

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Comportamiento Agronómico del Cultivo de Pimiento Tratado con  
Nanoquitosan-Yodo (NPsCS-KIO<sub>3</sub>)

Por:

**TATIANA SÁNCHEZ SALINAS**

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2025

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Comportamiento Agronómico del Cultivo de Pimiento Tratado con  
Nanoquitosan-Yodo (NPsCS-KIO<sub>3</sub>)

Por:


**TATIANA SÁNCHEZ SALINAS**


TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:


**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**


Aprobada por el Comité de Asesoría:

  
Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente  
Asesor Principal

  
Dra. Rocío Maricela Peralta Manjarrez  
Asesor Principal Externo

  
Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Coasesor

  
Dra. Fabiola Aureoles Rodríguez  
Coasesor

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel  
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México  
Diciembre, 2025

## DERECHO DE AUTOR Y DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

Todo material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor de los Estados Unidos Mexicanos, y pertenece al autor principal quien es el responsable directo y jura bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta 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 (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos o la tesis para presentarla como propia; 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, gráficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente. Así mismo tengo conocimiento de que cualquier uso distinto de estos materiales como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo no ha sido previamente presentado en ninguna otra institución educativa, organización, medio público o privado.

A t e n t a m e n t e.

Alma Terra Mater



Tatiana Sánchez Salinas

Autor Principal



Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente

Asesor Principal

## DEDICATORIA

Dedico este trabajo a familia como muestra de mi amor y mi agradecimiento, y sobre todo por ser mi motivación.

A mi hermosa madre **Virginia Salinas Mendieta**, a quien amo con todo mi corazón. Agradezco su apoyo incondicional para lograr mis metas y sueños, por educarme e inculcarme valores que me definen, por motivarme, y darme ánimos en momentos difíciles, este logro también es suyo. La admiro mucho y siempre será mi mayor inspiración.

Gracias mamá por tus oraciones día a día y por impulsarme a buscar a Dios. Muchas veces sacrificaste tus horas de sueño y comodidades por mí, estoy infinitamente agradecida, siempre serás mi motor y mi fuerza para seguir adelante. ¡Gracias por tanto!

A mi hermana **Liliana Sánchez Salinas**, gracias por tu apoyo incondicional y por siempre resolver mis dudas. A mi hermana **Sonia Sánchez Salinas**, gracias por tus consejos y por apoyarme en todo momento a pesar de la distancia. A mi hermano **Javier Sánchez Salinas**, gracias por todo lo que me enseñaste durante mi estancia de prácticas profesionales, por tenerme paciencia, por cuidarme tanto y siempre procurar que no me faltara nada, también gracias por tus regaños, que siempre fueron muestra de cariño y preocupación. A mi hermana **Mireya Sánchez Salinas**, gracias porque durante esta etapa fuiste mi compañera de cuarto, por soportarme cuando ni yo misma lo hacía, por animarme cada día y motivarme a cumplir con mis tareas y proyectos académicos. Además, gracias por escucharme, comprenderme, cuidarme, por ser mi compañía a kilómetros de casa y hacer que fuera más fácil concluir esta etapa. A mi hermano **Víctor Hugo Sánchez Salinas**, porque aun siendo el menor tus sabios consejos me alentaron a esforzarme cada día.

Con cada uno de ustedes he pasado grandes momentos, el cariño que me han brindado me ha alentado para culminar esta etapa. ¡Los quiero mucho!

## AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco a **Dios** por guiarme, y en momentos difíciles darme la fuerza para continuar ante la adversidad. También le agradezco por la inteligencia, por la salud, y por la fuerza mental para lograr cada meta y objetivo que me propongo no solo durante la carrera, sino en la vida.

A mi Alma Mater, la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por darme la oportunidad de formarme profesionalmente, me enseñaste a valorar cada detalle, a apreciar cada esfuerzo, además te convertiste en mi segundo hogar, te llevaré siempre en mi corazón, y diré con orgullo una vez buitre siempre buitre.

También expreso mi agradecimiento al **Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente**, por brindarme la oportunidad de desarrollar este proyecto, por compartir conmigo sus conocimientos y por el apoyo que me ofreció a lo largo de mi formación académica.

A la **Dra. Rocio Maricela Peralta Manjarrez**, gracias por su apoyo constante, su orientación durante mi preparación profesional; por su paciencia, por animarme y por cada uno de los consejos que me dio.

A mis amigos en especial a **Yahir Chillopa, Esli Sulem, Gabriela Casas, Jade Magdaleno, Vanessa López, Citlali Rojas**, gracias por su apoyo en momentos difíciles, por su compañía, sobre todo por las sonrisas y los buenos momentos. Fue una bendición coincidir en esta etapa con ustedes.

Agradezco al comité de asesoría por el apoyo brindado para poder culminar esta etapa de mi formación profesional.

# ÍNDICE GENERAL

<b>DEDICATORIA.....</b>	<b>I</b>
<b>AGRADECIMIENTOS .....</b>	<b>II</b>
<b>ÍNDICE GENERAL .....</b>	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS .....</b>	<b>VI</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>VII</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Hipótesis.....	3
<b>II. LITERATURA REVISADA .....</b>	<b>3</b>
2.1 Descripción Botánica.....	3
2.1.1 Raíz.....	3
2.1.2 Tallo.....	3
2.1.3 Hojas.....	4
2.1.4 Flores.....	4
2.1.5 Frutos .....	4
2.2 Producción Mundial.....	4
2.3 Producción Nacional .....	5
2.4 Bioestimulantes .....	5
2.5 El quitosán como bioestimulante de cultivos .....	5
2.6 Función del yodo en las plantas.....	6
2.7 Importancia del yodo en la dieta humana .....	6
2.8 Antecedentes del uso de nanopartículas como bioestimulante en la agricultura .....	8
2.9 Nanopartículas de quitosán .....	8
2.10 Impacto de las nanopartículas de yodo en la producción y calidad de hortalizas .....	9
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>10</b>
3.1 Ubicación del Experimento .....	10
3.2 Material vegetal utilizado .....	10
3.3 Trasplante .....	10

3.4 Deschuponado y poda de formación .....	10
3.5 Tutorio.....	11
3.6 Manejo Sanitario.....	11
3.7 Fertilización .....	12
3.8 Riego .....	12
3.9 Cosecha .....	13
3.10 Tratamientos Empleados .....	13
3.11 Variables agronómicas .....	13
3.12 Variables de producción .....	14
3.13 Variables de calidad .....	15
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>16</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>24</b>
<b>VI. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>24</b>
<b>VII. ANEXOS .....</b>	<b>28</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Rendimiento del cultivo de pimiento tratado con complejos de nanoquitosan-yodo .....	18
Figura 2. Dinámica de crecimiento del fruto de plantas de pimiento tratadas con complejos de nanoquitosan-yodatado .....	23
Figura 3. Dinámica de crecimiento del fruto de plantas de pimiento tratadas con complejos de nanoquitosan-yodatado .....	23

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ingesta recomendada de yodo.....	7
Tabla 2. Tratamientos evaluados.....	13
Tabla 3. Características agronómicas del cultivo de pimiento tratadas con complejos de nanoquitosan-yodatado .....	16
Tabla 4. Características de producción del cultivo de pimiento tratadas con complejos de nanoquitosan-yodatado .....	17
Tabla 5. Características de calidad del fruto de plantas de pimiento tratadas con complejos de nanoquitosan-yodatado .....	21

## RESUMEN

El pimiento morrón (*Capsicum annuum*), es una hortaliza de gran importancia económica y nutricional, cuyo rendimiento y calidad pueden mejorar mediante el uso de bioestimulantes. Entre ellos, destacan los biopolímeros como el quitosano y elementos benéficos como el yodo, cuya combinación en forma de nanopartículas ofrece ventajas como mayor solubilidad, rápida absorción y capacidad de mejorar procesos fisiológicos en las plantas.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del bioestimulante nanoquitosan-yodatado (NPsCS-KIO<sub>3</sub>) sobre el crecimiento, la producción y la calidad del pimiento morrón. Se estableció un experimento con cinco tratamientos (0, 250, 500, 750 y 1000 ppm de NPsCS-KIO<sub>3</sub>) aplicados vía foliar cada ocho días, bajo un diseño completamente al azar con diez repeticiones por tratamiento.

Las dosis moderadas (250–500 ppm) mejoraron el desarrollo vegetativo y la biomasa, destacando 500 ppm como la más eficiente para el crecimiento. El mayor rendimiento (4.04 kg/planta) y la mayor firmeza del fruto se obtuvieron con 750 ppm, mientras que 1000 ppm presentó efectos adversos para las variables evaluadas. Las nanopartículas también favorecieron el diámetro del fruto y mostraron una tendencia al incrementar los sólidos solubles. En general, el nanoquitosan-yodo actuó como bioestimulante efectivo cuando se aplicó dentro de rangos moderados, mejorando la productividad y la calidad del pimiento morrón.

**Palabras clave:** quitosano, yodo, bioestimulante, pimiento morrón

## I. INTRODUCCIÓN

Pimiento morrón (*Capsicum annuum*), es también conocido como chile dulce o Bell, es considerado una especie de gran importancia comercial y económica a nivel nacional y mundial, (Liu et al., 2025), debido a que es un alimento muy nutritivo por su aporte de vitaminas (A, C, E y K1), también tiene efectos medicinales: favorece la digestión aumentando el número de calorías quemadas, reduce los niveles de colesterol y aporta propiedades antioxidantes (Cortés Vargas et al., 2013).

Los bioestimulantes son sustancias y/o microorganismos que al ser aplicados a las plantas y a la rizosfera estimulan los procesos naturales para mejorar o beneficiar la absorción y eficiencia de los nutrientes, la tolerancia al estrés biótico o abiótico, incrementándose el rendimiento y también la calidad de los productos (Rivera-Solís et al., 2024), entre la amplia gama de bioestimulantes se encuentran los extractos vegetales, los ácidos húmicos y fúlvicos microorganismos y compuestos inorgánicos como biomoléculas y biopolímeros (Rivera-Solís et al., 2024).

Dentro de la clasificación de los biopolímeros se encuentra el quitosán, el cual es un subproducto de la industria de los mariscos. Se ha comprobado que este compuesto posee propiedades benéficas para el desarrollo de cultivos puesto que maximiza la absorción de nutrientes reflejándose en la calidad nutricional de los frutos, además mejora la adaptación frente a condiciones adversas (Yu et al., 2021).

Por otro lado, este polisacárido tiene como desventaja la limitación de solubilidad en agua cuando tiene un pH neutro o básico, una alternativa eficiente para evitar las limitaciones de solubilidad es la síntesis de nanopartículas de quitosán, las cuales por su tamaño reducido son consideradas fáciles de absorber (Aranaz et al., 2021).

El yodo (I) es considerado como un micronutriente benéfico para las plantas al ser aplicado en concentraciones adecuadas desempeña un papel sumamente importante en procesos fisiológicos y bioquímicos, reflejándose en el crecimiento, producción y estrés en las plantas (Kiferle et al., 2021).

Además, en el ser humano, el yodo se considera un elemento traza esencial, ya que forma parte fundamental de las hormonas tiroideas. Dichas hormonas intervienen en el metabolismo de prácticamente todas las células del organismo y desempeñan un papel determinante en los procesos de crecimiento y desarrollo de los órganos, especialmente del cerebro (Muñoz del Caz, 2022).

Este estudio busca evaluar la calidad en la producción de los frutos de pimiento morrón, mediante la optimización del uso de nanoquitosan con yodo en forma de complejo y de esta manera conocer el efecto bioestimulante relacionado con las variables de contenido de sólidos solubles totales (°Brix), y el crecimiento de las plantas.

### **1.1 Objetivo general**

Determinar el efecto del bioestimulante nanoquitosan-yodatado (NPsCS-KIO<sub>3</sub>) sobre la producción y calidad del pimiento morrón.

### **1.2 Objetivos específicos**

- Evaluar el efecto de diferentes concentraciones del bioestimulante nanoquitosan-yodatado (NPsCS-KIO<sub>3</sub>) en el crecimiento y desarrollo del pimiento morrón.
- Determinar la dosis óptima del bioestimulante nanoquitosan-yodatado (NPsCS-KIO<sub>3</sub>) para maximizar la calidad de los frutos de pimiento morrón, enfocándose en el tamaño, grados brix, y firmeza.
- Analizar el impacto del bioestimulante nanoquitosan-yodatado (NPsCS-KIO<sub>3</sub>) reflejado en la biomasa del pimiento morrón.

### **1.3 Hipótesis**

Con la aplicación del bioestimulante nanoquitosan-yodatado (NPsCS-KIO<sub>3</sub>) en diferentes concentraciones en el cultivo de pimiento morrón, se tendrá un impacto favorable en la producción y calidad del fruto.

## **II. LITERATURA REVISADA**

### **2.1 Descripción Botánica**

El pimiento morrón, es una planta herbácea, se considera un cultivo anual, consta de un tallo principal herbáceo, el cual posteriormente se lignifica y cuando alcanza una altura de 40 cm aproximadamente, se bifurca en 2-3 ramas que a la vez se ramifican en forma dicotómica. Debido al peso de los tallos, hojas, y frutos se necesita el tutorado para sujetarse. Se describe de la siguiente manera (Sánchez Hernández, 2015).

#### **2.1.1 Raíz**

El pimiento morrón posee un sistema radicular pivotante poco profundo, con raíces secundarias abundantes y fibrosas. Estas raíces se desarrollan en los primeros 30-40 cm del suelo, aunque pueden extenderse horizontalmente, pueden alcanzar una longitud comprendida entre 50 cm y 1 m. Requieren suelos bien drenados y aireados para un adecuado crecimiento. La absorción de nutrientes y agua es eficiente en condiciones óptimas de humedad (Sánchez Hernández, 2015).

#### **2.1.2 Tallo**

El tallo es erecto, herbáceo en estados juveniles y algo leñoso en la base cuando madura. Presenta ramificaciones dicotómicas que le dan una estructura abierta. Su coloración es verde claro y puede tornarse más oscura con la edad. Es

ligeramente anguloso y contiene nudos de los cuales emergen hojas y ramas (Rodríguez Sigala, Camposeco Montejo, 2019).

### **2.1.3 Hojas**

Las hojas son simples, enteras y alternas, con forma ovado-lanceolada. Presentan un color verde brillante en el haz y verde claro en el envés. Su superficie es lisa y con una textura algo cerosa. Se desarrollan individualmente en cada nudo y están sostenidas por pecíolos delgados (Mendoza Pérez, 2020).

### **2.1.4 Flores**

Las flores son solitarias en cada nudo del tallo, con inserción en las axilas de las axilas de las hojas, de color blanco y con forma acampanada. Están compuestas por cinco sépalos, cinco pétalos color blanco, cinco estambres y un pistilo con ovario súpero. Son autofértiles, aunque la polinización cruzada puede darse por acción del viento o insectos (Verdugo Barrios & Robledo Torres, 2000)

### **2.1.5 Frutos**

El fruto es una baya hueca, carnosa y de pared gruesa, que puede presentar formas cuadradas o rectangulares. Su color varía del verde al rojo, amarillo o naranja conforme madura, dependiendo del cultivar. Contiene de dos a cuatro lóculos con numerosas semillas (Paredes Oblitas & Peche Benites, 2019)

## **2.2 Producción Mundial**

El cultivo de pimiento morrón ocupa el quinto lugar en la producción y superficie cultivada de las hortalizas. China es el principal país productor de pimiento morrón en el mundo con 15,541,611 toneladas, seguido por México que produjo 2,131,740 toneladas, y Turquía con 1,975,269 toneladas producidas (Sánchez Hernández, 2015).

### **2.3 Producción Nacional**

En el 2020 el pimiento se posicionó en el séptimo lugar de los principales productos agroalimentarios exportados, con un valor de 1,527 millones de dólares, siendo su principal mercado el país de Japón.

Los principales estados productores de Chile pimiento son: Sinaloa, Sonora, Guanajuato y Jalisco con 3,620, 1618, 524 y 470 hectáreas cultivadas respectivamente. Englobando mercados nacionales y de exportación, la contribución de estos cuatro estados en cuanto a superficie y valor de producción es 85 % (Silvestre Castañeda & Camposeco Montejó, 2022)

### **2.4 Bioestimulantes**

Los bioestimulantes son compuestos y/o microorganismos que promueven el crecimiento y desarrollo de las plantas, al mismo tiempo optimizan procesos fisiológicos, como lo es la fotosíntesis (Reyes-Pérez et al., 2020). Cuando se aplican a las plantas o la rizosfera, ya sea vía foliar o directamente al suelo, su función es optimizar el desarrollo de los cultivos, vigor, rendimiento, calidad mediante la estimulación del crecimiento y las respuestas a estrés biótico y/o abiótico (Brown y Saa, 2015).

### **2.5 El quitosán como bioestimulante de cultivos**

El quitosano es un biopolímero derivado de la quitina, un componente natural que se encuentra especialmente en el exoesqueleto de crustáceos y otros subproductos de la industria pesquera, diversas investigaciones han demostrado que tiene propiedades antimicrobianas y antifúngicas, convirtiéndolo en un agente ante el control de fitopatógenos en plantas. En la agricultura la aplicación de quitosano se considera como una estrategia para hacer eficiente y sostenible los sistemas agrícolas (Liu et al., 2025).

El quitosano se ha empleado ampliamente como bioestimulante, ya que favorece el crecimiento de las plantas, incrementa la tolerancia al estrés abiótico y actúa como inductor de resistencia frente a diversos patógenos. Sin embargo, los

efectos que genera en las plantas son complejos y se ven influenciados por factores como la estructura y concentración del compuesto, la especie cultivada y la etapa de desarrollo en la que se encuentre la planta (Pacheco Amaro et al., 2024).

Por otro lado, Poverenov et al. (2014) evaluaron los efectos de un recubrimiento a base de quitosano combinado con gelatina en frutos de pimiento morrón, los resultados demostraron que la aplicación de este recubrimiento retrasa la pérdida de firmeza, inhibe el decaimiento y mejora la capacidad de almacenamiento.

## **2.6 Función del yodo en las plantas**

La fertilización foliar se ha vuelto sumamente importante, particularmente en la aplicación de micronutrientes, debido a su eficiencia en la absorción y rápida respuesta fisiológica. Investigaciones recientes han demostrado que la aplicación foliar de elementos benéficos, como el yodo, representa una estrategia efectiva y adecuada para la biofortificación de los cultivos hortícolas (Macías et al., 2024).

Diversos estudios han demostrado que el yodo puede incrementar la síntesis de compuestos antioxidantes en las plantas, lo que contribuye a una mayor resistencia frente a diferentes tipos de estrés abiótico, como la salinidad y la presencia de metales pesados. Debido a estos efectos positivos, este elemento es considerado dentro de la categoría de elementos benéficos (López Diago, 2022).

## **2.7 Importancia del yodo en la dieta humana**

El yodo (I) es un oligoelemento traza esencial en la dieta humana, cuya función principal está relacionada con la regulación del metabolismo y la síntesis de las hormonas tiroideas tiroxina (T4) y triyodotironina (T3). Dichas hormonas resultan fundamentales para el correcto funcionamiento de órganos y sistemas como el hígado, los riñones, los músculos, el cerebro y el sistema nervioso central (Rivera-Solís et al., 2024).

La deficiencia de yodo constituye un problema de salud pública a nivel mundial, ya que se estima que afecta a aproximadamente un tercio de la población. La

Organización Mundial de la Salud (OMS, 2004) reporta carencia de yodo en 54 países y calcula que alrededor del 40% de la población mundial se encuentra en riesgo de padecer deficiencia (Treviño-Ruiz et al., 2024).

En México, documentaron insuficiencia de yodo en población infantil y adolescente de entre 6 y 16 años. Asimismo, en infantes se ha registrado un crecimiento lineal insuficiente asociado a la deficiencia de micronutrientes, entre ellos el yodo, situación que se presenta con mayor frecuencia en comunidades indígenas (Treviño-Ruiz et al., 2024). La cantidad de yodo recomendada diaria es diferente según la edad de las personas y el estado fisiológico (Tabla 1) (Hernández Ruíz & García Agustín, 2025).

**Tabla 1.** Ingesta recomendada de yodo

<b>Grupo de edad</b>	<b>Cantidad diaria recomendada (<math>\mu\text{g}</math> día<sup>-1</sup>)</b>
Bebes hasta los 6 meses	110
Bebes 7-12 meses	130
Niños 1-8 años	90
Niños 9-13 años	120
Adolescentes 14-18 años	150
Adultos	150
Mujeres embarazadas y en periodo de lactancia	220-290

Información publicada por Institutos Nacionales de Salud NIH (2024).

La carencia de este elemento se asocia con múltiples trastornos, entre ellos bocio, hipertiroidismo, abortos espontáneos, partos prematuros y anomalías congénitas. Las etapas de gestación, lactancia e infancia temprana son consideradas las más vulnerables, debido a que la deficiencia puede ocasionar retraso mental, alteraciones en el crecimiento, problemas auditivos y del lenguaje (Brenta et al., 2013)

La biofortificación de cultivos con yodo representa una estrategia viable para incrementar el contenido de este micronutriente en los alimentos de origen vegetal, contribuyendo así a mejorar el estado nutricional de la población (Krzepilko et al., 2019). Una de las principales ventajas de la biofortificación con yodo es que este se incorpora en formas orgánicas con mayor biodisponibilidad y estabilidad, en comparación con las sales inorgánicas, las cuales suelen presentar pérdidas por volatilización (Jaiwal et al., 2019).

Una alternativa para disminuir los efectos de volatilización y aumentar la disponibilidad del yodo, es la biofortificación utilizando biopolímeros como el quitosán. Este es un polímero biológico biodegradable que funciona como agente complejante de metales y metales traza, además tiene función de elicitador vegetal, induciendo el sistema de defensa de las plantas (El-Bassiouny et al., 2023).

## **2.8 Antecedentes del uso de nanopartículas como bioestimulante en la agricultura**

La nanotecnología se ha consolidado como una alternativa innovadora en la agricultura moderna, al posibilitar la producción de agroproductos como nanofertilizantes, nanopesticidas, nanoherbicidas y nanosensores, los cuales contribuyen a incrementar el rendimiento de los cultivos de manera sustentable y con un menor impacto ambiental (Ramírez Rodríguez et al., 2021).

El empleo de nanomateriales ha despertado gran interés en la investigación científica debido a su reducido tamaño y a las múltiples aplicaciones derivadas de las propiedades físicas y químicas que adquieren a escala nanométrica, en comparación con los materiales en dimensiones micrométricas (Hojjat & Hojjat, 2015).

## **2.9 Nanopartículas de quitosán**

Dentro de estos nanomateriales, las nanopartículas de quitosán (NPs-CS) destacan por su versatilidad, atribuida a la presencia de grupos funcionales activos como los amino (-NH<sub>2</sub>). Asimismo, el quitosán presenta características de alta relevancia en el ámbito agrícola, tales como su no toxicidad,

biocompatibilidad y biodegradabilidad, lo que lo convierte en un material de gran potencial para aplicaciones nanotecnológicas en la producción agrícola (Pedroso et al., 2025).

### **2.10 Impacto de las nanopartículas de yodo en la producción y calidad de hortalizas**

El uso de nanopartículas en la agricultura ha cobrado relevancia en los últimos años, debido a su capacidad para mejorar la eficiencia en el uso de nutrientes, incrementar la productividad y mantener la calidad de los cultivos de manera sostenible. Entre los nanomateriales más estudiados se encuentran las nanopartículas de yodo (NPs-I), las cuales se han propuesto como una alternativa viable para la biofortificación de hortalizas, al permitir una liberación controlada y una mayor biodisponibilidad del elemento en los tejidos vegetales (El-Ramady et al., 2021).

Las formulaciones basadas en nanoquitosano-yodo han mostrado efectos positivos en el rendimiento, la firmeza y el contenido de compuestos bioactivos en hortalizas como lechuga y tomate, lo que evidencia su potencial como bioestimulante y agente de biofortificación (Treviño-Ruiz et al., 2024).

Diversos estudios han demostrado que la aplicación de nanopartículas de yodo puede incrementar la biomasa, mejorar los parámetros de calidad poscosecha y prolongar la vida útil de los productos hortícolas, al reducir la pérdida de agua y la degradación de pigmentos fotosintéticos. Por tanto, su uso representa una estrategia prometedora para aumentar el valor nutricional y comercial de las hortalizas, además de contribuir a la seguridad alimentaria y a la reducción de la deficiencia de yodo en la población (Rivera-Solís et al., 2024).

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Ubicación del Experimento**

El experimento se llevó a cabo en un invernadero, en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, ubicada en Buenavista, Saltillo, 21 Coahuila, México, con las coordenadas geográficas 25° 21' 10" latitud norte y 101° 01' 52" longitud oeste.

#### **3.2 Material vegetal utilizado**

Ocelot es una variedad de pimiento blocky rojo desarrollada por Enza Zaden, reconocida por su alta adaptabilidad a sistemas de producción de mediana y alta tecnología. Se caracteriza por ofrecer rendimientos elevados sin comprometer la calidad ni el tamaño de los frutos. La planta presenta un porte semiabierto y un sistema radicular vigoroso, lo que favorece un amarre continuo durante todo el ciclo productivo. Su comportamiento es generativo y de precocidad temprana. Los frutos son cuadrados, de cuatro lóculos y de tamaño grande, con excelente forma y un color rojo intenso, características ampliamente exigidas por los empaques.

#### **3.3 Trasplante**

Las plantas de pimiento fueron trasplantadas el 28 de agosto del 2024 en bolsas de polietileno negro con capacidad de 10 L rellenas con peatmoss y perlita (3:1).

#### **3.4 Deschuponado y poda de formación**

Se eliminaron manualmente los brotes axilares o chupones que emergían en las yemas laterales del tallo principal, con el objetivo de dirigir el crecimiento de la planta hacia las ramas productivas seleccionadas, de tal manera que se evitara un gasto innecesario de nutrientes en estructuras vegetativas no productivas.

La poda de formación se realizó con la finalidad de definir la arquitectura de la planta, se seleccionaron dos tallos principales para favorecer una distribución

uniforme de la carga frutal. La operación se llevó a cabo con las manos desinfectadas, cuidando de no dañar el tejido del tallo para prevenir infecciones, de igual manera al finalizar los cortes, se hizo una aplicación foliar con el fungicida y bactericida orgánico Bluetrack en dosis de 1 mg/L.

### **3.5 Tutoreo**

El tutoreo en el cultivo de pimiento morrón es una práctica agrícola fundamental que consiste en brindar soporte mecánico a las plantas para conducir su crecimiento de manera ordenada y vertical. Su aplicación es necesaria, debido a que el pimiento posee tallos tiernos y quebradizos que, al cargarse con frutos, suelen doblarse o romperse con facilidad, lo que ocasiona pérdidas en el rendimiento y calidad de la cosecha.

El tutoreo cumple varias funciones esenciales dentro del manejo del cultivo, entre las más importantes se encuentran: mejorar la aireación y la penetración de la luz dentro del follaje, lo que favorece la fotosíntesis y reduce el riesgo de enfermedades, así mismo, facilitar las labores culturales como la poda, el deshoje, el riego y la aplicación de productos fitosanitarios; y, principalmente, proteger los frutos del contacto directo con el suelo, evitando deformaciones, manchas o pudriciones. De esta manera, se obtienen pimientos de mayor tamaño, color uniforme y calidad comercial superior.

Este procedimiento, se llevó a cabo cuando las plantas tenían entre 20 y 30 cm de altura, se usaron hilos de rafia que sostenían las plantas en conjunto, la rafia se encontraba sujeta de la parte superior de la estructura del invernadero.

### **3.6 Manejo Sanitario**

Se realizaron aplicación de 3 insecticidas con fines preventivos y curativos:

Brálic®, se aplicó 20 días después del trasplante cada tercer día hasta finalizar el ciclo, de aplico de manera foliar a una dosis de 1.5 ml / 1L.

Es un producto de origen natural elaborado a base de aceite esencial de Ajo, con acción repelente sobre los insectos que afectan los cultivos. Con una durabilidad

mayor a 24 horas de repelencia en campo después de su aplicación gracias a su formulación con coadyuvantes que le confieren habilidades específicas para garantizar la duración de repelencia, efectividad al momento y después de la aplicación.

Confidor® se realizaron dos aplicaciones de manera foliar, la primera fue a los 62 días después del trasplante, y la segunda fue cinco días después, a una concentración de 0.5 ml /1L de agua.

Su ingrediente activo es el imidacloprid, es sistémico y sirve para el control de insectos chupadores vectores de virus, por ejemplo: mosca blanca, pulgones, trips y diabrotica en cultivos como solanáceas, cucurbitáceas, ornamentales, etc.

Manzate® se llevaron a cabo dos fumigadas la primera fue a los 65 días después del trasplante y la segunda 5 días después.

Es un fungicida extensamente empleado en el sector de la agricultura, perteneciente al grupo químico de los carbamatos y su ingrediente activo es el mancozeb.

Se emplea como fungicida agrícola de contacto, con riesgo de resistencia muy bajo. Presenta un amplio espectro antifúngico frente a hongos endoparásitos causantes de enfermedades foliares (mildiu, antracnosis, tizón temprano) en cereales, frutas, hortalizas, ornamentales etc.

### **3.7 Fertilización**

La fertilización se realizó mediante una solución de Steiner (Steiner, 1961), de acuerdo a su etapa fenológica del cultivo 25%, 50%, 75% y 100%.

### **3.8 Riego**

Esta actividad se realizó manualmente, teniendo en cuenta las condiciones del ambiente. Durante el crecimiento del cultivo se comenzó con un volumen de 0.5 mililitros de agua por maceta durante un periodo de 15 días después del trasplante. Posteriormente, se incrementó el volumen a 1 litro por maceta. Al pasar a la etapa de cuajado del fruto, el volumen de agua se elevó a 1.5 litros por

maceta, y se continuó regando con ese mismo volumen de agua durante el llenado del fruto hasta llegar a la cosecha.

### 3.9 Cosecha

La cosecha se realizó 89 días después del trasplante. Se cortaron manualmente los frutos, los cuales fueron identificados de acuerdo al tratamiento al que pertenecían, con el fin de medir en el laboratorio cada una de las variables definidas.

### 3.10 Tratamientos Empleados

Se evaluaron cinco tratamientos incluyendo un testigo, cada uno con diez repeticiones, consistió en una planta por repetición. Las aplicaciones se realizaron cada ocho días de manera foliar con atomizador, enfocándonos en la aplicación principalmente dirigida a los puntos de fructificación.

**Tabla 2.** Tratamientos evaluados

Tratamiento	Descripción
Tratamiento 1	Testigo 0 ppm
Tratamiento 2	NPs-Cs-KIO <sub>3</sub> 250 ppm
Tratamiento 3	NPsCs-K103 500 ppm
Tratamiento 4	NPsCs-K103 750 ppm
Tratamiento 5	NPsCs-K103 1000 ppm

### 3.11 Variables agronómicas

La medición de las variables fue tomada de forma manual en periodos de 8 días entre cada muestreo obteniendo un total de 7, comenzando el 11 de octubre del 2024 y terminando el día 23 de noviembre del mismo año.

**Altura de planta (cm):** Con la ayuda de una cinta métrica, se midió la distancia desde la base del tallo hasta la parte más alta de la planta.

**Diámetro del tallo (mm):** Con un vernier digital de precisión de  $\pm 0.01$  mm de la marca Steren modelo HER-411 se tomó la escala principal y se movió el control deslizante con el pulgar, para aferrar las mordazas externas grandes alrededor del tallo y de esta manera nos arrojó la medida.

**Numero de hojas:** Se contaron las hojas de cada planta, comenzando desde la base hasta el ápice.

**Peso fresco y seco de la planta (aéreo y raíz):** lo primero que se realizó, fue cortar la planta desde la base del tallo, también se sacó la raíz la cual se lavó para quitar el sustrato, las muestras se colocaron en una bolsa de papel Kraft, posterior a esto se pesó en una balanza digital de precisión  $\pm 0.01$  g de la marca Ohaus modelo scout pro SP602, de esta manera se determinó el peso fresco de la planta, posteriormente, se sometió a un proceso de secado durante 41 días en este periodo de tiempo las muestras permanecieron dentro del invernadero, las condiciones ambientales fueron: temperatura máxima de  $37^{\circ}\text{C}$  y mínima de  $17^{\circ}\text{C}$  y humedad relativa de 30 a 70%, después se pesaron y se obtuvo el peso seco de la parte aérea y raíz.

### **3.12 Variables de producción**

**Numero de frutos por plantas:** se cuantifico mediante el conteo directo de frutos (piezas) por planta de cada tratamiento.

**Peso del fruto (g):** a los 89 días después del trasplante se cosecho, los frutos se pesaron en una balanza digital de precisión  $\pm 0.01$  g de la marca Ohaus modelo scout pro SP602, registrando el peso individual de cada fruto en gramos, con el fin de establecer comparaciones entre tratamientos.

**Estimación del rendimiento por planta (kg):** Se estimó a partir del producto del peso promedio del fruto por el número de frutos por planta, convirtiendo las unidades a kilogramos.

### 3.13 Variables de calidad

**Diámetro polar del fruto (mm):** Con ayuda de un vernier digital de precisión de  $\pm 0.01$  mm de la marca HER-411 se cuantificó la altura de cada fruto, desde el pedúnculo hasta el ápice.

**Diámetro ecuatorial del fruto (mm):** Con un vernier digital de precisión de  $\pm 0.01$  mm de la marca HER-411 se tomaron las medidas de forma perpendicular a su eje peduncular.

**Contenido de sólidos solubles totales (°Brix):** se utilizó un refractómetro digital marca Hanna modelo HI96801, se calibró y se colocaron una o dos gotas sobre el cristal de lectura, y así se determinaron los grados brix.

**Firmeza del fruto (kg/cm<sup>2</sup>):** Con ayuda de un penetrómetro manual de la marca QA modelo FT-327 se colocó la puntilla de ocho pulgadas y a la mitad del fruto se inició la intersección del equipo, de esta manera se determinó que cantidad de fuerza se requiere para penetrar los frutos, la cual nos indica el estado de madurez del fruto.

**Diseño experimental utilizado:** Se empleó un diseño experimental con bloques completamente al azar 5 tratamientos con 10 repeticiones cada uno. El programa estadístico utilizado para realizar el análisis de varianza (ANVA) fue Infostat 2.0 y se realizó la prueba de comparación de medias Fisher ( $p < 0.05$ ).

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la tabla 3, se puede observar que con aplicaciones de 500 ppm de Nps de Cs-KIO3 hay un incremento en el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas de pimiento, en los parámetros de altura de la planta, diámetro de tallo, peso fresco y seco foliar y de raíz en un 4.5%, 14.4%, 42.41%, 49.1%, 59.5%, 92.4% en relación al testigo respectivamente. Esta respuesta podría atribuirse a una mejora en la absorción de minerales y eficiencia del desarrollo, puesto que en estudios con *Capsicum annuum* (pimiento morrón), la aplicación foliar de nanoyodo (como yodato de potasio) mostró aumento en parámetros agronómicos como altura de plántula, diámetro de tallo y peso seco, lo que sugiere una mejor eficiencia en crecimiento y acumulación de biomasa (Cortés-Flores et al., 2016). El yodo puede evitar el estrés oxidativo, sin alterar la relación hormonal que controla la emisión de yemas foliares; por eso el número de hojas permanece similar. Algunas revisiones indican que aplicaciones foliares de yodo alteran el contenido de biomasa, pero con frecuencia no afectan variables agronómicas como número de hojas en las condiciones evaluadas (Zhang et al., 2023a)

**Tabla 3.** Características agronómicas del cultivo de pimiento tratadas con complejos de nanoquitosan-yodatado

Tratamiento	Altura (cm)	Diámetro Basal (mm)	Numero de Hojas	Peso	Peso	Peso	Peso
				Fresco Aéreo (g)	Seco Aéreo (g)	Fresco Raíz (g)	Seco Raíz (g)
1	54.86 ab	8.69 b	54.0 a	62.29 c	12.24 b	44.92 b	4.74 b
2	56.00 a	8.90 ab	67.7 a	77.77 ab	14.99 b	61.56 ab	6.68 ab
3	57.33 a	9.95 a	64.5 a	88.71 a	18.25 a	71.66 a	9.12 a
4	52.4 ab	8.90 ab	63.7 a	71.44 bc	13.73 b	55.56 ab	6.54 ab
5	51.00 b	9.08 ab	62.5 a	70.62 bc	13.69 b	64.43 ab	6.96 ab
P	0.0967	0.2735	0.4839	0.0024	0.0128	0.1070	0.0418
CV (%)	8.49	9.06	17.23	10.12	14.57	22.26	25.45

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0.05)*

En la tabla 4 se logra apreciar que el número de frutos que se obtuvo con el tratamiento de 750 ppm de NPs-Cs-KIO<sub>3</sub> fue superior al resto de los tratamientos superando al testigo en un 32.64%, este efecto se puede deber a que muchos bioestimulantes, incluyendo nanopartículas y compuestos con yodo, siguen un patrón hormético, es decir: con dosis bajas provocan un estímulo insuficiente, con dosis intermedias una máxima estimulación fisiológica y con dosis altas generan estrés, inhibición o toxicidad. Esto explica que 750 ppm NPs-Cs-KIO<sub>3</sub> sea el punto donde se maximiza la floración y cuajado de frutos, mientras que 1000 ppm ya podría generar estrés oxidativo o interferencias metabólicas. Lo cual, coincide con Raliya & Tarafdar, (2013), quienes encontraron que las nanopartículas pueden estimular floración y rendimiento solo a dosis óptimas, mientras dosis altas reducen crecimiento.

En cuanto al peso promedio de fruto se puede observar que a medida que se incrementa la concentración de NPs-Cs-KIO<sub>3</sub>, el peso disminuye, donde la máxima concentración es estadísticamente similar al testigo. El tratamiento con 250 ppm de NPs-Cs-KIO<sub>3</sub>, incrementó el peso promedio de los frutos en relación al testigo. Lo que sugiere una mejora fisiológica (fotosíntesis, hormonas, antioxidantes) que originan mayor peso promedio del fruto.

De acuerdo con Kiferle et al., (2013), el yodo puede estimular fotosíntesis y acumulación de biomasa a dosis moderadas; y a lo que Marschner, (2011), menciona que el llenado de fruto es altamente dependiente de la disponibilidad de fotoasimilados.

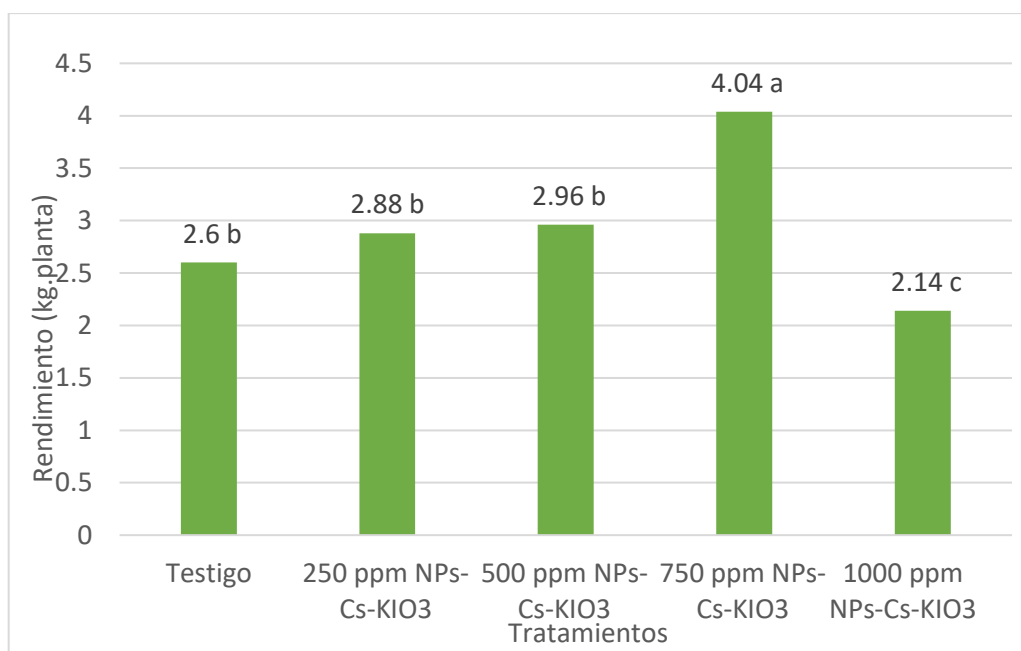
**Tabla 4.** Características de producción del cultivo de pimiento tratadas con complejos de nanoquitosan-yodatado

<b>Tratamiento</b>	<b>Num Frutos / Planta</b>	<b>Peso Fruto (g)</b>
TESTIGO	20.89 b	127.59 bc
250 ppm NPs-Cs-KIO <sub>3</sub>	17.78 b	155.26 a

500 ppm NPs-Cs-KIO <sub>3</sub>	21.86 b	140.74 abc
750 ppm NPs-Cs-KIO <sub>3</sub>	27.71 a	146.62 ab
1000 ppm NPs-Cs-KIO <sub>3</sub>	17.38 b	118.73 c
<i>P</i>	0.0046	0.0319
CV (%)	25.59	11.31

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

El rendimiento máximo observado (Figura 1) con 750 ppm de NPs-Cs-KIO<sub>3</sub> concuerda con la respuesta adaptativa descrita por diversos autores, donde dosis moderadas de nanopartículas de yodo favorecen el crecimiento y el rendimiento, mientras que concentraciones elevadas generan efectos tóxicos. Kiferle et al., (2013) y Zhang et al., (2023), destacan que el yodo estimula procesos fisiológicos solo en rangos óptimos. De forma similar, estudios con nanopartículas confirman que dosis altas reducen el rendimiento debido a estrés oxidativo, inhibición del crecimiento y alteraciones en la fase reproductiva, lo que explica los bajos rendimientos observados a 1000 ppm. (Raliya & Tarafdar, 2013; Rui et al., 2016; Tripathi et al., 2017).



**Figura 1.** Rendimiento del cultivo de pimiento tratado con complejos de nanoquitosan-yodo

Los resultados de la tabla 5 muestran que la aplicación de nanopartículas de quitosano-yodato genera efectos diferenciados sobre los parámetros de calidad del fruto, en el diámetro polar se presentaron diferencias significativas ( $p = 0.05$ ), con incrementos del 12.93 % cuando se utilizaron concentraciones de 250 ppm de NPs de yodato respecto al testigo. De manera similar, el diámetro ecuatorial también fue significativamente mayor ( $p = 0.0065$ ) en los tratamientos con 250, 500 y 1000 ppm en comparación con el testigo.

Las nanopartículas de quitosano-yodato en dosis moderadas favorecieron el crecimiento del fruto, incrementando ligeramente su tamaño. Este comportamiento coincide con estudios donde el yodo en bajas a moderadas concentraciones estimula procesos fisiológicos como división celular, fotosíntesis y transporte de carbohidratos hacia los órganos de cosecha. Kiferle et al., (2013) establecen que el yodo puede estimular la acumulación de biomasa y favorecer el desarrollo de órganos reproductivos. Además, Zhang et al., (2023), explican que el yodo genera efectos promotores del crecimiento solo en rangos óptimos, mientras concentraciones altas pueden no mostrar el mismo beneficio.

El quitosano, además, actúa como bioestimulante, induciendo procesos de elongación celular y mayor firmeza estructural, lo que puede reflejarse en un mayor desarrollo del fruto. La firmeza mostró diferencias significativas ( $p = 0.0215$ ), el tratamiento de 750 ppm fue el que presentó el valor más alto, superando claramente al testigo en un 25.62%.

Se sugiere que esto se debe a que dosis más altas de complejos de quitosano-yodato incrementaron la firmeza del fruto. El aumento de firmeza puede estar asociado a mayor retención de calcio y otros minerales estructurales, mayor integridad de la pared celular por acción del quitosano.

Se ha descrito que el quitosano puede inducir respuestas de defensa y fortalecer la pared celular, lo cual incrementa la firmeza. Estudios con sales moderadas (como NaCl en otras investigaciones) también han mostrado que condiciones de estrés leve inducen mayor firmeza del fruto por mayor acumulación de solutos estructurales y engrosamiento de paredes. Por lo que el efecto del yodo puede relacionarse a la reducción de actividad de enzimas que degradan la pared, como poligalacturonasas.

Los Sólidos solubles totales no mostraron diferencias significativas ( $p = 0.3676$ ), aunque los valores numéricos indican aumentos en varios tratamientos. El testigo registró: 5.58 °Brix y los tratamientos con nanopartículas presentaron valores entre 5.93 y 6.83 °Brix. Aunque no hubo diferencia estadística, se puede observar que los valores incrementan con la aplicación de nanopartículas, especialmente en los tratamientos de 250, 500 y 1000. Esto podría indicar una mayor acumulación de azúcares por aumento de fotosíntesis, mayor eficiencia en la movilización de carbohidratos, leve estrés osmótico inducido por nanopartículas.

Los SST suelen aumentar bajo condiciones de estrés moderado, lo cual es consistente con aplicaciones de nanopartículas que generan microestimulación metabólica. Zhang et al., (2023), indican que el yodo puede modificar el metabolismo de carbohidratos, y el quitosano, por su parte, puede aumentar la síntesis de azúcares solubles al inducir defensas metabólicas.

**Tabla 5.** Características de calidad del fruto de plantas de pimiento tratadas con complejos de nanoquitosan-yodatado

<b>Tratamiento</b>	<b>Diámetro Polar (mm)</b>	<b>Diámetro Ecuatorial (mm)</b>	<b>Firmeza (kg/cm<sup>2</sup>)</b>	<b>SST (°Brix)</b>
1	2.32 b	2.68 b	4.80 b	5.58 a
2	2.62 a	2.80 a	4.68 b	6.65 a
3	2.35 ab	2.82 a	4.63 b	6.83 a
4	2.30 b	2.70 b	6.03 a	5.93 a
5	2.39 ab	2.84 a	4.55 b	6.33 a
<i>P</i>	0.05	0.0065	0.0215	0.3676
CV (%)	9.25	7.49	12.53	15.26

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

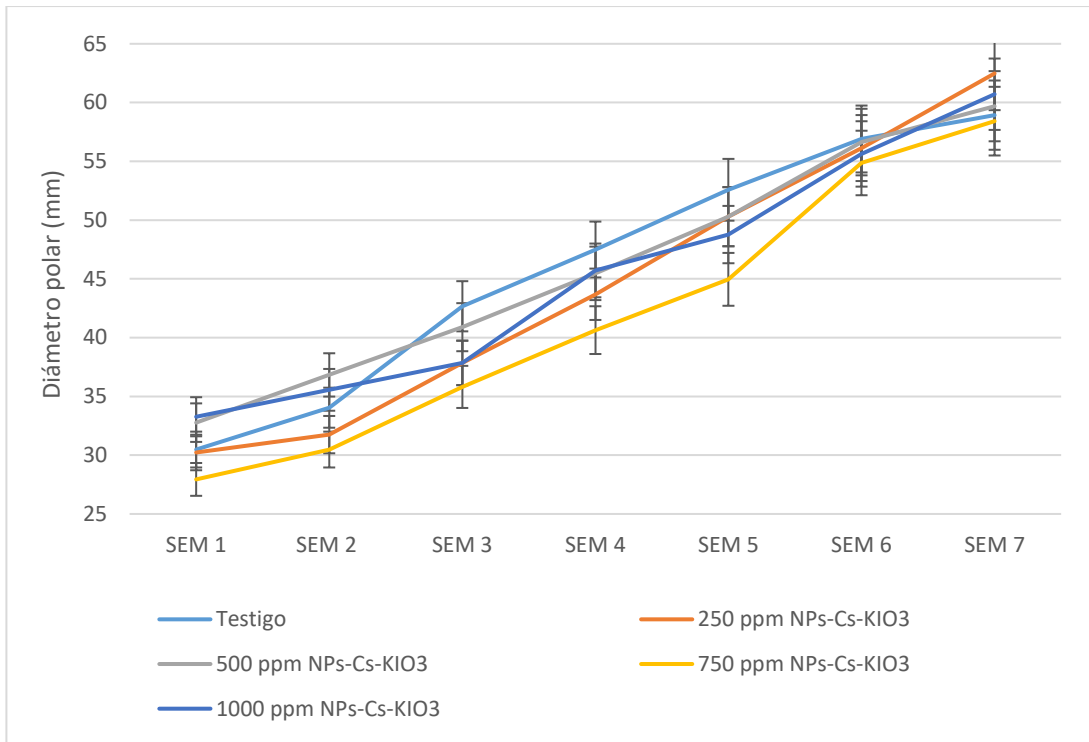
Las Figuras 2 y 3 representan la evolución semanal del diámetro polar y diámetro ecuatorial del fruto de pimiento en respuesta a diferentes concentraciones de nanopartículas de quitosano-yodato. En ambos casos, las cinco curvas evidencian un crecimiento progresivo desde la semana 1 a la semana 7, como corresponde con la expansión celular y acumulación de biomasa del fruto, aunque con diferencias entre tratamientos que aportan evidencia relevante sobre la influencia fisiológica de las nanopartículas de yodo especialmente durante las fases intermedias. Esto sugiere que la disponibilidad del complejo quitosano-yodo en forma de nanopartícula, modula el desarrollo del fruto dependiendo de la concentración aplicada.

En ambas figuras, el testigo (sin aplicación) aparece consistentemente con valores altos o intermedios a lo largo del tiempo, mostrando un crecimiento estable. Sin embargo, las nanopartículas producen diferentes efectos, a 250 ppm y 500 ppm (dosis moderadas) presentan crecimientos similares al testigo. En varios puntos superan ligeramente al control (especialmente 500 ppm).

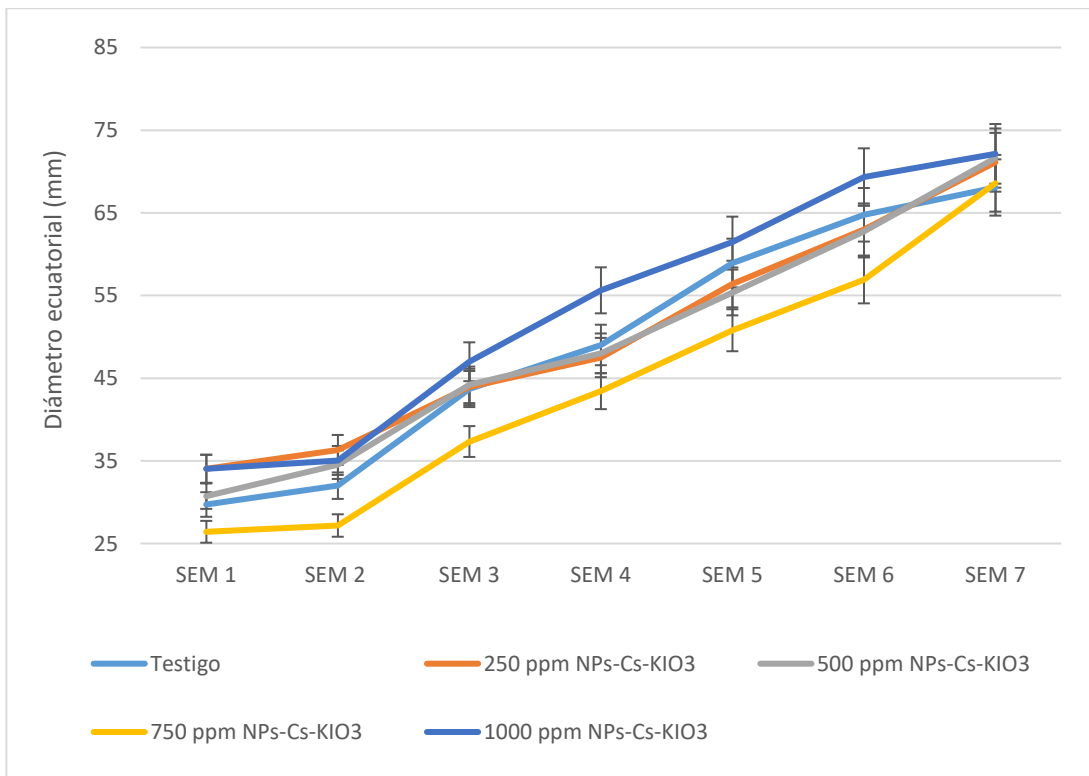
Estas dosis se asocian a estimulación fisiológica moderada, coherente con la literatura que indica incremento en fotosíntesis Kiferle et al., (2013), mejor

eficiencia de transporte de nutrientes Zhang et al., (2023), efecto bioestimulante del quitosano sobre división y expansión celular. Esto explica que 250–500 ppm resulten en frutos con diámetros comparables e incluso superiores al testigo en etapas tempranas e intermedias.

El comportamiento del tratamiento con 750 ppm, muestra un patrón muy particular: en las semanas iniciales (SEM 1–SEM 3) presenta los valores más bajos. A partir de SEM 4 inicia una recuperación pronunciada; en SEM 6–7 alcanza valores similares a los demás tratamientos. Este comportamiento sugiere un efecto adaptativo, en etapas tempranas: ligera inhibición por la carga nanoparticulas inicial, estrés leve, ajustes metabólicos, modulación de ROS. Dosis moderadas estimulan crecimiento, dosis excesivas inhiben temporalmente ciertos procesos (Kiferle et al., 2013; Raliya & Tarafdar, 2013). El tratamiento con 1000 ppm muestra valores inferiores al testigo y a los tratamientos moderados en gran parte del desarrollo. Esto indica un efecto inhibitorio asociado a la toxicidad. Autores como Zhang et al. (2023) señalan que el yodo en exceso, afecta la integridad de membranas, reduce la tasa de crecimiento, interfiere con enzimas del ciclo celular. Ambas figuras indican que el efecto del tratamiento no altera la morfología del fruto, sino únicamente su tasa de crecimiento.



**Figura 2.** Dinámica de crecimiento del fruto de plantas de pimiento tratadas con complejos de nanoquitosan-yodatado



**Figura 3.** Dinámica de crecimiento del fruto de plantas de pimiento tratadas con complejos de nanoquitosan-yodatado

## V. CONCLUSIONES

La aplicación del bioestimulante nanoquitosano-yodo (NPsCS-KIO<sub>3</sub>) mostró efectos dependientes de la dosis sobre el crecimiento, rendimiento y calidad del pimiento morrón.

Las dosis moderadas (250–500 ppm) promovieron el crecimiento vegetativo y el desarrollo del fruto, mientras que 750 ppm generó el mayor rendimiento y la mayor firmeza del fruto, confirmando un comportamiento adaptativo. En contraste, 1000 ppm mostró efectos inhibitorios asociados al exceso de yodo.

En conjunto, los resultados indican que el uso de nanopartículas de quitosano-yodato puede mejorar el desempeño fisiológico y productivo del cultivo siempre que se apliquen dentro de rangos óptimos de concentración.

## VI. LITERATURA CITADA

- Aranaz, I., Alcántara, A. R., Civera, M. C., Arias, C., Elorza, B., Heras Caballero, A., & Acosta, N. (2021). Chitosan: An overview of its properties and applications. *Polymers*, *13*(19), 3256.
- Brenta, G., Vaisman, M., Sgarbi, J. A., Bergoglio, L., Carvalho de Andrada, N., Pineda Bravo, P., Orlandi, A., & Graf, H. (2013). Guías de práctica clínica para el tratamiento del hipotiroidismo. *Arq Bras Endocrinol Metab*, *57*(4), 265–291.
- Brown, P., & Saa, S. (2015). Biostimulants in agriculture. *Frontiers in Plant Science*, *6*, 671.
- Cortés Vargas, R. J., González Estrada, P., & Santamaría Sánchez, M. (2013). *Proyecto de exportación de pimiento morrón en fresco a Hamburgo, Alemania*.
- Cortés-Flores, C., Rodríguez-Mendoza, M. N., Benavides-Mendoza, A., García-Cué, J. L., Tornero-Campante, M., & Sánchez-García, P. (2016). El yodo aumenta el crecimiento y la concentración de minerales en plántulas de pimiento morrón. *Agrociencia*, *50*(6), 747–758.
- El-Bassiouny, H. M. S., Abdallah, M. M. S., Al-Ashkar, N. M., & Bakry, B. A. (2023). *Potential impacts of chitosan on growth, yield, endogenous phytohormones, and antioxidants of wheat plant grown under sandy soil conditions*.
- El-Ramady, H. R., Singh, A., Rajput, V. D., Amer, M. M., Omara, A. E.-D., Elsakhawy, T., Elbehiry, F., Elbasiouny, H., & Abdalla, N. (2021). Environment, biodiversity and soil security: a new

- dimension in the era of COVID-19. *Environment, Biodiversity and Soil Security*, 5(2021), 1–14.
- Hernández Ruíz, K. E., & García Agustínce, C. A. (2025). *Aplicación de complejos de nanoquitosán-yodo para evaluar su efecto bioestimulante en el cultivo del tomate (Solanum lycopersicum)*.
- Hojjat, S. S., & Hojjat, H. (2015). Effect of nano silver on seed germination and seedling growth in fenugreek seed. *International Journal of Food Engineering*, 1(2), 106–110.
- Jaiwal, P. K., Chhillar, A. K., Chaudhary, D., & Jaiwal, R. (2019). *Nutritional quality improvement in plants*. Springer.
- Kiferle, C., Gonzali, S., Holwerda, H. T., Ibaceta, R. R., & Perata, P. (2013). Tomato fruits: a good target for iodine biofortification. *Frontiers in Plant Science*, 4, 205.
- Kiferle, C., Martinelli, M., Salzano, A. M., Gonzali, S., Beltrami, S., Salvadori, P. A., Hora, K., Holwerda, H. T., Scalon, A., & Perata, P. (2021). Evidences for a nutritional role of iodine in plants. *Frontiers in Plant Science*, 12, 616868.
- Krzepilko, A., Prazak, R., Skwarylo-Bednarz, B., & Molas, J. (2019). Agronomic biofortification as a means of enriching plant foodstuffs with iodine. *Acta Agrobotanica*, 72(2).
- Liu, G., Feng, H., Fan, J., Liu, Y., Wang, N., Li, C., Song, S., Zhou, Q., Zhao, L., & Sun, X. (2025). Genetic diversity analysis of pepper (*Capsicum annuum* L.) germplasm resources based on the phenotypic traits. *Horticulture Advances*, 3(1), 27.
- López Diago, D. (2022). *Evaluación de la biofortificación con yodo en lechuga (Lactuca sativa) y dos variedades de kale (Brassica oleracea var. sabellica, Brassica oleracea var. palmifolia) en un sistema hidropónico tipo NFT*.
- Macías, J. M., Ortiz, W. N., Martínez, D. Q., Mendoza, A. B., & Martínez, P. L. (2024). Respuesta de la aplicación del yodo sobre antioxidantes, contenido mineral y crecimiento en frutos de tomate. *Revista Politécnica de Aguascalientes*, 3.
- Marschner, H. (2011). *Marschner's mineral nutrition of higher plants*. Academic press.
- Mendoza Pérez, C. (2020). *Efecto de número de tallos y su respuesta en la producción, calidad y rendimiento de jitomate y pimiento morrón cultivado en invernadero*.
- Muñoz del Caz, A. (2022). *Ingesta y situación nutricional de la población adulta española en relación al yodo*.
- Pacheco Amaro, J., López, M., Betancourt Galindo, R., Sanchez Vega, M., & Leal Robles, A. I. (2024). *Efecto de nanocompuestos a base de quitosano-alginato en el crecimiento vegetativo y radicular de plantas de tomate (Solanum lycopersicum)*.
- Paredes Oblitas, A. C., & Peche Benites, J. Y. (2019). *Influencia del estado de madurez en el índice de carotenoides del pimiento morrón (Capsicum annuum), utilizando visión artificial*.

- Poverenov, E., Zaitsev, Y., Arnon, H., Granit, R., Alkalai-Tuvia, S., Perzelan, Y., Weinberg, T., & Fallik, E. (2014). Effects of a composite chitosan–gelatin edible coating on postharvest quality and storability of red bell peppers. *Postharvest Biology and Technology*, *96*, 106–109.
- Raliya, R., & Tarafdar, J. C. (2013). ZnO nanoparticle biosynthesis and its effect on phosphorous-mobilizing enzyme secretion and gum contents in Clusterbean (*Cyamopsis tetragonoloba* L.). *Agricultural Research*, *2*(1), 48–57.
- Ramírez Rodríguez, S. C., Ortega Ortiz, H., Fortis Hernández, M., Nava Santos, J. M., Orozco Vidal, J. A., & Preciado Rangel, P. (2021). Nanopartículas de quitosano mejoran la calidad nutracéutica de germinados de triticale. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, *12*(4), 579–589.
- 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. *Biotechnia*, *22*(3), 156–163.
- Rivera-Solís, L. L., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., Flores-López, M. L., Robledo-Olivo, A., & González-Morales, S. (2024a). Efecto bioestimulante de nanoquitosán-yodo en el crecimiento y vigor de plantas de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *11*(2).
- Rivera-Solís, L. L., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., Flores-López, M. L., Robledo-Olivo, A., & González-Morales, S. (2024b). Efecto bioestimulante de nanoquitosán-yodo en el crecimiento y vigor de plantas de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *11*(2).
- Rivera-Solís, L. L., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., Flores-López, M. L., Robledo-Olivo, A., & González-Morales, S. (2024c). Efecto bioestimulante de nanoquitosán-yodo en el crecimiento y vigor de plantas de tomate. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *11*(2).
- Rodríguez Sigala, C. L., & Camposeco Montejó, N. (2019). *Evaluación del rendimiento y calidad comercial de frutos de pimiento morrón injertado y estudio de la viabilidad económica*.
- Rui, M., Ma, C., Hao, Y., Guo, J., Rui, Y., Tang, X., Zhao, Q., Fan, X., Zhang, Z., & Hou, T. (2016). Iron oxide nanoparticles as a potential iron fertilizer for peanut (*Arachis hypogaea*). *Frontiers in Plant Science*, *7*, 815.
- Sánchez Hernández, E. (2015a). *Aplicación de tres soluciones nutritivas en la producción de dos genotipos de pimiento morrón (Capsicum annum L.) en hidroponía*.
- Sánchez Hernández, E. (2015b). *Aplicación de tres soluciones nutritivas en la producción de dos genotipos de pimiento morrón (Capsicum annum L.) en hidroponía*.
- Silvestre Castañeda, L., & Camposeco Montejó, N. (2022). *Evaluación del desempeño agronómico y calidad de frutos de cuatro genotipos de pimiento morrón bajo invernadero*.
- Treviño-Ruiz, K. S., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., & González-Morales, S. (2024a). Aplicación de nanoquitosán-yodo en lechuga y su efecto en la biofortificación, crecimiento y rendimiento. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, *11*(2).

- Treviño-Ruiz, K. S., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., & González-Morales, S. (2024b). Aplicación de nanoquitosán-yodo en lechuga y su efecto en la biofortificación, crecimiento y rendimiento. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(2).
- Treviño-Ruiz, K. S., Ortega-Ortiz, H., Benavides-Mendoza, A., & González-Morales, S. (2024c). Aplicación de nanoquitosán-yodo en lechuga y su efecto en la biofortificación, crecimiento y rendimiento. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 11(2).
- Tripathi, D. K., Singh, S., Singh, S., Pandey, R., Singh, V. P., Sharma, N. C., Prasad, S. M., Dubey, N. K., & Chauhan, D. K. (2017). An overview on manufactured nanoparticles in plants: uptake, translocation, accumulation and phytotoxicity. *Plant Physiology and Biochemistry*, 110, 2–12.
- Verdugo Barrios, V. D., & Robledo Torres, V. (2000). *Estudio de la fertilización orgánica sobre el reproducción de biomasa en el cultivo del chile morrón (Capsicum annum L.) Cv. California wonder*.
- Yu, J., Wang, D., Geetha, N., Khawar, K. M., Jogaiah, S., & Mujtaba, M. (2021). Current trends and challenges in the synthesis and applications of chitosan-based nanocomposites for plants: A review. *Carbohydrate Polymers*, 261, 117904.
- Zhang, Y., Cao, H., Wang, M., Zou, Z., Zhou, P., Wang, X., & Jin, J. (2023a). A review of iodine in plants with biofortification: Uptake, accumulation, transportation, function, and toxicity. *Science of The Total Environment*, 878, 163203.
- Zhang, Y., Cao, H., Wang, M., Zou, Z., Zhou, P., Wang, X., & Jin, J. (2023b). A review of iodine in plants with biofortification: Uptake, accumulation, transportation, function, and toxicity. *Science of The Total Environment*, 878, 163203.

## VII. ANEXOS

### Altura

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
altura	36	0.22	0.12	8.49

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	184.10	4	46.02	2.16	0.0967
TRATAMIENTO	184.10	4	46.02	2.16	0.0967
Error	659.90	31	21.29		
Total	844.00	35			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=5.00180

Error: 21.2873 gl: 31

TRATAMIENTO Medias n E.E.

3	57.33	6	1.88	A
2	56.00	9	1.54	A
1	54.86	7	1.74	A B
4	52.43	7	1.74	A B
5	51.00	7	1.74	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### DIAMETRO BASAL (MM)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
DIAMETRO BASAL (MM)	20	0.28	0.08	9.06

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.88	4	0.97	1.43	0.2735
Tratamiento	3.88	4	0.97	1.43	0.2735
Error	10.20	15	0.68		
Total	14.08	19			

#### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.24311

Error: 0.6803 gl: 15

Tratamiento Medias n E.E.

3	9.95	4	0.41	A
5	9.08	4	0.41	A B
4	8.90	4	0.41	A B
2	8.90	4	0.41	A B
1	8.69	4	0.41	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### N° DE HOJAS

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
N° DE HOJAS	20	0.20	0.00	17.23

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	421.50	4	105.38	0.91	0.4839
Tratamiento	421.50	4	105.38	0.91	0.4839
Error	1739.50	15	115.97		
Total	2161.00	19			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=16.23030**

Error: 115.9667 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.
2	67.75	4	5.38 A
3	64.50	4	5.38 A
4	63.75	4	5.38 A
5	62.50	4	5.38 A
1	54.00	4	5.38 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )**PESO FRESCO PARTE AEREA (G)**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PESO FRESCO PARTE AEREA (G..)	20	0.65	0.55	10.12

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1541.99	4	385.50	6.85	0.0024
Tratamiento	1541.99	4	385.50	6.85	0.0024
Error	844.57	15	56.30		
Total	2386.56	19			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=11.30920**

Error: 56.3046 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.
3	88.71	4	3.75 A
2	77.77	4	3.75 A B
4	71.44	4	3.75 B C
5	70.62	4	3.75 B C
1	62.29	4	3.75 C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )**PESO SECO PARTE AEREA (G)**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PESO SECO PARTE AEREA (G)	20	0.55	0.43	14.57

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	82.68	4	20.67	4.58	0.0128
Tratamiento	82.68	4	20.67	4.58	0.0128
Error	67.64	15	4.51		
Total	150.32	19			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=3.20055**

Error: 4.5095 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3	18.25	4	1.06	A
2	14.99	4	1.06	B
4	13.73	4	1.06	B
5	13.69	4	1.06	B
1	12.24	4	1.06	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### PESO FRESCO RAIZ (G)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PESO FRESCO RAIZ (G)	20	0.38	0.21	22.26

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	1617.89	4	404.47	2.30	0.1070
Tratamiento	1617.89	4	404.47	2.30	0.1070
Error	2642.04	15	176.14		
Total	4259.93	19			

### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=20.00250

Error: 176.1362 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3	71.66	4	6.64	A
5	64.43	4	6.64	A B
2	61.56	4	6.64	A B
4	55.56	4	6.64	A B
1	44.92	4	6.64	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### PESO SECO RAIZ (G)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PESO SECO RAIZ (G)	20	0.46	0.32	25.45

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	38.89	4	9.72	3.24	0.0418
Tratamiento	38.89	4	9.72	3.24	0.0418
Error	44.98	15	3.00		
Total	83.87	19			

### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=2.60989

Error: 2.9986 gl: 15

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
3	9.12	4	0.87	A
5	6.96	4	0.87	A B
2	6.68	4	0.87	A B
4	6.54	4	0.87	A B
1	4.74	4	0.87	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Num Frut x planta

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Num Frut x planta	40	0.34	0.27	25.59

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	518.49	4	129.62	4.55	0.0046
TRATAMIENTO	518.49	4	129.62	4.55	0.0046
Error	996.61	35	28.47		
Total	1515.10	39			

### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=5.45075

Error: 28.4744 gl: 35

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
4	27.71	7	2.02	A
3	21.86	7	2.02	B
1	20.89	9	1.78	B
2	17.78	9	1.78	B
5	17.38	8	1.89	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### PESO (G)

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
PESO (G)	20	0.49	0.35	11.31

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3436.55	4	859.14	3.54	0.0319
TRATAMIENTOS	3436.55	4	859.14	3.54	0.0319
Error	3645.09	15	243.01		
Total	7081.64	19			

### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=23.49462

Error: 243.0060 gl: 15

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
2	155.26	4	7.79	A
4	146.62	4	7.79	A B
3	140.74	4	7.79	A B C
1	127.59	4	7.79	B C
5	118.73	4	7.79	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Rendimiento

#### Análisis de la varianza

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Rendimiento	20	0.67	0.58	15.34

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.24	4	1.56	7.45	0.0016
TRATAMIENTOS	6.24	4	1.56	7.45	0.0016
Error	3.14	15	0.21		
Total	9.38	19			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.68968**

Error: 0.2094 gl: 15

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
4	4.04	4	0.23	A
3	2.96	4	0.23	B
2	2.88	4	0.23	B
1	2.60	4	0.23	B
5	2.14	4	0.23	C

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Diámetro polar

#### SEM1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM1	28	0.07	0.00	25.39

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.17	4	0.04	0.45	0.7713
TRATAMIENTO	0.17	4	0.04	0.45	0.7713
Error	2.20	23	0.10		
Total	2.37	27			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.38358**

Error: 0.0955 gl: 23

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T5	1.31	6	0.13	A
T3	1.29	6	0.13	A
T1	1.20	5	0.14	A
T2	1.19	5	0.14	A
T4	1.10	6	0.13	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### SEM2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM2	28	0.13	0.00	20.57

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.26	4	0.06	0.86	0.5013
TRATAMIENTO	0.26	4	0.06	0.86	0.5013
Error	1.72	23	0.07		
Total	1.98	27			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.33972**

Error: 0.0749 gl: 23

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T3	1.45	6	0.11 A
T5	1.40	6	0.11 A
T1	1.34	5	0.12 A
T2	1.25	5	0.12 A
T4	1.20	6	0.11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### SEM3

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM3	28	0.16	0.01	16.09

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.26	4	0.07	1.07	0.3942
TRATAMIENTO	0.26	4	0.07	1.07	0.3942
Error	1.40	23	0.06		
Total	1.66	27			

### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.30611

Error: 0.0608 gl: 23

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	1.68	5	0.11 A
T3	1.61	6	0.10 A
T2	1.49	5	0.11 A
T5	1.49	6	0.10 A
T4	1.41	6	0.10 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### SEM4

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM4	28	0.16	0.01	13.06

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.23	4	0.06	1.09	0.3859
TRATAMIENTO	0.23	4	0.06	1.09	0.3859
Error	1.20	23	0.05		
Total	1.43	27			

### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.28402

Error: 0.0524 gl: 23

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	1.87	5	0.10 A
T5	1.80	6	0.09 A
T3	1.79	6	0.09 A
T2	1.72	5	0.10 A
T4	1.60	6	0.09 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### SEM5

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM5	28	0.14	0.00	14.35

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.28	4	0.07	0.90	0.4790
TRATAMIENTO	0.28	4	0.07	0.90	0.4790
Error	1.78	23	0.08		
Total	2.06	27			

### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.34511

Error: 0.0773 gl: 23

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	2.07	5	0.12 A
T3	1.98	6	0.11 A
T2	1.98	5	0.12 A
T5	1.92	6	0.11 A
T4	1.77	6	0.11 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### SEM6

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM6	28	0.06	0.00	13.20

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.13	4	0.03	0.38	0.8175
TRATAMIENTO	0.13	4	0.03	0.38	0.8175
Error	1.91	23	0.08		
Total	2.03	27			

### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.35731

Error: 0.0829 gl: 23

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T1	2.24	5	0.13 A
T3	2.23	6	0.12 A
T2	2.21	5	0.13 A
T5	2.19	6	0.12 A
T4	2.16	6	0.12 A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### SEM7

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM7	28	0.32	0.20	9.25

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.52	4	0.13	2.73	0.0541

TRATAMIENTO	0.52	4	0.13	2.73	0.0541
Error	1.11	23	0.05		
Total	1.63	27			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.27223**

Error: 0.0481 gl: 23

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
T2	2.46	5	0.10	A	
T5	2.39	6	0.09	A	B
T3	2.35	6	0.09	A	B
T1	2.32	5	0.10		B
T4	2.30	6	0.09		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### Diámetro ecuatorial

#### SEM1

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM1	30	0.30	0.19	18.55

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.58	4	0.15	2.71	0.0528
TRATAMIENTO	0.58	4	0.15	2.71	0.0528
Error	1.35	25	0.05		
Total	1.93	29			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.27746**

Error: 0.0538 gl: 25

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
T2	1.43	6	0.09	A	
T5	1.38	6	0.09	A	
T3	1.21	7	0.09	A	B
T1	1.17	6	0.09	A	B
T4	1.04	5	0.10		B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

#### SEM2

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM2	30	0.26	0.14	14.55

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.31	4	0.08	2.22	0.0957
TRATAMIENTO	0.31	4	0.08	2.22	0.0957
Error	0.87	25	0.03		
Total	1.18	29			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.22326**

Error: 0.0349 gl: 25

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.		
T3	1.36	7	0.07	A	
T2	1.34	6	0.08	A	

T5	1.34	6	0.08	A
T1	1.26	6	0.08	A B
T4	1.07	5	0.08	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### SEM3

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM3	30	0.21	0.08	14.64

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.42	4	0.10	1.65	0.1920
TRATAMIENTO	0.42	4	0.10	1.65	0.1920
Error	1.57	25	0.06		
Total	1.98	29			

### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.29957

Error: 0.0628 gl: 25

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T5	1.85	6	0.10 A
T3	1.74	7	0.09 A B
T2	1.73	6	0.10 A B
T1	1.72	6	0.10 A B
T4	1.47	5	0.11 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### SEM4

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM4	30	0.29	0.18	13.33

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.68	4	0.17	2.60	0.0607
TRATAMIENTO	0.68	4	0.17	2.60	0.0607
Error	1.64	25	0.07		
Total	2.33	29			

### Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.30667

Error: 0.0658 gl: 25

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.
T5	2.19	6	0.10 A
T1	1.93	6	0.10 A B
T3	1.89	7	0.10 B
T2	1.87	6	0.10 B
T4	1.71	5	0.11 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

### SEM5

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM5	30	0.27	0.15	11.00

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.55	4	0.14	2.27	0.0895
TRATAMIENTO	0.55	4	0.14	2.27	0.0895
Error	1.51	25	0.06		
Total	2.06	29			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.29384**

Error: 0.0604 gl: 25

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T5	2.42	6	0.10	A
T1	2.32	6	0.10	A
T2	2.22	6	0.10	A B
T3	2.18	7	0.09	A B
T4	2.00	5	0.11	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**SEM6**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM6	30	0.22	0.10	12.13

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.67	4	0.17	1.81	0.1577
TRATAMIENTO	0.67	4	0.17	1.81	0.1577
Error	2.30	25	0.09		
Total	2.96	29			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.36233**

Error: 0.0918 gl: 25

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T5	2.73	6	0.12	A
T1	2.55	6	0.12	A B
T2	2.48	6	0.12	A B
T3	2.47	7	0.11	A B
T4	2.24	5	0.14	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

**SEM7**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
SEM7	30	0.42	0.33	7.49

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.76	4	0.19	4.59	0.0065
TRATAMIENTO	0.76	4	0.19	4.59	0.0065
Error	1.04	25	0.04		
Total	1.80	29			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.24349**

Error: 0.0415 gl: 25

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
T5	2.84	6	0.08	A
T3	2.82	7	0.08	A
T2	2.80	6	0.08	A
T4	2.70	6	0.08	B
T1	2.68	5	0.09	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## **FIRMEZA**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
FIRMEZA	20	0.51	0.38	12.53

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	6.07	4	1.52	3.97	0.0215
TRATAMIENTOS	6.07	4	1.52	3.97	0.0215
Error	5.73	15	0.38		
Total	11.81	19			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=0.93172**

Error: 0.3822 gl: 15

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
4	6.03	4	0.31	A
1	4.80	4	0.31	B
2	4.68	4	0.31	B
3	4.63	4	0.31	B
5	4.55	4	0.31	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

## **°BRIX**

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
°BRIX	20	0.24	0.03	15.26

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

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	4.23	4	1.06	1.16	0.3676
TRATAMIENTOS	4.23	4	1.06	1.16	0.3676
Error	13.68	15	0.91		
Total	17.91	19			

**Test:LSD Fisher Alfa=0.05 DMS=1.43932**

Error: 0.9120 gl: 15

TRATAMIENTOS	Medias	n	E.E.	
3	6.83	4	0.48	A
2	6.65	4	0.48	A
5	6.33	4	0.48	A
4	5.93	4	0.48	A
1	5.58	4	0.48	A

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )