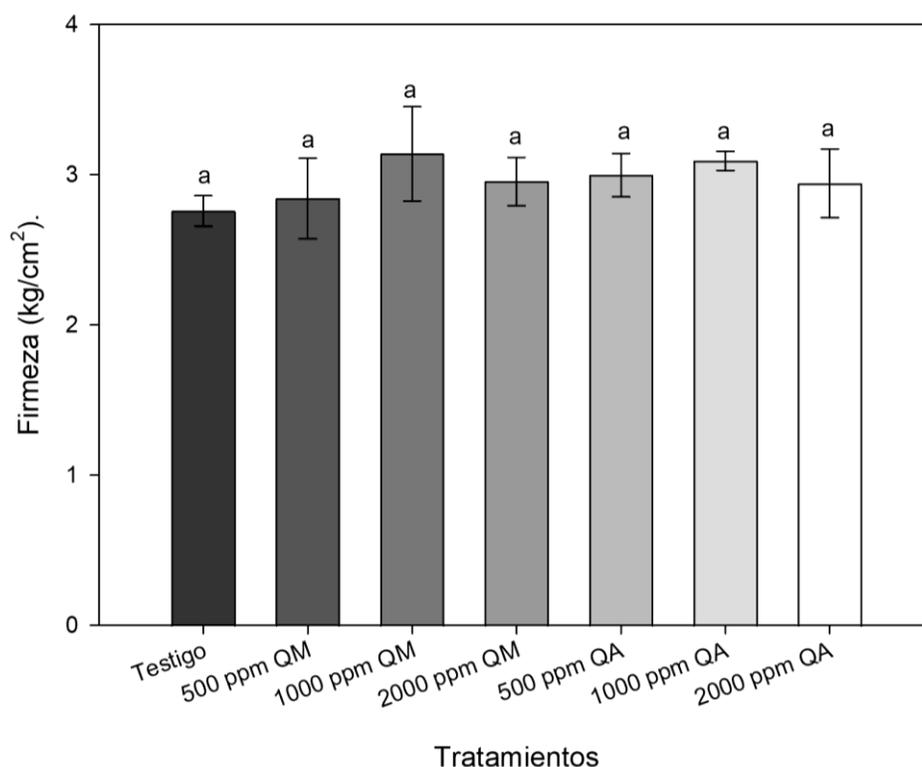


Figura 2. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre la firmeza de fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Relacionado con la firmeza de fruto y datos registrados por el autor (Hussein *et al*, 2014) sugieren que la aplicación de alginato de sodio irradiado (ISA) en concentración de 0.3 % en forma de aspersión foliar a cultivo de papa de la variedad Bern disminuyen de manera notable

la firmeza de los tubérculos. Esto se adjudica a que con la aplicación de esta dosis de ISA causa una tendencia en la disminución de calcio, cloro, hierro y magnesio.

El efecto del quitosano en las plantas induce a numerosas respuestas en las plantas dentro de las cuales depende de su estructura, concentración y de la especie en la que se utiliza además de en el ciclo de desarrollo en que se aplique como en el amarre de frutos y firmeza de los mismos (Malerba & Cerana, 2016).

El potencial de la aplicación del quitosano en las plantas se atribuye a que este compuesto promueve la capacidad de estimular mecanismos y cambios fisiológicos – bioquímicos como al estrés oxidativo, síntesis de metabolitos secundarios, aumento en la concentración de Ca^{2+} citosólico (Stasińska & Hawarylak, 2022), por las funciones que presenta el calcio Ca^{2+} en la calidad de los frutos la concentración del mismo se ve reflejado en la firmeza de los frutos (Yfran *et al*, 2017).

4.1.2. Altura de planta

Para la variable Altura de plantas, se observan diferencias estadísticas entre los tratamientos, en este parámetro todos los tratamientos estimularon el crecimiento de la planta en relación al testigo. La aplicación de QA a 500 y 2000 ppm y QM a 2000 ppm promovieron los mejores resultados con incremento de 18.2%, 14.6% y 13.9% respectivamente, comparado con el testigo.

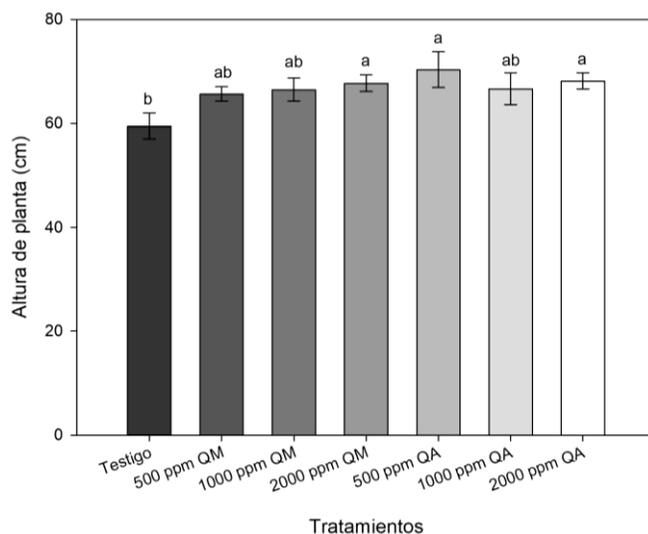


Figura 3. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre la Altura de planta de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Para esta variable se registro un aumento en la altura de la planta de chile anaheim promovido por la aplicación de quitosano y alginato via foliar a dosis de 500 ppm. Los resultados obtenidos por (Garcia, 2019) demuestran que con la aplicación de quitosano en el cultivo de tomate variedad Floradade a dosis 1 g L^{-1} se induce a un mayor crecimiento a promedios de 66 cm, por otro lado para la variedad Amalia se registro un mayor crecimiento en la longitud a dosis 1 y 2 g L^{-1} registrando promedios de 67 cm. Por otro lado el estudio realizado por (Tobar, 2021) sugiere que la aplicación de quitosano en dosis 300 mg L^{-1} se promueve un aumento en la altura de la planta en el cultivo de tomate registrando altura de 100 cm.

La aplicación de nanopartículas de óxido de zinc encapsuladas con perlas de polímeros biodegradables que constan de alginato y alcohol polivinílico (ZnCaAlg-PVA-ZnO) son una alternativa para aplicaciones de fertilizantes de zinc, ya que los alginatos de Ca registran una liberación gradual de Zn, son muy importantes ya que el zinc participa en la síntesis de serina la cual influye en la generación de brotes y hojas la cual beneficia en el crecimiento de la planta (Knijnenburg, 2021).

El bioestimulante por sus propiedades busca garantizar efectividad económica ya que mejora la eficiencia de uso de fertilización tradicional, en general por que provienen de materiales naturales y amigables con el medio ambiente por ejemplo el quitosano aplicado a los cultivos es capaz de estimular el crecimiento en la biomasa de las plantas (Zerpa, 2017).

El uso de oligosacáridos como el alginato en la agricultura moderna causan una estimulación directa y específica las cuales regulan muchos procesos fisiológicos como en la formación de órganos de las plantas mejorando la altura de las plantas (Cid *et al*, 2006).

4.1.3. Diámetro de tallo

Para esta variable se registraron diferencias estadísticas entre los tratamientos, resaltando que el tratamiento a dosis de 500 ppm QM registro un aumento de 21 % en el diámetro de tallo de las plantas, siendo este tratamiento el mejor, por otro lado, los tratamientos a dosis de 500 ppm QA mostro un incremento de 16.4 % y 2000 ppm QM un 13.3 % en comparación con el testigo.

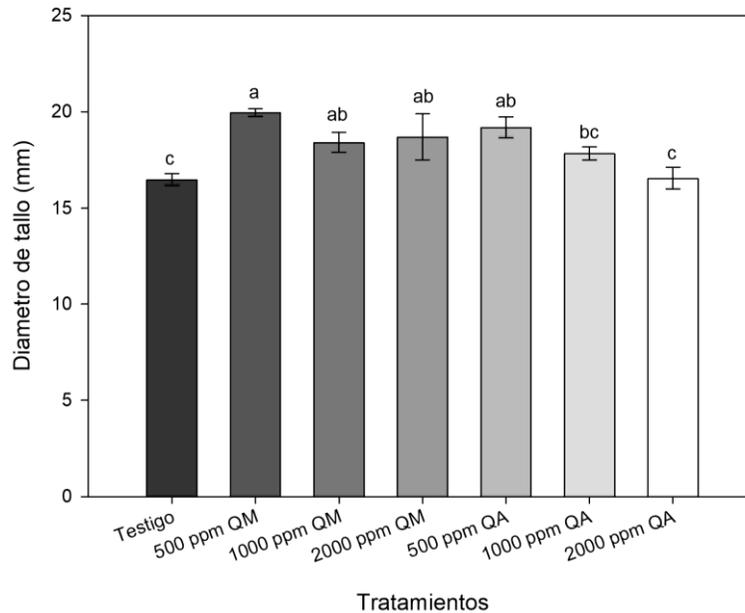


Figura 4. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el diámetro del tallo de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

El incremento en el diámetro del tallo promovido por la aplicación de los tratamientos puede estar relacionado con la inducción de tolerancia al estrés biótico y abiótico lo que permitió a las plantas tener un mejor desarrollo registrando al mejor a dosis de 500 ppm de quitosano y maltodextrina. Los obtenidos del estudio de (Andagoya, 2019) sugieren que con la aplicación de quitosano a dosis recomendada de 3 g/l, se promueve como respuesta agronómica una tendencia en el incremento del diámetro de tallo de las plantas en el cultivo de pepino de la variedad Invivita. El uso de la combinación de nanopartículas de óxido de zinc (ZnO – NPs) para tratar plantas de tomate aumentan el diámetro de tallo, la modificación de (ZnO – NPs) con maltodextrina mejora los efectos de las mismas nanopartículas, sin embargo, la aplicación solo de maltodextrina mejoró el crecimiento de las plantas reafirmando su papel como bioestimulante (Pérez, 2020).

El quitosano es un polímero con grandes propiedades y beneficios para las plantas dentro de las cuales se identifican como promotor de crecimiento de los cultivos, con su aplicación se puede inducir a una estimulación en el incremento en el diámetro de tallo de las plantas tratadas con quitosano o sus derivados (Rivas *et al*, 2021). Dentro de las varias propiedades del quitosano, en la agricultura es utilizado para la protección de plántulas y para la

estimulación del crecimiento de las plantas y por consecuencia en aumento en el diámetro de tallo (Giraldo, 2015).

4.1.4. Numero de frutos

Para la variable de numero de frutos por planta registraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados con base en el análisis de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0.05$), se registró que el tratamiento de 2000 ppm QM obtuvo un aumento del 41%, en caso del tratamiento a dosis de 1000 ppm QM un 33.3 %, también los tratamientos de 500 ppm QM y 500 ppm QA se comportaron parcialmente similares registrando un aumento de 25.5% respectivamente, el tratamiento a dosis de 2000 ppm QA mostro un aumento de 19.6% en comparación con el testigo. Sin embargo, el tratamiento a dosis 1000 ppm QA mostro un comportamiento similar al testigo.

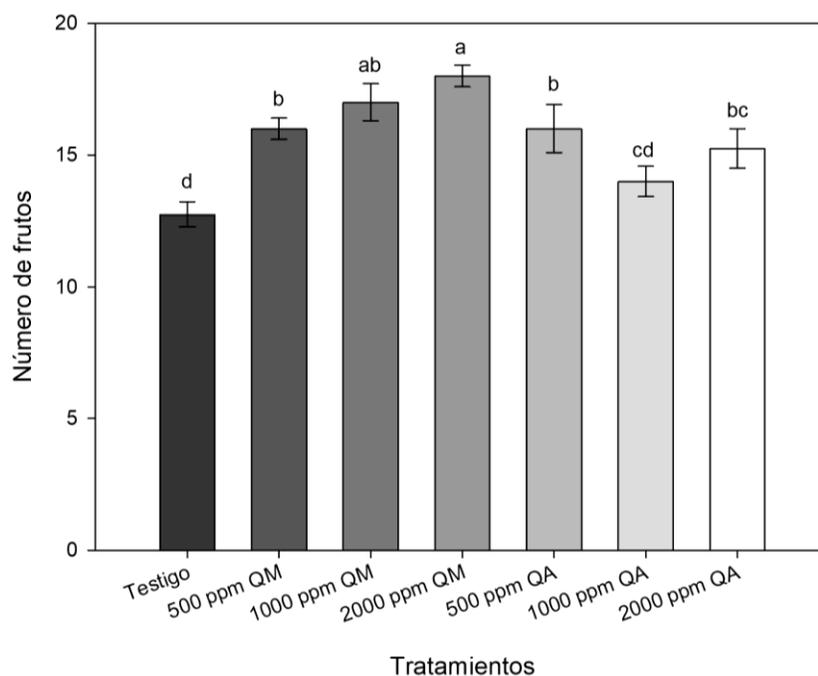


Figura 5. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el número de frutos por planta de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Con la aplicación de quitosano y maltodextrina a dosis 2000 ppm en el cultivo de chile Anaheim vía foliar mostro una tendencia en el aumento de numero de frutos por planta el cual se ve reflejado en la figura 5. Los resultados reportados por (Reyes *et al*, 2013) presentan

de la misma manera una tendencia el en aumento en el número de frutos por planta del cultivo de tomate de variedad Amalia con la aplicación de quitinasa a dosis 300 mg/ha.

El uso de quitosano aplicado directamente en diversos cultivos agrícolas presenta en los últimos años un incremento en combinación con algunos oligosacáridos como la maltodextrina, promueve un mejoramiento en la actividad fotosintética e influye en la aceleración de la floración y cuajado de frutos, por consecuencia influye en el número de frutos en plantas tratadas con este biocompuesto (Poveda, 2018)

4.1.5. Peso fresco de planta

Para la variable de peso fresco de la planta se obtuvieron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, el tratamiento a 500 ppm de QM registro un aumento de 44.1 % siendo este el mejor, el tratamiento a 2000 ppm QM un 35.2 %, para los tratamientos a 1000 ppm QM, 500 ppm QA y 1000 ppm QA se comportaron con un aumento de 21.8 %,28.0 %, 24.9 % respectivamente, en caso del tratamiento a dosis 2000 ppm QA registro un bajo aumento de tan solo un 15% en comparación con el testigo evaluado.

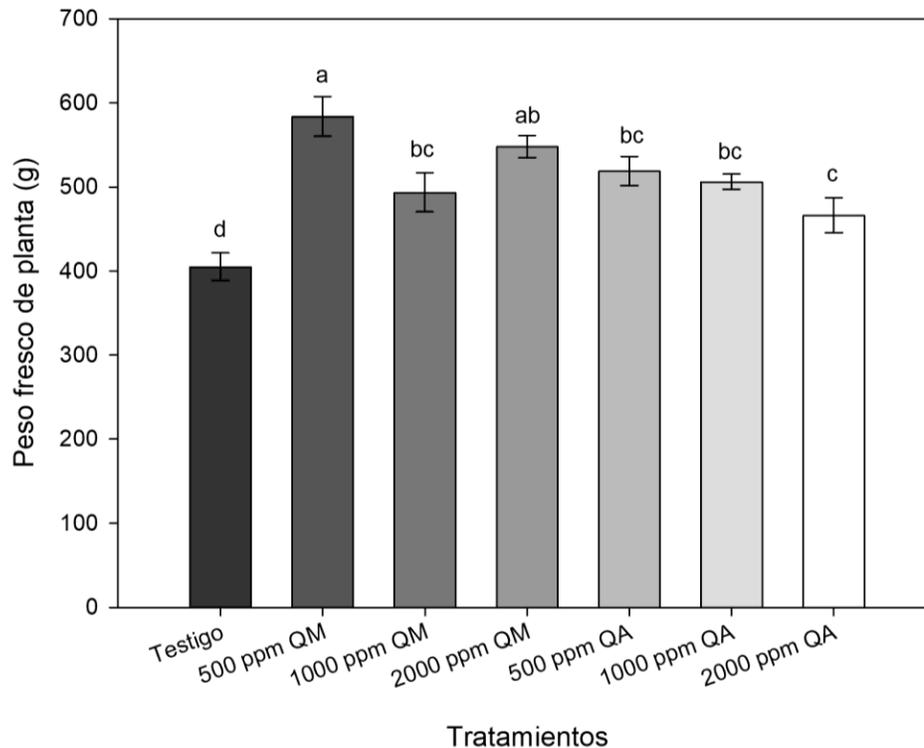


Figura 6. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre peso fresco de plata de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Con la aplicación vía foliar de quitosano y maltodextrina al cultivo de chile anaheim a dosis de 500 ppm, se registró un aumento en la acumulación de biomasa fresca de las plantas evaluadas en este tratamiento, propiciado por las propiedades que aporta que puede ser mejorar el crecimiento de las plantas por el quitosano. Datos obtenidos del estudio de (Coello, 2019) sugieren que la aplicación de quitosano a dosis de 3 g L^{-1} en el cultivo de tomate de la variedad Vyta influyen de manera negativa en la acumulación de biomasa fresca en las plantas ya que se registra menor acumulación a diferencia del testigo que se evaluó. Por otro lado, el autor (Fan *et al.* 2019) sugiere la aplicación de un fertilizante de liberación sostenida (alginato y nitrógeno amida) de urea es controlada por el alginato lo que promueve una mayor acumulación de materia fresca en la planta.

Dentro de la eficiencia del uso de quitosano se identifican diversas propiedades que se le atribuyen, por ejemplo, el quitosano muestra efectos positivos en la estimulación del crecimiento de las plantas con el aumento en partes específicas como son las hojas, raíces y retoños por lo que aumento la biomasa fresca de las plantas tratadas (Velásquez, 2008).

Por otro lado, la influencia del quitosano aplicado a los cultivos promueve a la planta a mejorar la eficiencia en el cierre de estomas disminuyendo la transpiración de las mismas mejorando el crecimiento expresado en la altura de las plantas (Poveda, 2018).

4.1.6. Peso seco de planta

En la variable de peso seco de planta se obtuvieron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados con la prueba de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0.05$), siendo el tratamiento con dosis a 500 ppm QM tuvo un incremento de 84.3 % en materia seca, el tratamiento a dosis 1000 ppm QM un 71.6 % de incremento en materia seca, los tratamientos de 2000 ppm QM, 500 ppm QA, 1000 ppm QA, 2000 ppm QA se comportaron de manera similar teniendo un aumento de 62.8 %, 59.9 % y 51.2% respectivamente, para el tratamiento de 2000 ppm QA presento un ligero aumento de 30.4 en materia seca en comparación con el testigo.

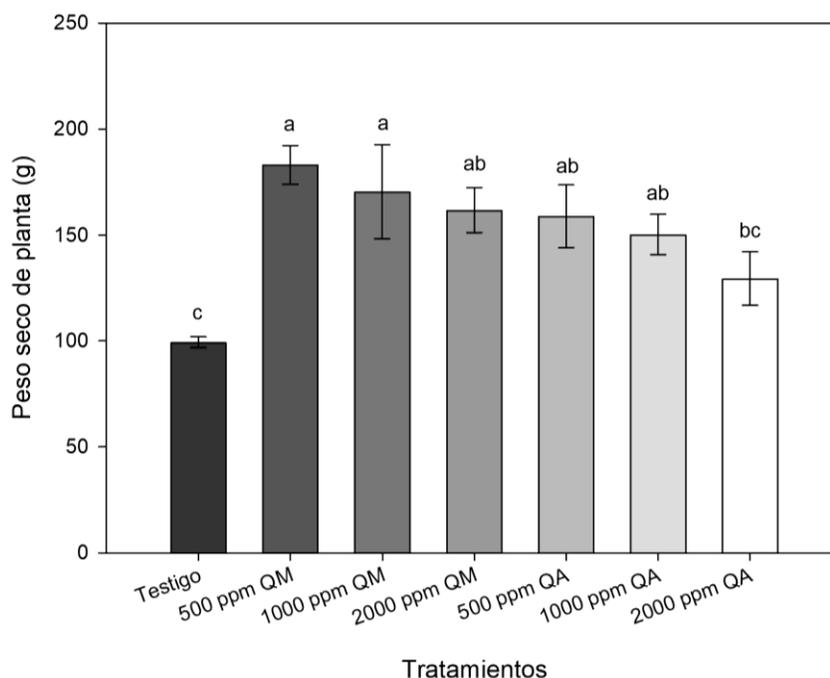


Figura 7. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el peso seco de planta de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Con la aplicación de quitosano y maltodextrina a dosis 500 ppm vía aspersión en el cultivo de chile Anaheim registro un comportamiento de aumento significativo en la acumulación

de biomasa seca para las plantas, al igual el tratamiento a dosis de 1000 ppm de quitosano y maltodextrina registro un aumento parcial en la acumulación de biomasa seca. Resultados obtenidos por (Solórzano, 2019) sugieren que con la aplicación de quitosano a dosis de 3 g/l en el cultivo de pimiento bajo condiciones protegidas se promueve la acumulación de biomasa seca de las plantas aumentando de 54 g del testigo hasta 96.55 g con la dosis de quitosano utilizado. Los resultados del autor (Abd El-Mohdy, H, 2017) sugieren que la aplicación del alginato como oligosacárido degradado inducido mediante el uso de radicación el cual fue aplicado a las plantas vía foliar promueve un efecto positivo en la generación y acumulación de materia seca en las plantas del cultivo de haba.

El efecto en las plantas tratadas con quitosano presentas diversos efectos de acuerdo en el ciclo que se aplican, combinación con biocompuesto como la maltodextrina, así como el grado de des acetilación para inducir a las plantas como el crecimiento de tejido vegetales y en la acumulación de materia seca (Velásquez, 2008).

Existe una diversidad de quitinasas sintetizadas ya sea mediante la obtención de plantas, hongos, insectos, etc., presentan un gran potencial en sus aplicaciones por ejemplo en la agricultura se han aplicado como factores de modulación para beneficiar el crecimiento de las plantas y acumulación de biomasa seca de las mismas (Ramírez *et al*, 2011)

4.1.7. Largo de fruto

Para esta variable de largo de fruto se registraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados, el tratamiento que registro mayor aumento en el largo de los frutos analizados a dosis de 2000 ppm QM el cual fue de un 17.2%, el tratamiento 1000 ppm un 10.9 % y para los tratamientos a dosis 1000 ppm QA, 500 ppm QM, 2000 ppm QM – QA registraron un aumento parcialmente similar con 7.7 %, 6.3 %, 6.2 % respectivamente en comparación con los datos obtenidos de testigo.

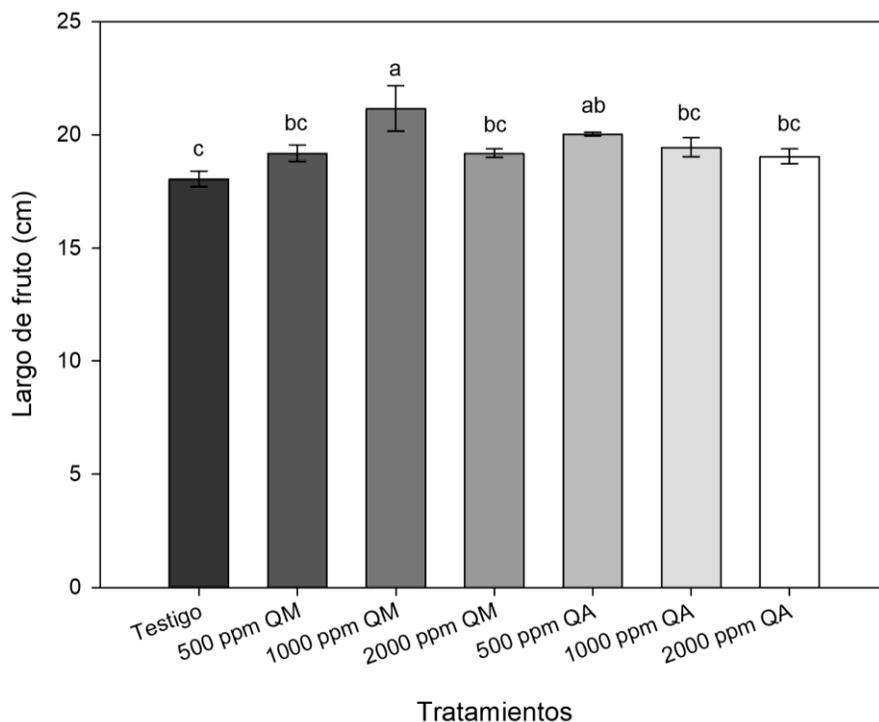


Figura 8. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el largo de fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, Q A= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

La aplicación de quitosano y maltodextrina vía foliar a dosis de 1000 ppm a plantas de chile anaheim promueve un aumento considerable de 17.2 % en el largo de los frutos evaluados, resultados obtenidos de (Reyes, 2019) sugieren que la aplicación de Quitomax el cual su ingrediente activo es el quitosano, a dosis de 300 mg ha⁻¹ se promueve un aumento en el tamaño de frutos en el cultivo de pimiento.

Dentro de las propiedades del quitosano se le atribuyen por sus capacidades una mejora en la calidad de los frutos, por ejemplo, utilizar algunas nanopartículas híbridas de cobre-quitosano, además de presentar actividad microbiana influye en la intensidad de sabor, color y tamaños de los frutos (Trepiana, 2015).

4.1.8. Ancho de fruto

Para esta variable se registraron diferencias estadísticas entre los tratamientos evaluados de los cuales el más destacado fue a dosis 1000 ppm QM con aumento de 13.5 %, en caso a dosis 500 ppm QA un 10.9 %, en este parámetro los tratamientos a dosis 2000 ppm QA, 1000 ppm QA y a 500 ppm QM mostraron un comportamiento parcialmente similar arrojando aumento de 8.7 %, 7.0 % y 6.9 % respectivamente, en caso del tratamiento a dosis 2000 ppm QM registro el menor aumento siendo un 4.2 % en comparación con el testigo.

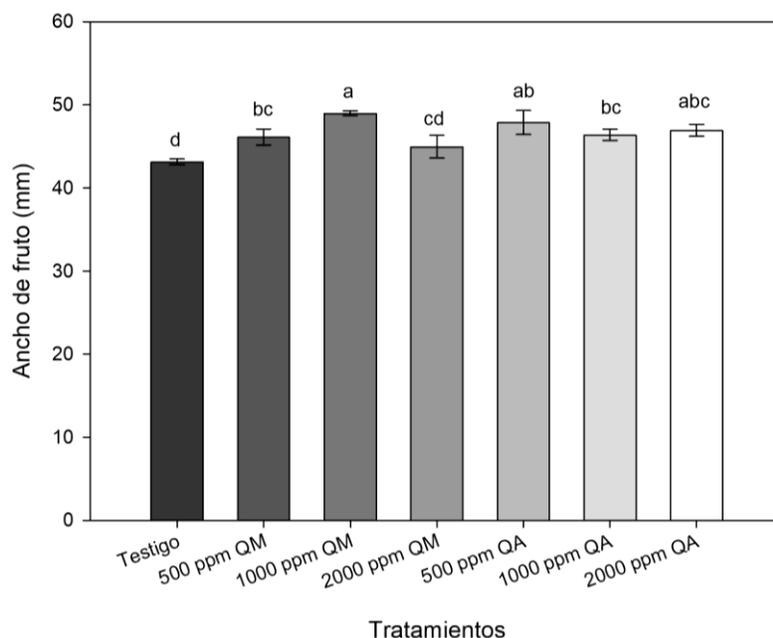


Figura 9. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el ancho de fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

El efecto que promueve el quitosano y maltodextrina a dosis 1000 ppm aplicados vía foliar al cultivo de chile anaheim presenta un aumento de 13.5 % en el ancho de los frutos evaluados. Por otra parte, el autor (Reyes, 2019) sugiere que con la aplicación de Quitomax (quitosano) aplicados a dosis de 300 mg ha⁻¹ promueve un aumento en el tamaño de frutos de pimiento que fueron evaluados.

Con la aplicación de quitosano a las plantas se estimulan diversos procesos fisiológicos en las mismas, un aspecto el cual promueve la aplicación de quitosano es la mejora significativa en el calibre y calidad de los frutos como por ejemplo la mejora del ancho de los frutos (Molina & Delssin, 2010).

4.1.9. Rendimiento

Para la variable de rendimiento mostro diferencias estadísticas significativas en el análisis de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0.05$), el mejor registro fue el tratamiento 1000 ppm QM con un aumento de 52.7 %, para los tratamientos a dosis 2000 ppm QM, 500 ppm QM, 500 ppm QA y 2000 ppm QA registraron un aumento parcialmente similar siendo 34.7 %, 34.6 %, 33.6 % y 30.9 % respectivamente. En caso del tratamiento con dosis a 1000 ppm QA registro el menor aumento en el rendimiento siendo un 16.5 % en comparación con el testigo. La aplicación de quitosano y maltodextrina a dosis 1000 ppm, presento mejores rendimientos por las propiedades de sus componentes como biocompuestos las cuales promovieron mejores rendimientos en chile Anaheim. Los resultados fueron similares a los reportados por (Reyes *et al*, 2020) en la aplicación de quitosano en dosis 2 g L⁻¹ en el cultivo de tomate de variedad Floradade en donde se promovió aumento en el rendimiento.

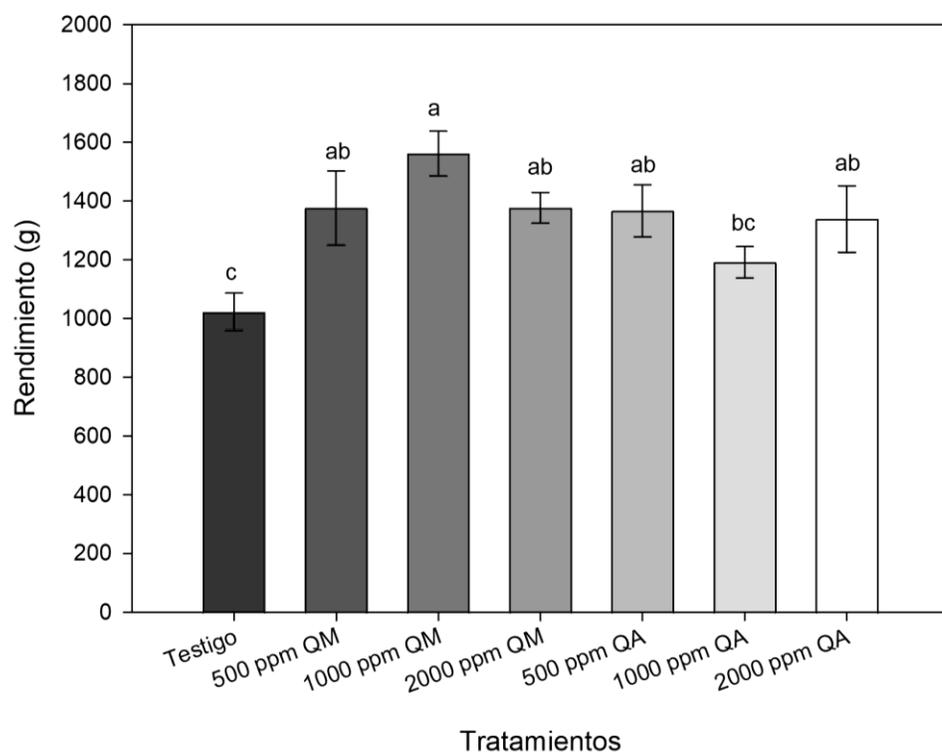


Figura 10. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el rendimiento de plata de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Esto tal vez se deba por la capacidad de los bioestimulantes de aumentar los rendimientos en los cultivos (Reyes *et al*, 2021), por otro lado, resultados obtenidos por (Zhao, 2022) sugieren que con la aplicación de oligosacáridos de alginato en concentraciones de 25 – 50 mg/L promueve un aumento en el rendimiento de trigo de secano. En caso del autor (Idrees-M, 2016) sugiere que con la aplicación de alginato de sodio irradiado aplicados de forma foliar a dosis de 100 ppm promueve el rendimiento de plantas de cilantro.

Dentro de las propiedades del quitosano podemos identificar que si se aplica directamente a los cultivos es capaz de estimular y aumentar el rendimiento de los cultivos, además puede ser aplicado con otros biocompuestos como por ejemplo la maltodextrina, alginato (Molina, 2015). En caso contrario con la utilización de recubrimientos de semillas con quitosano se promueve, regula y mejora la eficiencia en el crecimiento de las plantas teniendo un mejor vigor de las mismas para de esta manera mejorar la cosecha y como potencializador en rendimientos de las variedades agrícolas implementadas (Francisco, 2008).

4.2. Variables de calidad

4.2.1. Prueba de (pH)

Para la variable de (pH) no mostro resultados estadísticos en el análisis de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0.05$), sin embargo, el tratamiento a dosis 1000 ppm QA registro un ligero aumento de 1.12 % y en caso contrario para el tratamiento a dosis 500 ppm QA redujo un 2.8 % en comparación con el testigo.

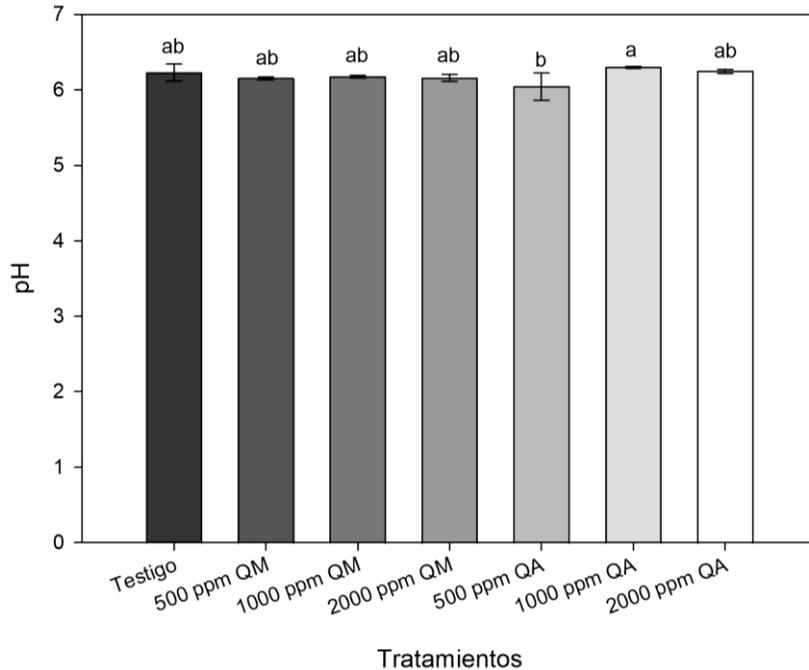


Figura 11. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el (pH) en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Con la aplicación de quitosano y alginato a dosis de 1000 ppm suministrados de forma foliar al cultivo de chile anaheim se promovió un incremento parcial en el (pH) de los frutos evaluados. Los resultados reportados por (Hussein *et al*, 2014) sugieren que con la aplicación de alginato irradiado suministrados en forma de aerosol foliar a el cultivo de papa de la variedad Kara a concentraciones de 0.3% causan una disminución en el (pH) de los tubérculos.

El quitosano presenta diversas capacidades como bioestimulante, sin embargo, estas pueden verse afectadas por el grado de desacetilación y por (pH), ya que si el valor del (pH) es menor las propiedades del quitosano no se ven afectadas y actúan de manera esperada que cuando es mayor (Hernández, 2020).

4.2.2. ORP (Potencial de óxido reducción)

Para la variable de potencial redox en los frutos se mostraron diferencias significativas entre los tratamientos evaluados con el análisis de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0.05$), mostrando un mejor comportamiento los frutos evaluados con la aplicación de quitosano y maltodextrina a dosis de 2000 ppm vía foliar al cultivo de chile anaheim. En caso de la aplicación de quitosano y alginato a dosis de 1000 ppm mostraron mejor resultado de los frutos a la resistencia a la oxidación.

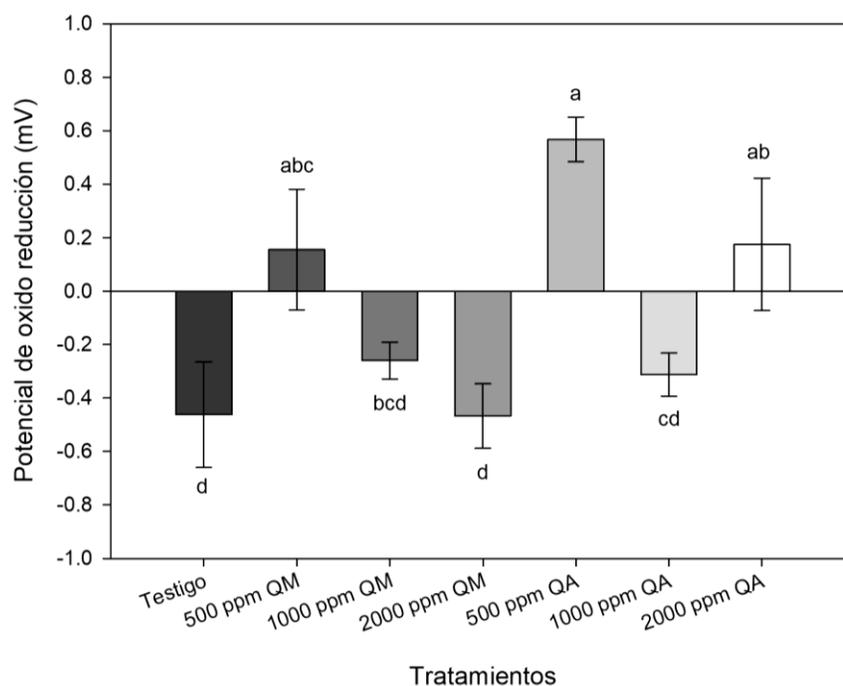


Figura 12. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el potencial de óxido reducción en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Por otro lado, con la aplicación de perlas mixtas ZnCaAlg.PVA.ZnO muestran un comportamiento de liberación gradual de Zn que está entre las perlas basadas en ZnAlg y CaAlg, esta característica de liberación aumenta con la incorporación de alginatos de Ca, lo que demuestra que la liberación puede ajustarse mediante la solución de iones de reticulación para evitar causar toxicidad por Zn (Knijnenburg. 2021).

La aplicación de quitosano en las plantas promueve a la inducción de enzimas de defensa, así como en la síntesis de metabolitos secundarios como por ejemplo los flavonoides,

fitoalexinas, polifenoles y lignina, compuestos que promueven resistencia a la oxidación en los frutos (Malerba & Cerana, 2016).

Con la aplicación de quitosano directamente en las plantas se promueve la inducción de las enzimas de defensa como por ejemplo la fenilalanina amoniaco liasa (PAL), la cual es muy relevante para las plantas ya que promueve la biosíntesis y acumulación de compuestos fenólicos en diversas variedades de hortalizas que mejoran la tolerancia a la oxidación de los frutos (Pichyankura & Chadchawan, 2015).

Debido a las propiedades fisicoquímicas y biológicas del alginato de cierta manera se identifican como complementarias a las del quitosano por lo cual se han formulado nanopartículas a base de ambos polisacáridos gracias a su capacidad de formar hidrogeles con amplio espectro de compatibilidad y promover la acumulación de compuestos fenólicos en las plantas (Goycoolea, 2009).

4.2.3. °Brix (Sólidos solubles totales)

Para la variable de porcentaje de sólidos solubles en fruto no se registró diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos evaluados, sin embargo, el tratamiento a dosis 2000 ppm QM registró un ligero aumento de 14.7 %, por otro lado, el tratamiento a dosis 1000 ppm QM registró disminución en el contenido de sólidos solubles en comparación con el testigo.

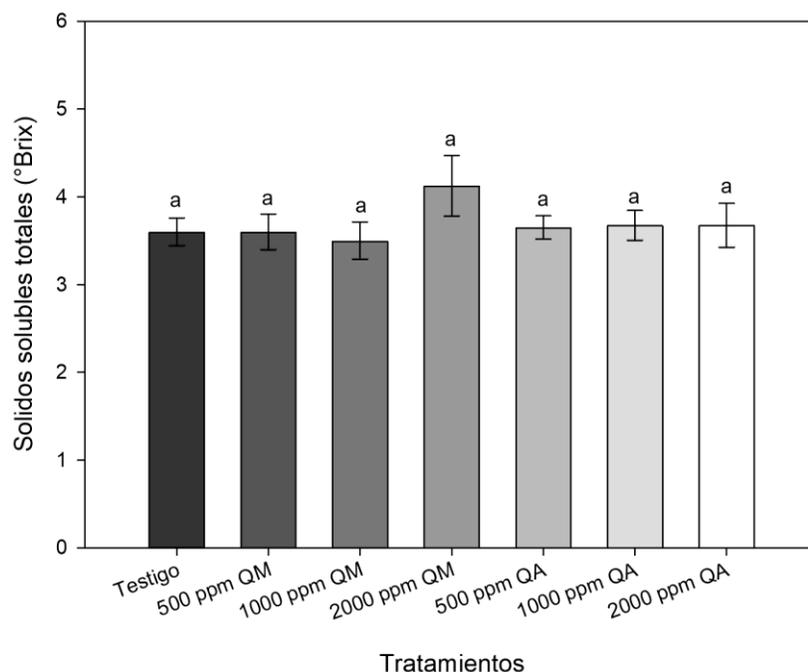


Figura 13. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el contenido de solidos solubles totales en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Los datos obtenidos con la aplicación de los tratamientos no tuvieron diferencias significativas, sin embargo, se presentó un incremento parcial en el contenido de solidos solubles totales con la aplicación de 2000 ppm de quitosano y maltodextrina vía aspersión. Por otro lado, los resultados obtenidos de la investigación del autor (Reyes, 2020) sugieren que la aplicación de quitosano a dosis de entre 150 a 300 mg L⁻¹ causa un efecto de disminución en el contenido de solidos solubles totales en el cultivo de tomate variedad Floradade. En caso contrario el autor (Zhang, 2020) sugiere que la aplicación de productos de hidrolisis enzimática de alginato aumenta el contenido de solidos solubles totales en tomates tratados con dosis de 0.6 mol/L.

El contenido de solidos solubles totales tiene gran relevancia en la calidad de los frutos, esta propiedad es afectada por la humedad, esta condición se previene con la aplicación de películas de quitosano ya que estas tienen la capacidad de reducir la pérdida de humedad en los frutos (Cavazos *et al*, 2020).

4.2.4. AT (Acidez titulable)

Para la variable de acidez titulable no se registraron diferencias estadísticas significativas en el análisis de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0.05$), para el tratamiento a dosis 1000 ppm QM se registró una similitud con el testigo ya que no aumento, en el caso del tratamiento a dosis 500 ppm QA se registró una disminución de 14.3 % en comparación con el testigo evaluado.

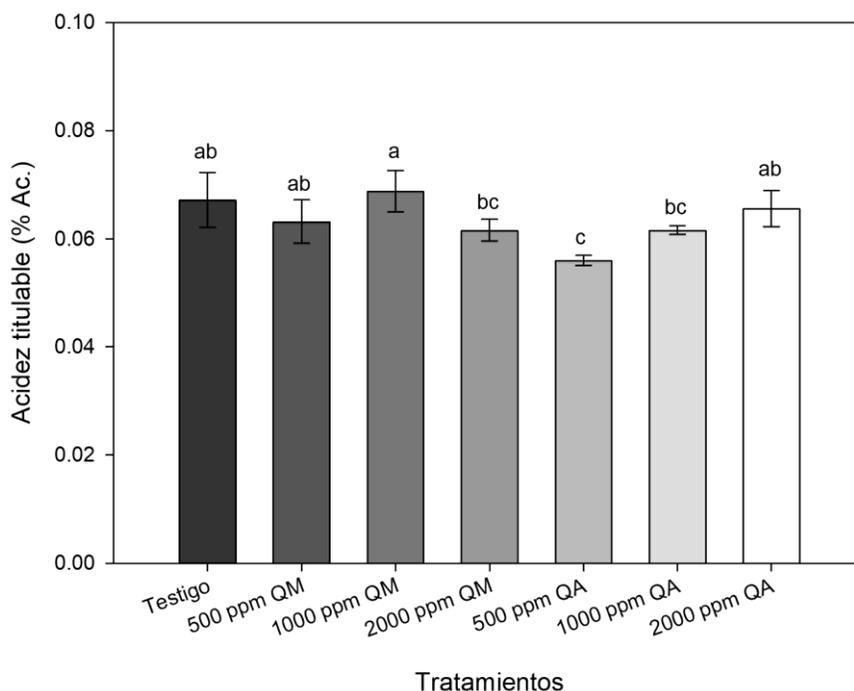


Figura 14. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el % de ácido contenido en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Los datos registrados de la aplicación vía foliar de quitosano y maltodextrina a dosis de 1000 ppm en el cultivo de chile anaheim mostro mayor contenido de ácido cítrico en los frutos. Por otro lado, los resultados de (Abanto, 2018) muestran que la aplicación de recubrimientos de quitosano por inmersión durante 5 minutos directamente en los frutos de arándano influye directamente en el contenido de ácido cítrico en los frutos evaluados el cual arrojo resultados de 0.35 %.

Debido a las propiedades del quitosano de formar recubrimientos puede ser utilizado solo o con la combinación de otros nanocompuestos como el alginato o la maltodextrina para mejorar la calidad de los frutos y hortalizas ya sean frescos o mínimamente procesados dentro

le das cuales se identifican en la influencia en el contenido de ácido cítrico, sin embargo, se recomienda realizar aplicaciones de recubrimientos comestibles a base de quitosano-maltodextrina-alginato en frutos y hortalizas en poscosecha para notar una mejor eficiencia y prolongar la vida útil de los mismos (Vargas *et al*, 2010).

4.2.5. VC (Vitamina C)

Para la variable de contenido de vitamina c en fruto no se registraron diferencias significativas entre los tratamientos en el análisis de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0.05$), sin embargo, el tratamiento a dosis 2000 ppm QM registro un aumento de 42.0 % comparado con el testigo. En caso similar el tratamiento a dosis 500 ppm QM registro una disminución en el contenido de vitamina c en un 31.2 % en comparación con el testigo evaluado.

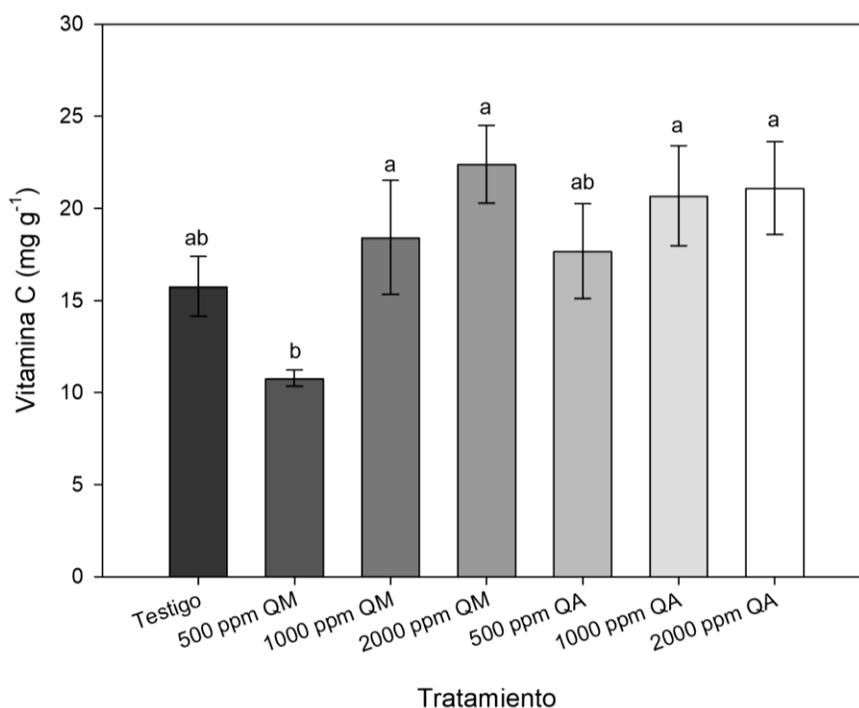


Figura 15. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre el contenido de vitamina C en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

Con la aplicación de quitosano y maltodextrina vía aspersion a dosis de 2000 ppm se registró un incremento parcial el en contenido de vitamina C en los frutos analizados de chile anaheim. Los resultados del estudio realizado por (Reyes, 2020) en el cultivo de tomate

variedad Floradade sugieren que con la aplicación de quitosano a dosis 250 L⁻¹ se promueve un aumento en el contenido de vitamina C en los frutos obteniendo resultados de 9.54 mg g. Diversos estudios demuestran que con la aplicación de quitosano y otros oligosacáridos como la maltodextrina y el alginato que al tratar las plantas con distintas concentraciones causan un incremento en el contenido de vitamina C en el cultivo de soya (Francisco, 2008).

4.2.6. C.E (Conductividad eléctrica)

Para la variable de conductividad eléctrica en frutos los datos que arrojó el análisis de comparación de medias LSD Fisher ($p \leq 0.05$) mostro diferencias estadísticas, para el tratamiento a dosis 2000 ppm QM registro el mejor aumento con 18.16 %, a dosis 1000 ppm QM un 15.16 %, en caso de 500 ppm QM un 12.17%. Por otro lado, los tratamientos 500, 1000 Y 2000 ppm QA registraron un comportamiento parcialmente similar obteniendo 8.7 %, 4.19 y 7.9 % en comparación con el testigo.

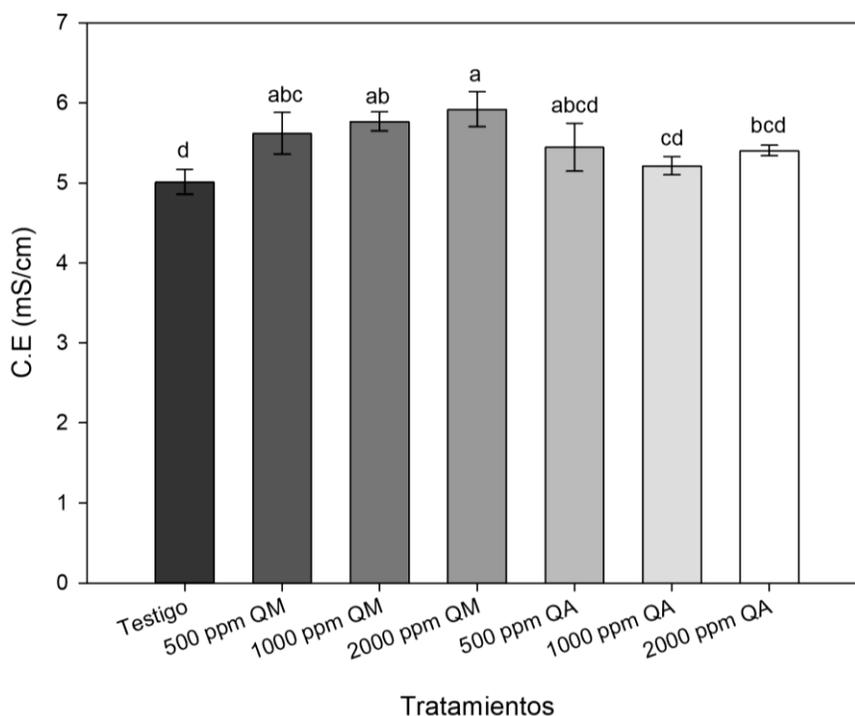


Figura 16. Efecto de diferente dosis de nanocompuestos sobre la conductividad eléctrica en fruto de chile Anaheim. QM= quitosano-maltodextrina, QA= quitosano-alginato. Letra diferente representa diferencias estadísticas con ($\alpha \leq 0.05$).

El quitosano caracterizado por ser amigable con el medio ambiente se obtiene de elementos naturales, una caracterización del quitosano es que varía las propiedades que tiene siendo unas mejores que otras. Para mejorar algunas de sus peores propiedades se recomienda el uso de películas reforzadas con encapsulantes o con plastificantes como por ejemplo como el glicerol, maltodextrina, alginato y demás monosacáridos para mejorar notablemente sus propiedades mecánicas, rendimiento de sus compuestos y la conductividad eléctrica (Espinoza *et al*, 2020).

V. Conclusiones

La aplicación foliar de biofertilizantes de quitosano – maltodextrina presentaron mejores respuestas en la firmeza de fruto, diámetro de tallo, número de frutos, peso fresco – seco de la planta, largo y ancho de fruto, así como en el rendimiento. Con este bioestimulante también se mejoraron variables de calidad de fruto como ORP, grados °Brix, acidez titulable, contenido de vitamina C y conductividad eléctrica.

Mientras que la aplicación de biofertilizantes de quitosano – alginato presenta valores mejores en pH y altura de la planta, mientras que es las demás variables su valor fue menor al anterior.

Las aplicaciones de biofertilizantes a base de quitosano y maltodextrina a dosis de 1000 – 2000 ppm presentaron mejor respuesta en variables de producción y calidad de fruto en chile anaheim de la variedad Charger.

V.I. Bibliografía citada

- Abanto Aguilar, M. G. (2018). Aplicación de dos recubrimientos comestibles quitosano y cera de abeja, para determinar el mejor efecto en la prolongación de la vida útil del arándano (*Vaccinium corymbosum* L.).
- Abd El-Mohdy, H. L. (2017). Radiation-induced degradation of sodium alginate and its plant growth promotion effect. *Arabian Journal of Chemistry*, 10, S431-S438.
- Aguirre, H, E., Muñoz, O, V, (2015). El chile como alimento. Universidad Nacional Autónoma de México, Revista de Ciencias.
- Andagoya Fajardo, C. J. (2019). *Respuesta agronómica del cultivo de pepino (Cucumis sativus L) a la aplicación de quitosano, hongos micorrízicos arbusculares y ácidos húmicos bajo condiciones protegidas* (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).
- Barrera-Martínez, C. L., Meléndez-Rentería, N. P., De León-Zapata, M. A., Salinas-Jasso, T. A., Aguilar-González, C. N., & Laredo-Alcalá, E. I. Revista Internacional de Investigación e Innovación Tecnológica.
- Bernal de Ramírez, I. (1994). Análisis de alimentos. Academia Colombina de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. *Colección Julio Carrizosa Valenzuela*, (2).
- BUSTAMANTE DAVILA, A. J. (2015). Evaluación de tres niveles de humedad en el suelo en el cultivo de chile anaheim (*capsicum annum* l.) Bajo condiciones de acolchado plástico y riego por goteo\Alejandro José Bustamante Dávila (No. SB351. 94. B87 2004.).
- Carrisales-Caycedo, M. F. (2022). Evaluación de la Matriz de Alginato de Sodio y Maltodextrina Para la Encapsulación de Lactobacillus Casei.
- Cavazos, K. E., Galindo, A. S., & Facio, A. C. (2020). Películas de quitosano propiedades y aplicaciones. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 77(591), 203-208.
- Cavazos, K. E., Galindo, A. S., & Facio, A. C. (2020). Películas de quitosano propiedades y aplicaciones. *Afinidad: Revista de química teórica y aplicada*, 77(591), 203-208.
- Chaitra, A. K. P., Ahuja, R., Sidhu, S. P. K., & Sikka, R. (2021). Importance of Nano Fertilizers in Sustainable Agriculture. *Environ. Sci. Ecol. Curr. Res. (ESECR)*, 5, 1029.
- Cid, M., González-Olmedo, J. L., Lezcano, Y., & Nieves, N. (2006). Influencia del Pectimorf sobre la calidad de la semilla artificial de caña de azúcar (*Saccharum* sp.). *Cultivos Tropicales*, 27(1), 31-34.

- Coello Muñoz, J. A. (2019). *Efecto del quitosano, hongos micorrízicos y ácidos húmicos sobre el crecimiento y desarrollo de variedades de tomate (Solanum lycopersicum L) bajo condiciones controladas* (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).
- Coronel Habrahamshom, P. D. C. (2019). Obtención de maltodextrina mediante hidrólisis enzimática del almidón a partir de ñelén de arroz (*Oryza Sativa L.*).
- Espinosa-Cavazos, K. G., Sáenz-Galindo, A., & Castañeda-Facio, A. O. (2020). Películas de quitosano propiedades y aplicaciones. *Afinidad*, 77(591).
- Fan, Y., Xu, J., Gao, X., Fu, X., & Yang, X. (2019). Effect of alginate on the release of amide nitrogen for soilless cultivation applications. *Scientia Horticulturae*, 256, 108545.
- FAOSTAT. 2020. Cultivos. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. Moreno, P. E. C.; Mora, A., R.; Sánchez, del C. F.; García, P., V. 2010. Fenología y rendimiento de híbridos de pimiento morrón (*Capsicum annum L.*) Cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo Serie Horticultura*
- Foladori, G, Invernazza, N., Miller, G., Senjen, R, (2008). NANOTECNOLIGIAS EN LA ALIMENTACION Y AGRICULTURA, Universidad de la República, Comisión Sectorial de Extensión y Actividades en el Medio (CSEAM).
- FRANCISCO, N. F. (2008). Aplicaciones de quitina y sus derivados en la agricultura.
- Ganesh, D. E. (2016). Application of Nanotechnology in Agriculture sector-A review. *International Journal of Exclusive Global Research*, 4(5), 3306-3315.
- García Bustamante, E. L. (2019). *Evaluación del quitosano, sobre la emergencia y crecimiento en plantas de tomate (Solanum lycopersicum L) bajo condiciones controladas* (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).
- Giraldo, J. (2015). Propiedades, obtención, caracterización y aplicaciones del quitosano. *Appl. Chitosan*.
- Gómez-Matos, M., Martínez-Balmori, D., & Coll-García, Y. (2023). Alginato y sus oligosacáridos a partir de algas pardas de arribazón: preparación y bioactividad agrícola. Una revision. *Revista Cubana de Química*, 35(1), 46-67.
- González, M. G. G. El cultivo de chile en zacatecas. *Tecnología de producción de chile seco*, 5.
- Goycoolea, F. (2009). Nanopartículas a base de polisacáridos: quitosano. *Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia*.
- Hernández, A. P. (2020). TÍTULO: QUITOSANO Y DERMOCOSMECÉUTICA.

- Hussein, O. S., & Hamideldin, N. A. H. L. A. (2014). Effects of spraying irradiated alginate on *Solanum tuberosum* L. plants: Growth, yield and physiological changes of stored tubers. *J. Agric. Veterinary Sci*, 7(1), 75-79.
- Idrees, M., Hassan, I. U., Naikoo, G. A., Naeem, M., Aftab, T., Khan, M. M. A., & Varshney, L. (2016). Functional activities and essential oil production in coriander plants supported with application of irradiated sodium alginate. *Int J Appl Environ Sci*, 11, 467-474.
- INTAGRI. 2020. Cultivo de Chile en México. Serie Hortalizas, Núm. 21. Artículos Técnicos de INTAGRI. México.
- Knijnenburg, J. T., Kasemsiri, P., Amornrantanaworn, K., Suwanree, S., Iamamornphan, W., Chindaprasirt, P., & Jetsrisuparb, K. (2021). Entrapment of nano-ZnO into alginate/polyvinyl alcohol beads with different crosslinking ions for fertilizer applications. *International Journal of Biological Macromolecules*, 181, 349-356.
- LA LAGUNA, C. E., 2008. Principales enfermedades del chile (*Capsicum annum* L.).
- Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Santos Villarreal, G. D. L., & Vera Reyes, I. (2018). Potencial de la nanotecnología en la agricultura. *Acta universitaria*, 28(2), 9-24.
- Lira Saldivar, R. H., Méndez Argüello, B., Vera Reyes, I., & De los Santos Villarreal, G. (2018). Agronotecnología: una nueva herramienta para la agricultura moderna. *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, 50(2), 395-411.
- López-Elías, J., Huez-López, M. A., Rueda-Puente, E. O., Jiménez-León, J., Rodríguez, J. C., Romero-Espinoza, L. K., & Dávila-Carrera, F. X. (2013). Evaluación de un polímero hidrófilo en chile anaheim (*Capsicum annum* L.) cultivado en invernadero. *Terra Latinoamericana*, 31(2), 115-118.
- Mahapatra, D. M., Satapathy, K. C., & Panda, B. (2022). Biofertilizers and nanofertilizers for sustainable agriculture: Phycoprosects and challenges. *Science of the total environment*, 803, 149990.
- Malerba, M. y Cerana, R. (2016). Efectos del quitosano en los sistemas de las plantas. *Revista internacional de ciencias moleculares*, 17 (7), 996.
- Mallon Mercado, F. (2017). Síntesis de nanoparticulas de quitosano-maltodextrina cargadas con urea y su aplicación en el cultivo de brócoli.
- Mendoza Reyna, P. B., & Álvarez Reyna, V. D. P. (2014). Producción y eficiencia en uso de agua en chile jalapeño (*Capsicum annum* L.).

- Molina N. y Delssin E. 2010. Producción de Arándanos en Corrientes, Análisis técnico 47 y económico, INIA- Estación Experimental Agropecuaria Bella Vista Región Corrientes-Argentina, 4-16 pp.
- Molina, J. (2015). Desmineralización de la quitina utilizando ácido fosfórico para la obtención de quitosano y su aplicación en el cultivo de arroz (Doctoral dissertation, Tesis Master). Universidad del Zulia. Venezuela).
- Moreno, A., Cartaya, O., González-Peña, D., Reynaldo, I., & Ramírez, M. A. (2012). Metodología factible para la obtención de quitosano con fines agrícolas. *Revista iberoamericana de polímeros*, 13(2), 69-76.
- Pérez Luna, A. M. (2020). *Acoplamiento molecular de quitosano a nanotubos de carbono funcionalizados para su uso como transportadores en nanofertilizantes* (Doctoral dissertation, Universidad del Valle de Guatemala).
- Pérez Velasco, E. A., Betancourt Galindo, R., Valdez Aguilar, L. A., González Fuentes, J. A., Puente Urbina, B. A., Lozano Morales, S. A., & Sánchez Valdés, S. (2020). Effects of the morphology, surface modification and application methods of ZnO-NPs on the growth and biomass of tomato plants. *Molecules*, 25(6), 1282.
- Pérez-Hernández, H., López-Valdez, F., Juárez-Maldonado, A., Méndez-López, A., Sarabia-Castillo, C., García-Mayagoitia, S., Torres-Gómez, A., Valle-García, J., & Pérez-Moreno, A. (2023). Implicaciones de los nanomateriales utilizados en la agricultura: una revisión de literatura de los beneficios y riesgos para la sustentabilidad. *Mundo Nano. Revista Interdisciplinaria En Nanociencias Y Nanotecnología*, 17(32), <https://doi.org/10.22201/ceiich.24485691e.2024.32.69720>
- Pichyangkura, R., & Chadchawan, S. (2015). Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Scientia Horticulturae*, 196, 49-65.
- Poveda Arias, J. (2018). Quitina: Compuesto natural y práctico. *Investigación Joven*, 5. Ramírez, C. C., de la Fuente Salcido, N. M., Cano, R. D. P., Ortiz-Rodríguez, T., & Corona, J. E. B. (2011). Potencial de los quito-oligosacáridos generados de quitina y quitosana. *Acta Universitaria*, 21(3), 14-23.
- Pramanik, P., Krishnan, P., Maity, A., Mridha, N., Mukherjee, A., & Rai, V. (2020). Application of nanotechnology in agriculture. *Environmental Nanotechnology Volume 4*, 317-348.

- Reyes, R. C. R., Villaverde, J. F., & Paneque, O. S. G. (2013). Influencia de la quitosana en tomate (*Solanum lycopersicum* Mill) var.“Amalia.”. *Centro Agrícola [Internet]*, 40(2), 79-84.
- Reyes-Pérez, J. J., Enríquez-Acosta, E. A., Ramírez-Arrebato, M. Á., Zúñiga Valenzuela, E., Lara-Capistrán, L., & Hernández-Montiel, L. G. (2020). Efecto del quitosano sobre variables del crecimiento, rendimiento y contenido nutricional del tomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 11(3), 457-465.
- Reyes-Pérez, J. J., Enríquez-Acosta, E. A., Ramírez-Arrebato, M. Á., Rodríguez-Pedroso, A. T., Lara-Capistrán, L., & Hernández-Montiel, L. G. (2019). Evaluation of the growth, yield and nutritional quality of pepper fruit with the application of Quitomax®. *Ciencia e Investigación Agraria*, 46(1), 23-29.
- Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., García-Bustamante, E. L., Beltran-Morales, F. A., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2020). Aplicación de quitosano incrementa la emergencia, crecimiento y rendimiento del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en condiciones de invernadero. *Biotecnia*, 22(3), 156-163.
- Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., Solórzano-Cedeño, A. E., Carballo-Méndez, F. D. J., Lucero-Vega, G., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2021). Aplicación de ácidos húmicos, quitosano y hongos micorrízicos como influyen en el crecimiento y desarrollo de pimiento. *Terra Latinoamericana*, 39.
- RICARDO, H. L. S., ARGUELLO, B. M., REYES, I. V., & GLADYS, D. L. S. V. (2016). Potencial de la nanotecnología para el desarrollo de la agricultura sustentable.
- Rodríguez-Guzmán, C. A., González-Estrada, R. R., Bautista-Baños, S., & Gutiérrez-Martínez, P. (2019). Efecto del quitosano en el control de *Alternaria* sp. en plantas de jitomate en invernadero. *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, 22.
- Saberí Riseh, R., Gholizadeh Vazvani, M., Ebrahimi-Zarandi, M., & Skorik, Y. A. (2022). Alginate-induced disease resistance in plants. *Polymers*, 14(4), 661.
- Sánchez-Toledano, B., Zegbe, J. A., Mena-Covarrubias, J., & Echavarría-Cháirez, F. (2022). Situación actual y futura de la cadena productiva de chile verde: un caso de estudio en Zacatecas, México. *Revista Fitotecnica Mexicana*, 45(2), 261-261.
- Sayed, R. Z., Reddy, M. S., & Al-Turki, A. I. (2016). Recent Trends in PGPR Research for Sustainable Crop Productivity.

- SIAP. 2019. Panorama Agroalimentario 2019. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- SIAP. 2020. Producción anual agrícola. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera.
- Solórzano Cedeño, A. E. (2019). *Efecto de quitosano, hongos micorrízicos y ácidos húmicos sobre el crecimiento y desarrollo en variedades de pimiento (Capsicum annuum L) bajo condiciones protegidas* (Bachelor's thesis, Quevedo-UTEQ).
- Stasińska-Jakubas, M., & Hawrylak-Nowak, B. (2022). Protective, biostimulating, and eliciting effects of chitosan and its derivatives on crop plants. *Molecules*, 27(9), 2801.
- Tarafdar JC, Ramesh R, Himanshu M, Indira R (2014) Desarrollo de nanofertilizantes de zinc para mejorar la producción de cultivos en mijo perla (*Pennisetum americanum*).
- Tobar, S. F. L., Sánchez, A. R. Á., Pérez, J. J. R., López, L. V., & Cajo, D. J. Y. (2021). Respuesta agronómica y control fitosanitario de plantas de tomate (*Solanum lycopersicum L*), a la aplicación de quitosano. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9(3), 6-12.
- Trepiana Fica, D. A. (2015). Síntesis de suspensiones de nanopartículas de cobre y quitosano, y evaluación de sus propiedades antimicrobianas frente a *Streptococcus mutans*.
- Vargas, M., González-Martínez, C., Chiralt, A., & Cháfer, M. (2010). Quitosano: una alternativa natural y sostenible para la conservación de frutas y hortalizas. *Del 6 al 9 de octubre de 2010*, 5(9), 108.
- Velásquez-Valle, R., Reveles-Torres, L.R. y RevelesHernández, M. 2013. Manejo de las principales enfermedades del chile para secado en el norte centro de México. Folleto Técnico. Núm 50. Campo Experimental Zacatecas. CIRNOC – INIFAP
- Yfran, M. D. L. M., Chabbal, M. D., Píccoli, A. B., Giménez, L. I., Rodríguez, V. A., & Martínez, G. C. (2017). Fertilización foliar con potasio, calcio y boro. Incidencia sobre la nutrición y calidad de frutos en mandarina Nova. *Cultivos Tropicales*, 38(4), 22-29.
- Zegbe, J., Valdez, R. and Lara, A. (2012) Cultivo del Chile en México. Tendencias de producción y problemas fitosanitarios actuales. *Revista fitotecnia mexicana*.
- Zerpa, J. A. M., Rincón, M. C., Rincón, D., & Colina, J. A. V. (2017). Efecto del uso de quitosano en el mejoramiento del cultivo del arroz (*Oryza sativa L.* variedad sd20a). *Revista de investigación agraria y ambiental*, 8(2), 151-165.

Zhang, C., Wang, W., Zhao, X., Wang, H., & Yin, H. (2020). Preparation of alginate oligosaccharides and their biological activities in plants: A review. *Carbohydrate Research*, *494*, 108056.

Zhao, X., Zhang, R., Wang, W., Hong, B., Zhang, S., & Yin, H. (2022). The effects of foliar application of alginate oligosaccharide at different stage on wheat yield components.