

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Complejos de Nanopartículas de Quitosán Yodados Como Inductores de Tolerancia a *Fusarium Oxysporum* en el Cultivo de Tomate.

Por:

HILDA ESTELA ESPÍNOLA ALVARADO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2023

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, 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 referencias al documento original (auto plagio); comprar, robar, o pedir 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, graficas, 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 las autoridades correspondientes.

Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir declaramos que este trabajo es original.

Pasante



Hilda Estefá Espínola Alvarado

Asesor principal



Dr. Adalberto Benavides Mendoza

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Complejos de Nanopartículas de Quitosán Yodados Como Inductores de
Tolerancia a *Fusarium Oxysporum* en el Cultivo de Tomate.

Por:

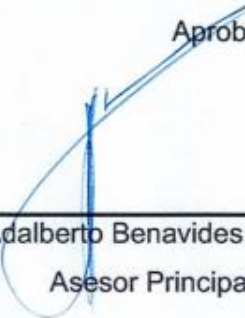
HILDA ESTELA ESPÍNOLA ALVARADO

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA


Aprobada por el Comité de Asesoría:



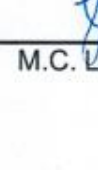
Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor Principal




Dra. Hortensia Ortega Ortiz
Asesor Principal Externo



Dra. Susana González Morales
Coasesor



M.C. Luz Leticia Rivera Solís
Coasesor



Dr. Jerónimo Landeros Flores
Coordinador Interino de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México
Junio 2023

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a todas estas personas por formar parte en mi proyecto de tesis, pero en especial a Dios y a mis padres.

A Dios por darme la vida y todo lo que tengo, fuerza y valentía de hacer todo lo que me propongo, permitirme estar aquí en este momento y en esta etapa tan importante.

A la universidad Autónoma Agraria Antonio, la cual me brindo apoyo incondicional, dándome la oportunidad de conocer personas especiales, amigos y maestros aportándome estos los conocimientos que me formaron profesionalmente Gracias “ALMA TERRA MATER”

A la M. C Luz Leticia Rivera Solís, por su gran colaboración en este trabajo por brindarme su confianza, ayuda y tiempo, compartirme sus conocimientos, brindando su apoyo en la realización de este proyecto de investigación, sus conocimientos fueron de gran ayuda tanto en la realización de mi tesis como en mi formación profesional.

A Juan Carlos, Ing. Rubén, Ana Alejandra y Larry quienes dedicando su tiempo, esfuerzo y conocimiento colaborando en la realización de este proyecto.

A mis amigos y amigas: Ing. Rubén, Juan Carlos, Ana Alejandra, Larry, Monserrat, Alison, Mayte, Nazaret, Magdalena, Saúl y Edith por brindarme su amistad durante mi carrera universitaria por estar conmigo en los momentos buenos y malos, así como también compartir sus conocimiento y experiencias.

A Dr. F. Javier Sánchez Ramírez por formar parte de mi formación académica, durante mi carrera.

A cada uno de mis maestros por compartirme sus conocimientos demostrarme que puedes lograr lo que te propongas en la vida a base de ejemplos, inspirándome con esto ser mejor persona.

Al Dr. Germán Alvarado Tenorio por el apoyo en la síntesis de los complejos de nanopartículas de quitosán yodados (NPsCS-I).

Al CONAHCYT por el apoyo económico a través de proyecto de Ciencia Básica A-1-S-20923 para la realización de este trabajo de tesis.

DEDICATORIA

A mis padres

Gracias por siempre estar conmigo incondicionalmente, impulsarme a ser mejor persona, dándome el mejor ejemplo de cómo ser una buena persona con valores y responsabilidades. Pero sobre todo por el inmenso sacrificio que hicieron para que yo tuviera una profesión todos mis éxitos son de ustedes y para ustedes.

Ma. Estela Alvarado Romero

Usted es la persona más especial y hermosa en mi vida, gracias por darme la vida por siempre cuidarme, por demostrarme amor y cariño, sé que para ti fue difícil acostumbrarte a que estuviéramos distanciadas y aun así siempre me brindaste todo tu apoyo y consejos, gracias mama por confiar en mí.

J. Jesús Espínola Espínola

Usted es un ejemplo a seguir, siempre me cuida y trato de darme lo mejor siempre, enseñándonos a tener valores y principalmente a luchar por lo que queremos gracias papá por todo y, por tanto.

A mis hermanos José Guadalupe, Jesús, Andrés, Florencio, Gerardo, Luis y Gabriel los respeto por lo que han logrado en sus vidas, porque son personas capaces de lograr sus sueños y objetivos siempre me han impulsado a ser una mejor persona.

A mis hermanas Yolanda e Josefina que siempre me han acompañado en las cosas importantes, me apoyan me dan consejos, confían en mí las admiro por las cosas que han logrado, porque siempre luchan por ser mejores gracias hermanas.

A mis sobrinas y sobrinos llegan a cambiarte la vida, impulsándote a ser mejor persona.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIA.....	II
ÍNDICE GENERAL	III
ÍNDICE DE TABLAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
RESUMEN	VIII
ABSTRACT	IX
INTRODUCCIÓN	1
OBJETIVOS	3
○ Objetivo general	3
○ Objetivos específicos.....	3
HIPÓTESIS	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
Generalidades del tomate.....	4
○ Producción nacional de tomate	4
○ Valor nutricional.....	5
○ Condiciones óptimas de producción.....	6
○ Necesidad nutricional del cultivo	7
○ Problemas de la producción	7
○ Principales patógenos del cultivo de tomate	8
○ <i>Fusarium oxysporum (Fo) f. sp. lycopersici</i>	8
○ Marchitez vascular.....	9

○ Ciclo de infección	9
○ Control convencional	10
○ Bioestimulantes	11
○ Nanopartículas de quitosán	12
○ Yodo	12
MATERIALES Y MÉTODOS	14
○ Ubicación del experimento	14
○ Material vegetal	14
○ Descripción del experimento	15
○ Inoculación de <i>F. oxysporum</i>	15
Labores culturales	17
Riego	18
Evaluación de variables agronómicas	19
○ Diámetro de tallo	19
○ Número de hojas	19
○ Altura de la planta.....	19
○ Severidad	19
○ Conductancia estomática	20
○ Rendimiento	21
○ Longitud de raíz.....	21
○ Evaluación de biomasa	21
Análisis estadístico de datos.....	21
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	22
○ Diámetro de tallo	22

○ Número de hojas	23
○ Altura de planta	24
○ Severidad de la enfermedad	25
○ Conductancia estomática	26
○ Rendimiento	27
○ Longitud de raíz.....	29
○ Evaluación de biomasa	30
CONCLUSIONES.....	32
REFERENCIAS.....	33

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Principales estados productores de tomate en México año (SIAP, 2021).	5
Tabla 2. Composición nutritiva del tomate por 100 gramos de porción comestible en crudo. Fuente: Salehi <i>et al.</i> , (2019).	6
Tabla 3. Temperaturas del invernadero tomadas después del trasplante hasta su etapa de producción.	14
Tabla 4. Descripción de tratamientos aplicados en plantas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i> (Fo).	17
Tabla 5. Solución Steiner usada en la fertilización del cultivo de tomate tratado con NPsCs, complejos de NPs-Cs-I y sales yodadas. Las cantidades corresponden a la concentración del fertilizante en g/ 2,500 L	18
Tabla 6. Determinación de la severidad de una planta infectada con <i>F. oxysporum</i> propuesta por Diener y Ausubel (2005).	20
Tabla 7. Biomasa de hojas y tallos en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con <i>F. oxysporum</i> .	30
Tabla 8. Biomasa de la raíz en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con <i>F. oxysporum</i> .	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Daño causado por FO en cultivo de tomate en invernadero.	10
Figura 2. Esquema de desarrollo de cultivo de tomate con aplicaciones foliares de NPScS-I e infectadas por <i>Fusarium oxysporum</i>	16
Figura 3. Severidad del <i>F. oxysporum</i> en el cultivo de tomate en invernadero. ...	20
Figura 4. Diámetro de tallo de plantas de tomate infectadas con <i>Fusarium oxysporum</i>	22
Figura 5. Número de hojas de las plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con <i>F. oxysporum</i> . <i>Fusarium oxysporum</i>	23
Figura 6. Resultados de la altura de las plantas.	24
Figura 7. Resultados de severidad de <i>F. oxysporum</i> en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados.	25
Figura 8. Conductancia estomática en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con <i>F. oxysporum</i>	26
Figura 9. Rendimiento en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con <i>F. oxysporum</i>	27
Figura 10. Número de frutos por planta al término del ciclo de cultivo en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con <i>F. oxysporum</i>	28
Figura 11. Longitud de raíz de plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con <i>F. oxysporum</i>	29

RESUMEN

El tomate es una hortaliza que forma parte de la dieta diaria y la gastronomía mexicana, cuya importancia económica se debe al alto índice de producción y rendimientos. Además, es un cultivo de fácil adaptación en ambientes protegidos, así como en campo abierto lográndose producir durante todo el año. Sin embargo, es un cultivo susceptible a factores de estrés biótico y abiótico, causando pérdidas de hasta 100% de la producción total. *Fusarium oxysporum* es el patógeno responsable de ocasionar la enfermedad de marchitez vascular en este cultivo. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de complejos de Nanoquitosán yodados (NPsCs-I) en la inducción de tolerancia a *Fusarium oxysporum* (FO) en el cultivo de tomate. En este experimento se evaluaron 11 tratamientos, la aplicación de los complejos de NPsCs-I fueron de manera foliar, los cuales fueron preparados a partir de dispersiones de NPsCs agregando soluciones de yoduro de potasio (KI) y yodato de potasio (KIO₃) en concentraciones de 5 y 25 mg L⁻¹ de I, las cuales fueron producidas por la técnica de gelificación inotrópica. En el desarrollo del cultivo se evaluaron variables de crecimiento, rendimiento y severidad. Encontrando que el T6FO (Yodato de potasio 25 mg L⁻¹ + FO) y T4FO (Complejo de NPsCs-I con 5 mg L⁻¹ de yoduro + FO) presentaron mayor desarrollo de altura de la planta comparado con el testigo absoluto, en el caso de longitud de raíz, T4FO aumentó con respecto al testigo absoluto. En cuanto a la severidad de la enfermedad, solo a los 41 ddt el tratamiento T8FO (Complejo de NPsCs-I con 25 mg L⁻¹ de yodato + FO) presentó una disminución de la severidad a comparación de las plantas infectadas con FO.

Palabras clave: Bioestimulante, Estrés biótico, *Fusarium oxysporum*, Nanopartículas, Tomate.

ABSTRACT

The tomato is a vegetable that is part of the daily diet and Mexican cuisine, whose economic importance is due to the high rate of production and yields. In addition, it is a crop that is easy to adapt to in protected environments, as well as in the open field, achieving production throughout the year. However, it is a crop susceptible to biotic and abiotic stress factors, causing losses of up to 100% of the total production. *Fusarium oxysporum* is the pathogen responsible for causing vascular wilt disease in this crop. The objective of this research was to evaluate the effect of iodinated Nanochitosan complexes (NPsCs-I) on the induction of tolerance to *Fusarium oxysporum* (FO) in tomato crops. In this experiment, 11 treatments were evaluated, the application of the NPsCs-I complexes were foliar, which were prepared from dispersions of NPsCs adding solutions of potassium iodide (KI) and potassium iodate (KIO₃) in concentrations of 5 and 25 mg L⁻¹ of I, which were produced by the inotropic gelation technique. In the development of the crop, variables of growth, yield and severity were evaluated. Finding that T6FO (Potassium iodate 25 mg L⁻¹ + FO) and T4FO (NPsCs-I Complex with 5 mg L⁻¹ of iodide + FO) presented greater plant height development compared to the absolute control, in the case of root length, T4FO increased with respect to the absolute control. Regarding the severity of the disease, only at 41 dat the T8FO treatment (NPsCs-I Complex with 25 mg L⁻¹ of iodate + FO) presented a decrease in severity compared to plants infected with FO.

Keywords: Biostimulant, Biotic stress, *Fusarium oxysporum*, Nanoparticles, Tomato.

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* L.) es considerado como una de las hortalizas de mayor importancia económica a nivel mundial, debido a su alto valor económico y nutritivo por su consumo en fresco, representando una fuente importante de vitamina C, potasio, ácido fólico y antioxidantes como carotenoides y licopeno (Rojas orduña 2022). En el año 2021, México ocupó el décimo lugar con una superficie de siembra de 22,236 ha, siendo los principales estados productores del país Sinaloa, San Luis Potosí y Michoacán (SIAP, 2021). El aumento continuo en la comercialización de esta hortaliza representa una alternativa de diversificación agrícola para las regiones del trópico seco por la facilidad que tiene de producirse en campo abierto e invernadero (Castellanos, 2009). Sin embargo, este cultivo es susceptible a el ataque de plagas y patógenos que le causan pérdidas de hasta un 60 a 80% en el rendimiento total (Ascencio-Álvarez *et al.*, 2008). La marchitez vascular causada por *Fusarium oxysporum f. sp. lycopersici* (Fo), es una de las principales enfermedades del tomate y de difícil manejo que ataca en diferentes etapas del desarrollo del cultivo (Ayvar *et al.*, 2021). Este patógeno es un habitante del suelo que puede diseminarse por la semilla, agua de riego, materia en descomposición y el manejo agronómico (Ignjatov *et al.*, 2012). Además, puede desarrollarse en una gran variedad de condiciones ambientales, desde climas templados hasta tropicales (Cai *et al.*, 2003). El control convencional de este patógeno implica la aplicación continua de productos químicos, sin embargo, su uso indiscriminado ha generado resistencia del patógeno, además de producir metabolitos tóxicos que ponen en peligro la salud del consumidor y el medio ambiente (Gayosso *et al.*, 2018). El desarrollo de bioestimulantes es una alternativa potencial para el control de plagas y patógenos, ya que contienen sustancias que al aplicarse a la planta estimulan procesos naturales para beneficiar la absorción de nutrientes, promover el crecimiento, tolerancia al estrés biótico o abiótico, mejora de calidad de frutos y aumento del rendimiento del cultivo (du Jardin, 2015). Entre la gran variedad de compuestos bioactivos para la formulación de bioestimulantes, la quitina (CH) en polvo del exoesqueleto de camarones y cangrejos y su derivado desacetilado quitosán (Cs) han presentado usos potenciales como: antifúngico

biopesticida, biofertilizante, promotor del crecimiento, e inductor de tolerancia al estrés biótico y abiótico (Malerba y Cerana, 2016). Sin embargo, se ha demostrado que la efectividad de este material se limita al modo de aplicación, debido a la insolubilidad en medios acuosos limita su potencial de aplicación (Saharan *et al.*, 2013). Por lo tanto, se han empleado diversas estrategias para incrementar su solubilidad, en este sentido, la síntesis de nanopartículas de quitosán muestra más efectividad debido a la alta relación superficie-volumen, tamaño y de fácil absorción en la planta (Kashyap *et al.*, 2015). Además, de tener altas propiedades biodegradables, solubles, permeables, tener un buen equilibrio costo-efectividad y no representar una amenaza para el ser humano (Divya *et al.*, 2019). Así mismo, se ha encontrado que las nanopartículas de quitosán, promueven mecanismos de defensa frente a patógenos, tal como lo menciona Chandra *et al.*, (2017) en el estudio de *Camellia sinensis* (L.) frente a tizón de las ampollas, mostrando un incremento en la actividad de enzimas de defensa y un efecto inmunomodulador. Sathiyabama y Manikandan, (2016) observaron un efecto de resistencia similar a *Pyricularia grisea* en el cultivo de mijo debido a la inducción de defensa promovida. Por otro lado, otra de las ventajas que tiene la aplicación de nanopartículas de quitosán, es la biocompatibilidad con otros elementos para potenciar su bioactividad. El yodo es un elemento no esencial en las plantas, que no se incluye en los programas de fertilización mineral, sin embargo, se ha demostrado efectos benéficos con la incorporación de sales inorgánicas de yodo relacionados al incremento de la tolerancia al estrés en las plantas por activar mecanismos antioxidantes (Gupta *et al.*, 2015). Así mismo, se ha encontrado que la planta es capaz de absorber y acumular yodo en sus tejidos. No obstante, la utilidad de este elemento se limita a su alta tasa de volatilización, que lo hace disponible solo por un corto periodo de tiempo.

Por lo tanto, en esta investigación se propone la aplicación de complejos de nanopartículas de quitosán yodados (NPsCs-I) y sales de yoduro y yodato en plantas de tomate para evaluar la asimilación del complejo, así como su efecto de inducción de resistencia del cultivo frente a *Fusarium oxysporum*.

OBJETIVOS

- **Objetivo general**

Determinar la inducción de defensa de los complejos de nanopartículas de quitosán yodados (NPsCs-I) en plantas de tomate infectadas con *Fusarium oxysporum*.

- **Objetivos específicos**

- Evaluar parámetros de crecimiento y vigor de plantas de tomate tratadas con los complejos de NPsCs-I e inoculadas con *Fusarium oxysporum*.
- Determinar el efecto antifúngico de los complejos de NPsCs-I aplicados foliarmente en el cultivo de tomate inoculado con *Fusarium oxysporum*.

HIPÓTESIS

- La aplicación de los complejos de NPsCs-I producirán una activación de los mecanismos de defensa en plantas de tomate infectadas con FO que permitirá reducir la severidad de la enfermedad.

REVISIÓN DE LITERATURA

Generalidades del tomate

○ Origen

El tomate es originario de América del sur, entre las regiones de Chile, Ecuador y Colombia, pero su domesticación se inició en el sur de México y norte de Guatemala (Jaramillo, Rodríguez, 2007). Es una planta dicotiledónea, que pertenece a la familia de las *Solanaceae* y al género *Lycopersicon L. esculentum* y es la especie más cultivada a nivel mundial (Miller, 1788). La planta de tomate es perenne de porte arbustivo, la cual se puede cultivar anualmente, desarrollándose de manera semierecta o erecta y según su crecimiento las variedades se dividen en determinadas o indeterminadas (Peralta, 2004). Las variedades determinadas se les da ese nombre porque su crecimiento es determinado, son de tipo arbusto, de porte bajo, compactas y su producción de frutos se concentra en un tiempo relativamente corto, y de fácil manejo agronómico, lo contrario que en las indeterminadas, donde el crecimiento de la planta es continuo, sus inflorescencias son laterales y la cosecha se extiende por periodos muy largos, estas últimas producidas comúnmente en condiciones de invernadero (Zeidan, 2005; Martínez, 2001; Catie, 1990; Flores, 1986).

○ Producción nacional de tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum L.*) es una de las hortalizas más consumidas y populares a nivel mundial, incluida en la gastronomía y canasta básica de la sociedad mexicana, producida para fines industriales, así como el consumo en fresco (FAO, 2012). A nivel nacional, en el año 2021 se obtuvo una producción agrícola en México de 2,717,914.22 ton, con una superficie de siembra de 41,866.3 ha (SIAP, 2021). Los principales estados productores de tomate se muestran en la Tabla 1, donde se observa que Sinaloa es el mayor estado productora nivel nacional con una producción de 677,612.23 Ton ha⁻¹, el segundo estado es San Luis Potosí

con una producción de 440,875.72 T ha⁻¹, le sigue el estado de Michoacán ocupando el tercer lugar, Jalisco el cuarto lugar y Morelos ocupando el quinto lugar (SIAP, 2021).

Tabla 1. Principales estados productores de tomate en México año (SIAP, 2021).

Entidad federativa	Producción anual (T ha ⁻¹)
1. Sinaloa	677,612.23
2. San Luis Potosí	440,875.72
3. Michoacán	283,259.11
4. Jalisco	197,679.15
5. Morelos	164,577.77

- **Valor nutricional**

El tomate es un fruto indispensable para la dieta de los humanos, por su gran valor nutricional, ya que contiene minerales y vitaminas A, C y E, compuestos fenólicos, flavonoides y licopeno, este último el antioxidante más abundante y responsable de su coloración roja característica del fruto (Waliszewski *et al.*, 2018). Algunos estudios han demostrado que el consumo habitual de esta hortaliza reduce riesgos de previene el desarrollo de varios tipos de enfermedades como el cáncer, osteoporosis y enfermedades cardiovasculares, debido a su alto contenido de licopeno y bioflavonoides son los responsables de actuar como agentes anticancerígenos debido al carácter antioxidante de los compuestos, por otro lado, es importante mencionar que estas propiedades se reducen cuando el producto se procesa (Candeo, M. 2020). En la Tabla 2, se observa el contenido nutricional de tomate.

Tabla 2. Composición nutritiva del tomate por 100 gramos de porción comestible en crudo. Fuente: Salehi *et al.*, (2019).

Componente	Concentración
Calorías (Kcal)	23
Agua (ml)	94.2
Hidratos de carbono (g)	3.5
Fibra (g)	1.8
Proteínas (g)	1.0
Grasas (g)	0.2
Carotenos (mcg)	820
Vitamina C (mg)	24

- **Condiciones óptimas de producción**

Esta hortaliza se cultiva durante todo el año, debido a la facilidad de adaptación bajo condiciones protegidas como invernadero, malla sombra y macro túnel, donde su temperatura optima se encuentra entre 21 ± 24 °C. Sin embargo, en campo abierto su producción se ve afectada por el incremento o disminución de temperatura, ya que se genera un estrés abiótico que afecta a todas las etapas de la planta desde su crecimiento vegetativo como en la formación de frutos (Ahmad, 2015). Así mismo, la humedad relativa es considerada uno de los factores más importantes para el desarrollo del cultivo de tomate, en ambientes controlados la humedad relativa optima se encuentra entre 50 y 65 % esto ayudara a que el cultivo no presente enfermedades y por lo tanto obtener frutos de calidad (Jaramillo *et al.*, 2007).

- **Necesidad nutricional del cultivo**

En la producción de tomate los fertilizantes, agua y suelo son los encargados de aportar los nutrientes que requiere la planta para su buen desarrollo, y así obtener un buen rendimiento (Pérez Espinoza, 2017). Existen diferentes soluciones nutritivas (SN) que le aportan los nutrientes esenciales a la planta para cubrir las necesidades nutricionales según su etapa fenológica, según Steiner (1961), los fertilizantes se dividen en macronutrientes: nitrógeno, fósforo, azufre, potasio, calcio y magnesio y los micronutrientes: boro, molibdeno, cobre, hierro y manganeso. La SN debe tener un pH entre 5.5 y 6 para evitar la precipitación y mejorar la disponibilidad de nutrientes (Castellanos, 2009). La SN es diferente dependiendo de los siguientes aspectos: la etapa fenológica de la planta y las condiciones de desarrollo; campo abierto o en condiciones protegidas (Sánchez *et al.*, 2003).

- **Problemas de la producción**

El desarrollo de este cultivo puede ser afectado por diversos factores tanto bióticos como abióticos, entre los factores abióticos están los climatológicos como: aire, temperatura y humedad relativa que en condiciones extremas promueven la presencia de diferentes organismos patogénicos (Sinclair *et al.*, 2006). Los factores bióticos son: animales, plantas, hongos y bacterias, siendo dependientes de los factores abióticos para vivir y dispersarse (Sánchez, 2019). Estos últimos, representan las principales causas de disminución en el rendimiento de más del 50% de la producción total de tomate (Jaramillo, 2020).

- **Principales patógenos del cultivo de tomate**

La producción de tomate es importante debido a su alto consumo en fresco, sin embargo, en diferentes ocasiones su rendimiento no es el esperado, ya que a este cultivo lo atacan diversas plagas y enfermedades (Pelegrín *et al.*, 2004). El cultivo de tomate se ve afectado por la presencia de diversos microorganismos patogénicos destacando la presencia de hongos (Díaz, 2011). Los más comunes y los que tienen una mayor incidencia son *Botrytis cinérea*, *Alternaria solani*, *Laveillula taurina*, *Phytophthora infestans*, *Pythium aphanidermatum*, *Fusarium oxysporum* y *Rhizoctonia solani* (Flores *et al.*, 2018).

- ***Fusarium oxysporum (Fo) f. sp. lycopersici***

El género *Fusarium* se distribuye ampliamente a nivel mundial, encontrándose en más de 32 países y afectando a más de 80 cultivos de importancia comercial entre los que destaca el cultivo de tomate, las especies más relevantes de este patógeno son *F. oxysporum f. sp. lycopersici* y *Fusarium solani* (Hernández J., 2011). Existen tres tipos de razas de *Fo* que atacan al cultivo de tomate, sin embargo, los síntomas que presenta la planta difieren según la raza, causando la muerte de la planta si logran superar su mecanismo de defensa de la planta (Chang *et al.*, 2018; Biju *et al.*, 2018). El hongo *FO* causa la enfermedad que se conoce como marchitez vascular, esta enfermedad es de mucha relevancia en el cultivo, ya que pueden disminuir la producción del fruto hasta un 60 a 100% (Ascencio-Álvarez *et al.*, 2008). Este tipo de hongo se puede desarrollar en una gran variedad de condiciones ambientales, desde climas templados hasta trópicos, lo que facilita la dispersión del patógeno (Caí *et al.*, 2003).

- **Marchitez vascular**

Actualmente, se han reportado más de 48 enfermedades en tomate a causa de plagas y patógenos, entre las cuales, la marchitez vascular que es causada por el hongo *F. oxysporum* (Gordon, 2017). Este patógeno, se considera saprofito con la capacidad de sobrevivir y diseminarse generalmente en suelos arenosos y puede permanecer en el suelo por mucho tiempo incluso años, la manera en que se introduce a la planta es por medio de heridas en la raíz, la cual es el principal órgano expuesto al patógeno (Lindarte, 2019). Así mismo, a temperaturas mayores de 28°C beneficia a la enfermedad para desarrollarse, con una humedad relativa superior al 50% (Smith, 2007). Cuando tenemos niveles bajos de pH o niveles bajos de N y P y altos de K en el suelo esto favorece al desarrollo del hongo (Zhang *et al.*, 2011). La progresión de la infección se detecta cuando las plantas muestran síntomas de amarillamiento o necrosis en las hojas bajas debido a la obstrucción de haces vasculares que comienzan reduciendo la actividad fotosintética, siendo el estado de marchitez más notable después de la floración y cuajamiento de los frutos (Mc Govern, 2015). Esta marchitez va avanzando gradualmente en todo el follaje, hasta que la planta muere (Argotti, 2016). Dicho proceso, se ve favorecido por diferentes vectores, que pueden ser: por la semilla, manejo agronómico; herramientas de trabajo, materia en descomposición y principalmente a través del viento y agua (Momol *et al.*, 2008).

- **Ciclo de infección**

El ciclo infección inicia en el suelo, donde se inicia la dispersión del patógeno, siendo más severo y monocíclica en etapas tempranas del cultivo, la llegada del patógeno a la raíz se da por medio de clamidosporas o conidios que son atraídos por sus exudados, que en raíces dañadas penetran en la planta con mayor facilidad (Jiménez, 2021). Una vez dentro, este ingresa al xilema y crece en dirección vertical tapando los tejidos, lo cual hace que la planta tenga menor absorción de agua y nutrientes, causando un estrés hídrico. La planta como mecanismo de defensa para la dispersión del patógeno, causa una reducción en la actividad fotosintética que

limita la producción de clorofila, además la limitación en el flujo de agua y nutrientes también contribuye a que se tornen de color amarillo y posteriormente se sequen, como aparece en la Figura 1 (Arévalo, 2021).



Figura 1. Daño causado por *FO* en cultivo de tomate en invernadero.

- **Control convencional**

El uso indiscriminado de agroquímicos para el control del patógeno, así como la falta de un manejo integrado, ha incrementado su resistencia al control convencional. Algunos ejemplos del control a nivel industrial específicamente para el control de *FO* en el cultivo de tomate implican el uso de Ridomil de la marca Syngenta a una dosis sugerida de 0.5 ml L^{-1} en etapa de producción, teniendo muy baja residualidad cuando se aplica en drench que va dirigido al área radicular de la planta estratégicamente para tener efecto sobre el micelio del patógeno controlando su propagación (Amini y Sidovich, 2010). Sin embargo, en cuanto a este hongo el uso de variedades resistentes es considerado como el método más efectivo para su control, aunque su uso es limitado por sus altos costos de producción, así como, la aparición de nuevas razas del patógeno (Araujo *et al.*, 2008). En cuanto a manejo agronómico, algunas industrias realizan el proceso de “secado” que es una técnica que consiste en detectar las plantas con posible infección y previo a que se logre una colonización del patógeno, se le quiten los brotes apicales y se coloquen en la superficie de la maceta, para que, en vez de modificar la válvula de riego, los brotes aprovechen el exceso de agua que la planta enferma no puede absorber.

- **Bioestimulantes**

Recientemente, una alternativa para contrarrestar los efectos negativos del patógeno y el uso indiscriminado de agroquímicos ha sido el desarrollo de bioestimulantes. Los cuales son sustancias y/o microorganismos responsables de promover el crecimiento y desarrollo de plantas para el buen funcionamiento del vegetal (Benazzouk *et al.*, 2020). Mismos que promueven la regulación de crecimiento, activación en el proceso de la germinación, vigor de las plantas, del rendimiento y reducción del estrés abiótico y biótico, (Kawalekar, 2013). Dentro de la clasificación de los bioestimulantes se encuentra el quitosán, que es un polímero natural obtenido del exoesqueleto de algunos crustáceos como camarón, cangrejo y langostino. Es utilizado en el sector agrícola como estimulante debido a los compuestos bioactivos que contiene por ser un elictor vegetal, induce la producción de fitoalexinas, protege a las plantas de enfermedades patógenas ya que inhibe el crecimiento microbiano, provoca alteraciones de la cromatina y participa en la síntesis de alcaloides y reguladores de crecimiento vegetal (Huang *et al.*, 2009). El quitosán es utilizado en la industria de alimentos, se comercializa en Europa, E.U.A y otros países es considerado como un reductor de grasa y colesterol (Davis S.S., 2001). Se ha demostrado que el quitosán estimula el crecimiento de las plantas ayudándolas a mantener un balance hídrico, con esto el cultivo tenga mejores rendimientos en cuanto la calidad de sus frutos y la vigorosidad de las plantas (Xu y Mou, 2018). Su acción protege a las plantas de microorganismos patógenos y su actividad promotora de mecanismos de defensa de las plantas las protege de condiciones de estrés (Charitidis *et al.*, 2019). Sin embargo, es un compuesto que tiene un alto grado de insolubilidad en medio acuoso limitando su aprovechamiento (Saharan *et al.*, 2013).

- **Nanopartículas de quitosán**

Recientemente se ha demostrado que las nanopartículas basadas en quitosán (NPsCs) han mostrado una mejor eficiencia que el material original, así como mejores propiedades biocompatibles, biodegradables, antifúngicas y no tóxicas para el ser humano (*Kalagatur et al.*, 2018). Así mismo, las NPsCs representan una herramienta potencial ya que permite activar mecanismos de defensa en las plantas, contra plagas y patógenos, asociadas a los métodos de síntesis que promueven interacciones intra e intermoleculares (Divya y Jisha, 2018). Actualmente, la aplicación de NPsCs, ayudan a la inducción de resistencia frente a patógenos, tal como lo muestra Sathiyabama y Manikandan, (2016) que observaron resistencia a *Pyricularia grisea* en el cultivo de mijo en aplicaciones foliares de NPsCs. Por otro lado, respecto a su síntesis se incrementa la capacidad de interacción con otros elementos, tal como lo es el yodo.

- **Yodo**

El yodo (I) es un elemento que se encuentra ampliamente distribuido en la naturaleza en concentraciones muy pequeñas, el principal suministro de yodo para las plantas es en suelos y agua donde presenta una concentración de 0.2 μm y de estas solo el 10% es aprovechado por las plantas (Quinto Rivas, 2017). En las plantas el yodo se considera un elemento benéfico, que puede provocar un aumento en el desarrollo y rendimiento de cultivos, mejora de actividad fotosintética, así como procesos de absorción de nutrientes (Kiferle *et al.*, 2021). Respecto al mecanismo de defensa, el yodo puede ocasionar que las plantas generen mayor producción de antioxidantes, que le permitan resistir condiciones de estrés, sin embargo, en altas concentraciones es un elemento que puede provocar toxicidad, siendo el rango óptimo de aplicación 0.005 y 0.02 mol L^{-1} (Cortés Flores *et al.*, 2016). Por otro lado, el yodo en la dieta de los humanos es considerado un elemento esencial, que necesita consumirse en la dieta diaria, encontrándose principalmente en el pescado, mariscos, huevo y productos lácteos, este se presenta en forma de yodato de potasio (KIO_3), presente en cantidades más elevadas en las fuentes marinas, sin

embargo, estas fuentes no se integran de manera habitual en dieta, por su lejanía al mar o por su precio (AESAN, 2009). Su importancia radica, en la producción de hormonas tiroideas, triyodotironina (T3) y tiroxina (T4) que participan en la regulación de enzimas y procesos metabólicos del ser humano (Salminen *et al.*, 2016). Por lo tanto, en esta investigación se busca estudiar el efecto de la aplicación de nanopartículas de quitosán yodados para inducir resistencia a *F. oxysporum* en el cultivo de tomate.

MATERIALES Y MÉTODOS

○ Ubicación del experimento

El experimento se realizó en un invernadero de patógenos, este invernadero cuenta con dos cortinas que se encuentran en sus lados laterales las cuales, sirven para que se modifique la humedad y temperatura del invernadero (Tabla 3). Está ubicado en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el Departamento de Horticultura. Sus coordenadas geográficas son: 100° 59' 57" longitud oeste y 25° 23' 42" longitud norte. Al sur de la ciudad de Saltillo, capital del estado de Coahuila.

Tabla 3. Temperaturas del invernadero tomadas después del trasplante hasta su etapa de producción.

Fecha	Hora	Temperaturas (°C)	Humedad (%)
		Promedio	Promedio
05-ago	12:04	46.3°C	18%
07-ago	12:04	15.1°C	16%
08-ago	11:15	13.1°C	49%
08-ago	18:44	13.1°C	44%
09-ago	17:47	40.2°C	19%
09-ago	19:46	15.4°C	87%
14-ago	11:55	41.7°C	24%
16-ago	13:58	36.7°C	28%
19-ago	14:21	34.4°C	29%
08-oct	18:07	17.3°C	92%

○ Material vegetal

La semilla que se utilizó para el experimento fue de la variedad Río grande (saladette) de la casa comercial Fax de crecimiento indeterminado y se sembró el día 10 de junio del 2022 en dos charolas de poliestireno con 128 cavidades, el sustrato que se utilizó fue peat most y perlita en una proporción 1:1 (v/v) ligeramente mojando el sustrato. Las semillas se regaron dos días después de la siembra. Las charolas permanecieron en un invernadero de Horticultura de baja tecnología y se regaron diariamente con agua de la llave hasta su trasplante. El trasplante se realizó el 21 de julio del 2022, en bolsas de polietileno en cada bolsa se sembró una planta,

con una mezcla de sustrato de peat most y perlita (1:1 v/v) incorporándolos de forma homogénea, posteriormente se le agregó agua, pero no en exceso para que se pudiera trabajar, se rellenaron las bolsas del sustrato y se trasplantó.

- **Descripción del experimento**

Se evaluaron 11 tratamientos como se muestra en la (Tabla 4), los cuales fueron preparados a partir de dispersiones de NPsCs, complejos yodados (NPsCs-I), agregando soluciones de yoduro de potasio (KI) y yodato de potasio (KIO₃) en concentraciones de 5 y 25 mg L⁻¹ de I. Las cuales fueron producidas por la técnica de gelificación inotrópica y sintetizadas en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). Cada tratamiento constó de cuatro unidades experimentales compuestas por cuatro plantas. El material vegetal utilizado fue plantas de tomate variedad Rio grande, bajo un diseño de bloques completos al azar. Los tratamientos se aplicaron a partir del trasplante y hasta su producción en intervalos de 15 días dando un total de siete aplicaciones después del trasplante de manera foliar (ddt), aplicándose en un horario específico matutino de 7:00 a 10:00 am debido a la facilidad de absorción de la planta en horas tempranas donde la apertura de estomas se promueve por las condiciones ambientales; temperatura, radiación y humedad (Figura 2).

- **Inoculación de *F. oxysporum***

La inoculación de *F.oxysporum* se realizó a los 31 ddt (Figura 2), utilizando una solución de esporas que se obtuvo a partir de micelio del hongo cultivado en cajas Petri con medio PDA durante 15 días a 28°C. Se raspó la superficie de la caja con una solución de Tween 80 al 0.1% para retirar el micelio y las esporas, y la solución se filtró con gasas estériles. Posteriormente, se hizo un conteo de esporas haciendo una dilución 1:10 en una cámara de Neubauer usando la siguiente formula:

$$\text{Esporas/mL} = (X) (25) (FD) (FC)$$

Dónde: X= promedio de esporas contadas; 25 = cuadros totales de la cámara; FD= factor de dilución empleado y FC= factor de cámara (10,000). El promedio de los conteos fue de 2.0595×10^8 esporas mL⁻¹, el cual se ajustó a una concentración de 1×10^6 esporas mL⁻¹. En los tratamientos infectados, la inoculación consistió en realizar heridas en la raíz con la finalidad de promover el ingreso del patógeno a la planta y agregar 500 mL de solución de 1×10^6 esporas mL⁻¹ en cada planta.

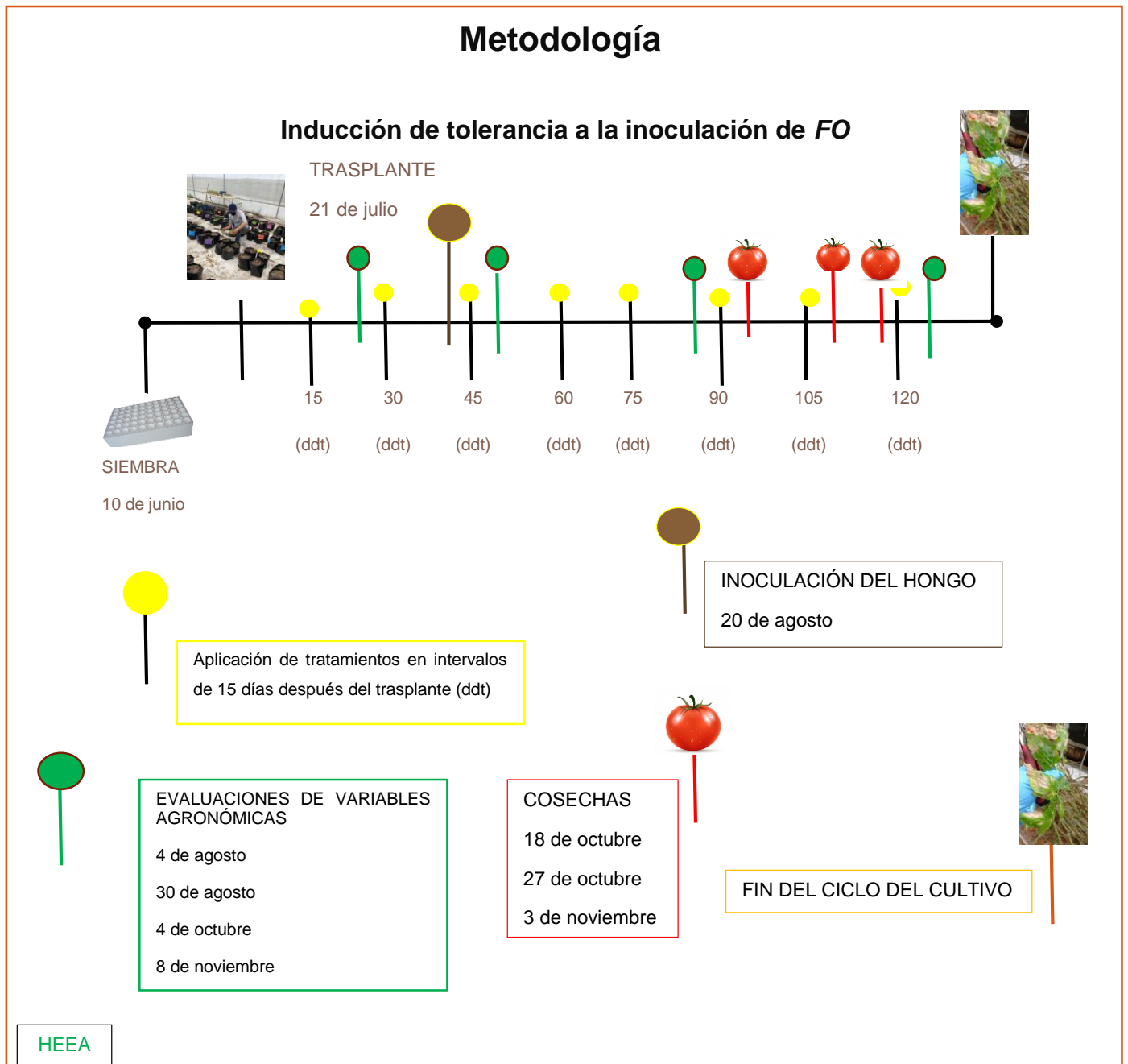


Figura 2. Esquema de desarrollo de cultivo de tomate con aplicaciones foliares de NPsCs-I e infectadas por *Fusarium oxysporum*.

Tabla 4. Descripción de tratamientos aplicados en plantas de tomate infectadas con *Fusarium oxysporum* (Fo).

Tratamiento	Descripción
TO	Testigo absoluto
TNPsCs+FO	Testigo con Nanoquitosán + FO
TFO	Testigo infectado con FO
T1FO	Yoduro de potasio 5 mg L ⁻¹ + FO
T2FO	Yoduro de potasio 25 mg L ⁻¹ + FO
T3FO	Complejo de NPsCs-I con 5 mg L ⁻¹ de yoduro + FO
T4FO	Complejo de NPsCs-I con 25 mg L ⁻¹ de yoduro + FO
T5FO	Yodato de potasio 5 mg L ⁻¹ + FO
T6FO	Yodato de potasio 25 mg L ⁻¹ + FO
T7FO	Complejo de NPsCs-I con 5 mg L ⁻¹ de yodato + FO
T8FO	Complejo de NPsCs-I con 25 mg L ⁻¹ de yodato + FO

Labores culturales

○ **Tutoreo**

Después del trasplante a los 10 días se tutoraron las plantas de tomate utilizando ganchos con 3 metros de rafia agrícola que cuenta con protección para que los rayos UV no la degraden, la principal función de esta labor es que la planta crezca verticalmente para que tenga un mejor aprovechamiento de luz y desarrollo.

○ **Enreda**

A los 15 días del cultivo se le realizó una enreda a la planta apoyándonos de un clip de inicio, este se coloca en la hoja más fuerte (3° o 4° hoja bajera) de la planta con la finalidad de que tenga un soporte para que no se rompa cuando crezca.

- **Desbrotar**

Esta actividad consiste en remover los brotes a la planta durante su desarrollo, para prevenir el gasto energético y de nutrientes para su mantenimiento, así como la reducción de fuerza y radiación.

- **Cosecha**

La producción de las plantas infectadas con *F. oxysporum* lograron una producción de cuatro racimos y se realizaron cuatro cosechas, en la primera se cosecho el primer racimo se obtuvieron frutos grandes y de buen color, sin embargo, los demás racimos fueron de poca calidad debido a la progresión de la enfermedad.

Riego

La solución para agregar el fertilizante al riego que se utilizo fue de Steiner. En la Tabla 5, se muestran los fertilizantes, las cantidades varían en porcentajes según la etapa fenológica de la planta.

Tabla 5. Solución Steiner usada en la fertilización del cultivo de tomate tratado con NPsCs, complejos de NPsCs-I y sales yodadas. Las cantidades corresponden a la concentración del fertilizante en g/ 2,500 L

Solución Steiner en diferentes etapas				
Compuesto	100 %	75 %	50 %	25 %
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	2650	1987.50	1325	662.50
Mg SO ₄ 7H ₂ O	1217.50	913.13	608.75	304.38
KNO ₃	177.50	133.13	88.75	44.38
K ₂ SO ₄	867.50	650.63	433.75	216.88
KH ₂ PO ₄	527.50	395.63	263.75	131.88
Ultrasol	125	93.75	62.50	31.25

Evaluación de variables agronómicas

Se evaluaron cuatro variables agronómicas en las etapas de plántula, vegetativa, producción y al final del cultivo.

- **Diámetro de tallo**

El diámetro del tallo se midió a un cm de la base del tallo y en mm, el instrumento que se utilizó para esta medición fue un vernier digital de la marca NEIKON.

- **Número de hojas**

Las hojas se contaron manualmente, desde la punta apical (hoja bandera o verdadera completamente extendida) hasta la base del tallo.

- **Altura de la planta**

La altura de la planta se midió en cm flexómetro de 3 m de longitud marca TRUPER desde el inicio del tallo hasta la parte apical de la planta.

- **Severidad**

Para determinar la severidad se siguió la escala propuesta por Diener y Ausubel (2005) Tabla 6, la cual hace referencia al estado de progresión de la enfermedad ocasionada por *F. oxysporum*. La evaluación comenzó después de la primera inoculación registrándose desde la primera aparición de los síntomas hasta la progresión más avanzada de la enfermedad Figura 3.

Tabla 6. Determinación de la severidad de una planta infectada con *F. oxysporum* propuesta por Diener y Ausubel (2005).

Parámetros	Severidad
0	Planta muerta (100%)
1	Hojas viejas muertas y hojas jóvenes con crecimiento detenido (80%)
2	Hojas viejas cloróticas y hojas jóvenes con crecimiento detenido (60%)
3	Hojas viejas con clorosis vascular y hojas jóvenes con crecimiento detenido (40%)
4	Peciolos de hojas con crecimiento detenido (20%)
5	Sin síntomas visibles (0%)



Figura 3. Severidad del *F. oxysporum* en el cultivo de tomate en invernadero.

- **Conductancia estomática**

La evaluación de la capacidad de transpiración, así como la apertura y el cierre estomático, considerando dos lecturas de esta variable. Se tomaron dos mediciones, una al principio del cultivo, previo a la aparición de daño por el patógeno y la otra al final del cultivo cuando se presentaron los daños máximos causados por el hongo *F. oxysporum*. Se utilizó un porómetro de la marca, DECAGON DEVICES, INC. Esta medición se realizaba a medio día con el objetivo de que los estomas de las plantas estuvieran abiertos.

- **Rendimiento**

En la etapa de producción se consideró el corte de cuatro racimos por planta cuantificando la producción total de frutos sin raleo. El proceso de cosecha consistía en el corte de los frutos llevándose a un recipiente para pesarlos en una báscula portátil de 10 kg de la marca TRUPER. Por último, el rendimiento se determina en g planta^{-1} .

- **Longitud de raíz**

La longitud de la raíz se midió al término del ciclo de cultivo después de cortar el tallo de su base, dejando secar un poco el sustrato para posteriormente removerlo, una vez la raíz limpia se midió su longitud con una cinta métrica de 3 m de longitud de la marca TRUPER desde la punta más extendida de la raíz principal hasta el comienzo del tallo, registrando los datos en cm.

- **Evaluación de biomasa**

Al concluir el ciclo del cultivo se pesó la biomasa en peso fresco (PF) y peso seco (PS), se evaluaron 4 repeticiones por tratamiento donde se pesaron tallo, hojas y raíz, las cuales se almacenaron en bolsas de papel de destreza y se pesaron para obtener el PF. Se llevaron todas las bolsas a una estufa de la marca LINDBERG/BLUE y después de 72 horas se pesaron nuevamente para obtener su PS en una báscula SF 400.

Análisis estadístico de datos

Para el desarrollo del cultivo se consideraron como unidad experimental 4 plantas con 4 repeticiones por tratamiento siguiendo un diseño de bloque completos al azar. Los datos se analizaron en el programa InfoStat 2020 para determinar la diferencia entre medias se realizó una prueba de LSD Fisher a una probabilidad de $p \leq 0.05$.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

○ Diámetro de tallo

En la Figura 4, se observan los resultados de la variable diámetro de tallo encontrando diferencias significativas entre tratamientos. Donde el T4FO (Complejo de NPsCs-I con 25 mg L⁻¹ de yoduro + FO) a los 26 ddt mostró un incremento del 37% respecto al T8FO (Complejo de NPsCs-I con 25 mg L⁻¹ de yodato + FO), a los 41 ddt el T3FO (Complejo de NPsCs-I con 5 mg L⁻¹ de yoduro + FO) aumentó un 18% en comparación del T4FO. A los 102 ddt se obtuvo una diferencia de 22% del T5FO (Yodato de potasio 5 mg L⁻¹ + FO) respecto al T8FO. Finalmente, al término del ciclo de cultivo (137 ddt) no se encontraron diferencias significativas entre los tratamientos. En base a los resultados, el efecto observado se puede asociar a la compatibilidad del nanoquitosán con las diferentes formas de yodo (yoduro y yodato) y las diferentes concentraciones (5 y 25) (Divya y Jisha, 2018). Así mismo, el nanoquitosán y yodo tiene la capacidad de ser un bioestimulante en las plantas impactando en su crecimiento (Medrano-Macías et al., 2016).

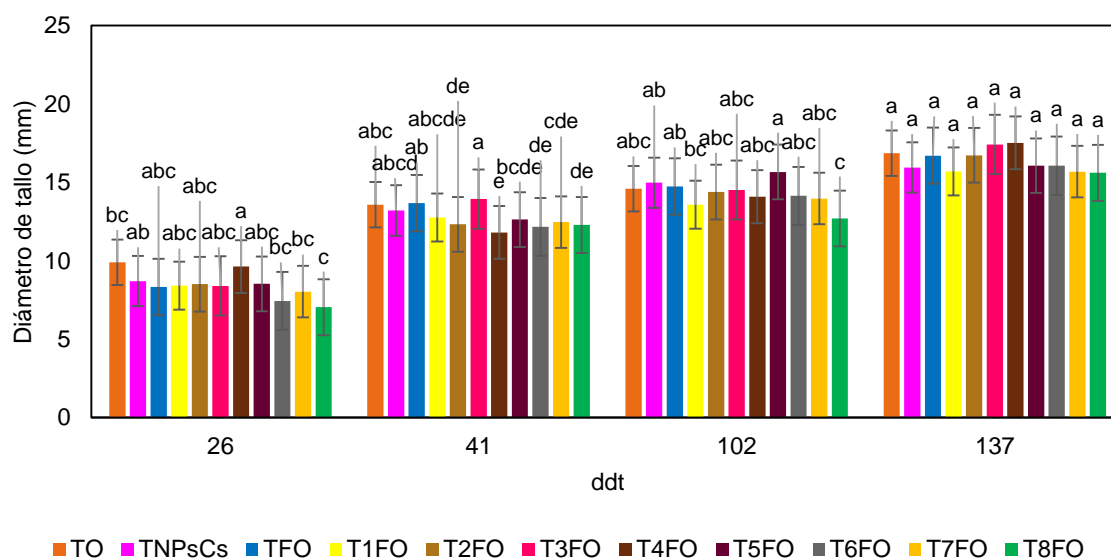


Figura 4. Diámetro de tallo de plantas de tomate infectadas con *Fusarium oxysporum*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.05$).

○ **Número de hojas**

En la Figura 5, se observan los resultados de la variable número de hojas, a los 26, 41, 102 y 137 ddt, encontrando diferencias significativas entre tratamientos. A los 26 ddt obtuvimos que el T7FO (Complejo de NPsCs-I con 5 mg L⁻¹ de yodato + FO) aumentó un 20% respecto al T6FO (Yodato de potasio 25 mg L⁻¹ + FO), a los 41 ddt el TFO (Testigo infectado con FO) aumentó un 14% respecto al T4FO (Complejo de NPsCs-I con 25 mg L⁻¹ de yoduro + FO), así mismo, en el tercer muestreo realizado a los 102 ddt se encontró que el TFO aumentó un 20% en comparación al T1FO (Yoduro de potasio 5 mg L⁻¹ + FO). El fenómeno observado en el TFO al presentar mayor número de hojas a los 41 y 102 ddt, posiblemente se debe a que el patógeno no logró colonizar a la planta en los tiempos observados, así como a la falta de condiciones para promover la propagación de la enfermedad como falta de labores culturales continuas (Srinivas *et al.*, 2019). En la última medición realizada 137 ddt el T6FO aumentó un 30% respecto al T2FO (Yoduro de potasio 25 mg L⁻¹ + FO).

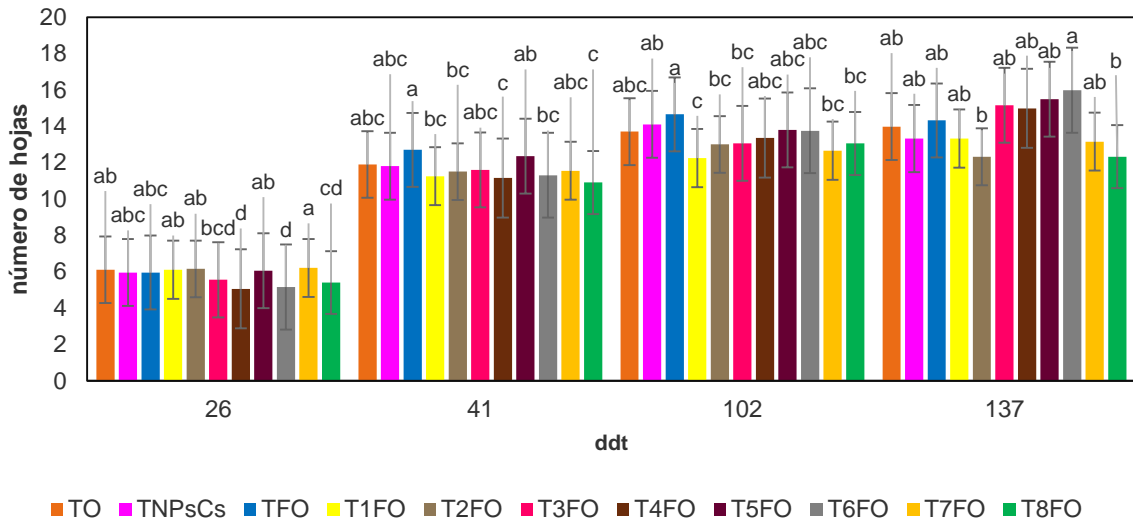


Figura 5. Número de hojas de las plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con *F. oxysporum*. *Fusarium oxysporum*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.05$).

- **Altura de planta**

En la Figura 6, se muestran los resultados de la altura de la planta tomando en cuenta 4 muestreos durante el ciclo del cultivo. A los 26 ddt, T5FO (Yodato de potasio 5 mg L⁻¹ + FO) mostró un mayor crecimiento del 33% respecto al T4FO (Complejo de NPsCs-I con 25 mg L⁻¹ de yoduro + FO). El T6FO (Yodato de potasio 25 mg L⁻¹ + FO) a los 41 ddt presentó un crecimiento del 50% mayor, respecto al T7FO (Complejo de NPsCs-I con 5 mg L⁻¹ de yodato + FO). En el tercer muestreo a los 102 ddt, el tratamiento con mayor crecimiento fue T4FO en comparación al tratamiento T1FO (Yoduro de potasio 5 mg L⁻¹ + FO) con un aumento del 18%. Finalmente, a los 137 ddt el T6FO aumentó un 29% más con respecto al T2FO (Yoduro de potasio 25 mg L⁻¹ + FO). Los resultados se asocian al impacto de la progresión de la enfermedad, en donde se redujo el crecimiento de la planta que es uno de los síntomas característicos de la marchitez vascular (Jaramillo Terán, 2018). Sin embargo, se observó que el yodo en forma de yodato en las concentraciones evaluadas (5 y 25 mg L⁻¹) disminuyó la enfermedad, al presentar un crecimiento óptimo, contrario a los demás tratamientos de acuerdo a lo que indica la literatura, al tener un efecto benéfico en aplicaciones exógenas del yoduro de potasio (Medrano-Macías et al., 2016).

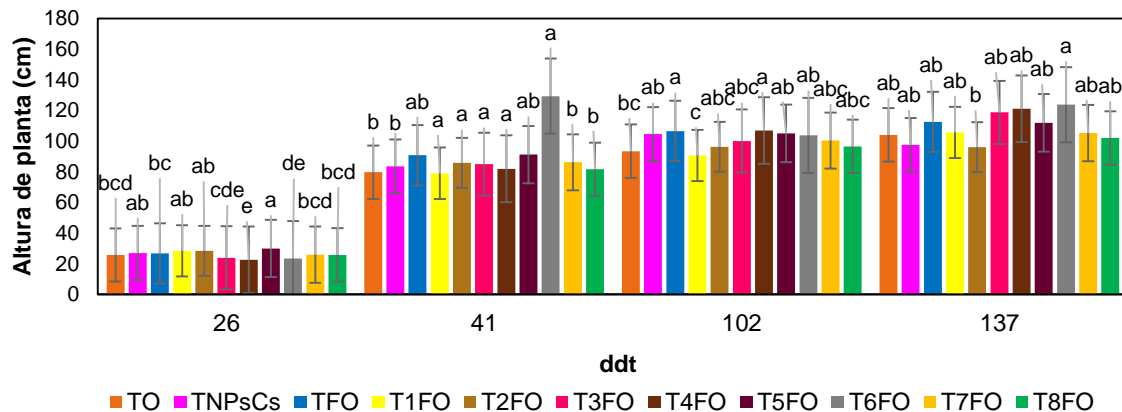


Figura 6. Resultados de la altura de las plantas. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.05$).

○ **Severidad de la enfermedad**

En la Figura 7, se observan los resultados de incidencia y severidad de plantas de tomate infectadas por FO, donde se muestra, que a los 41 ddt los tratamientos T1FO, T6FO, T7FO y T8FO, no presentaron diferencias significativas respecto al TO, que durante todo el ciclo del cultivo no presentó síntomas de daño por FO. Así mismo, en este muestreo los tratamientos T8FO y T6FO, presentaron mayor control de la enfermedad respecto al TFO. A los 102 ddt, no se observaron diferencias entre tratamientos, los cuales se encontraban en una escala de 3 que consistía en: hojas viejas con clorosis vascular y hojas jóvenes con crecimiento detenido (40%). Finalmente, al término del ciclo del cultivo (137 ddt) la progresión de la enfermedad en los tratamientos estaba en una escala del 2 y 1: Hojas viejas muertas y hojas jóvenes con crecimiento detenido (80%) y Hojas viejas cloróticas y hojas jóvenes con crecimiento detenido (60%), el tratamiento que presentó mayor severidad fue el T8FO, respecto al TFO. Se considera que no se presentó un control de la severidad de la enfermedad con los complejos de NPsCs-I aplicados a las plantas en la etapa final del cultivo (102 y 137 ddt) (Maluin y Hussein, 2020).

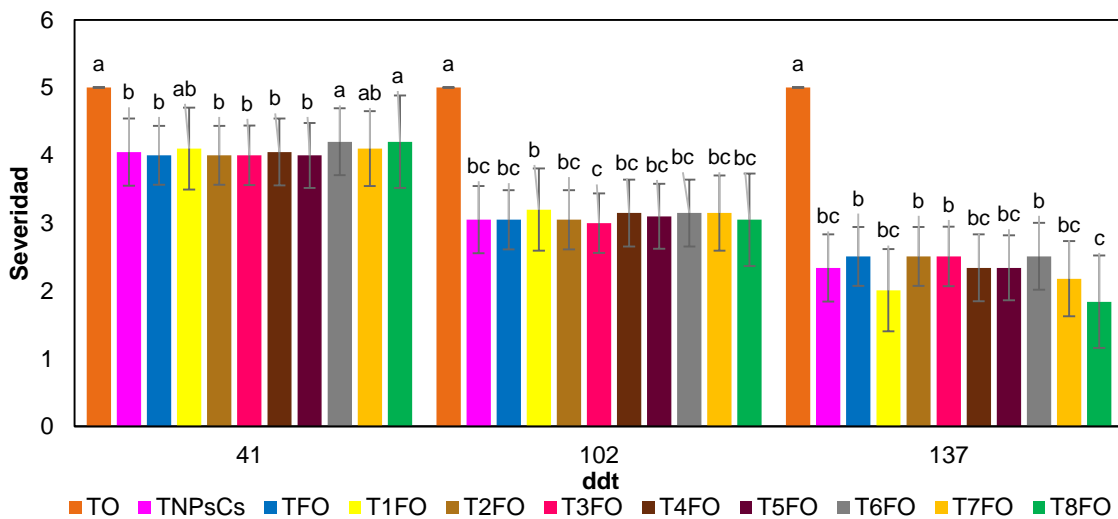


Figura 7. Resultados de severidad de *F. oxysporum* en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.05$).

- **Conductancia estomática**

En la Figura 8, se muestra los resultados de la conductancia estomática, en la cual no hubo diferencias significativas entre tratamientos a los 41 ddt, lo que podría estar asociado a la limitada progresión del patógeno en ese tiempo de evaluación. En cuanto, a los 113 ddt se observaron diferencias significativas entre tratamientos donde el T4FO presentó la menor conductancia estomática respecto al TNPcCs, evidenciando el efecto de nanoquitosán al actuar como bioestimulante reflejado en los resultados. Esta variable indica la apertura de los estomas de la planta y la transpiración, que puede verse afectada cuando el hongo *FO* obstruye lo tejidos vegetales (xilema y floema) generando un estrés hídrico, debido al cierre de estomas (Luna-Flores *et al.*, 2015).

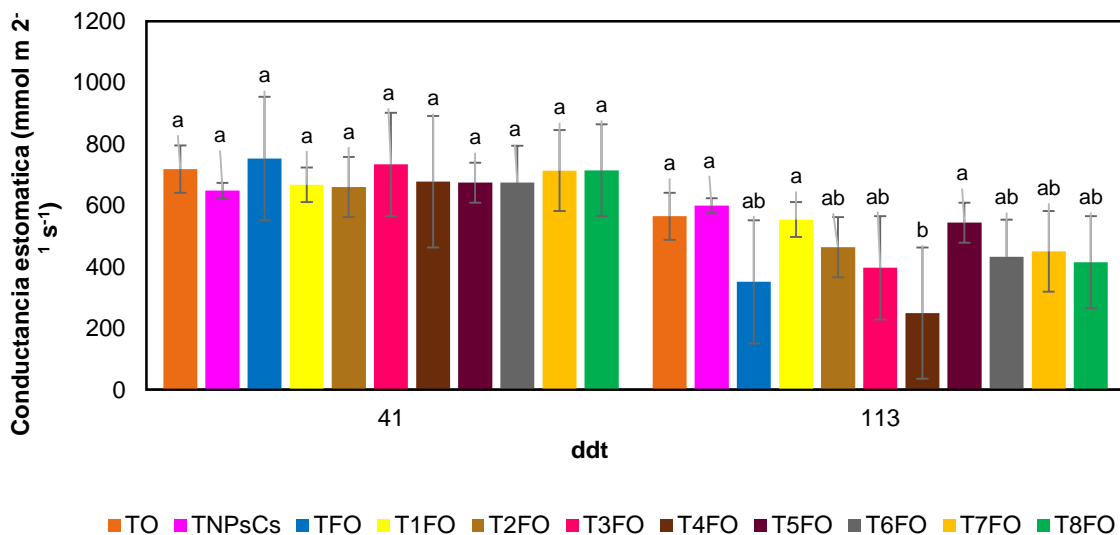


Figura 8. Conductancia estomática en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con *F. oxysporum*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.05$).

- **Rendimiento**

En la Figura 9, se observa que el TO (Testigo absoluto) presentó la mayor producción de frutos con un rendimiento de 1888.55 g planta⁻¹ así como, el mayor número de frutos por planta (Figura 10) con un total de 25 en 4 racimos de producción en ausencia de *FO*. Por otro lado, el bajo rendimiento y número de frutos observado con los complejos de NPsCs-I se puede asociar a la progresión de la enfermedad, debido a que las plantas inoculadas con (*FO*) no absorben la suficiente agua y tienen limitada translocación de nutrientes (SENASICA, 2019). Una vez infectada la planta puede morir antes de generar producción, sin embargo todos los tratamientos obtuvieron producción, esto se debe a que el quitosán y el yodo ayudan a las plantas a estimular su crecimiento, regular el suministro hídrico y promover resistencia contra patógenos (Reyes-Pérez *et al.*, 2019).

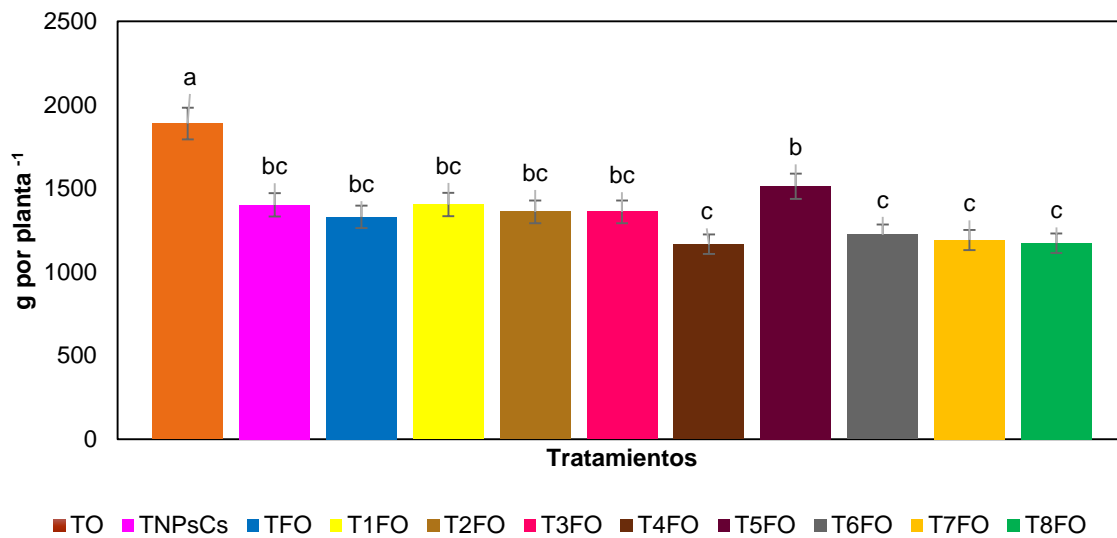


Figura 9. Rendimiento en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con *F. oxysporum*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.05$).

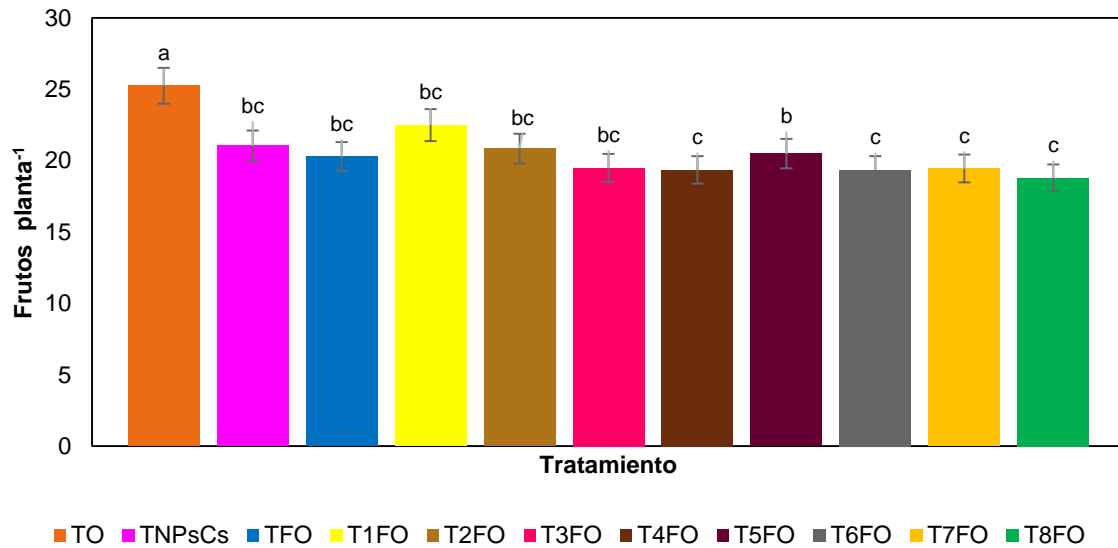


Figura 10. Número de frutos por planta al término del ciclo de cultivo en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con *F. oxysporum*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.05$).

- **Longitud de raíz**

En la Figura 11, se observan los resultados de longitud de raíz al término del ciclo de cultivo (130 ddt) donde se observa que el tratamiento T4 (Complejo de NPsCs-I con 25 mg L⁻¹ de yoduro + FO) incrementó un 45% su crecimiento respecto al TO, este fenómeno se puede asociar a al efecto promovido por el nanoquitosán, tal como lo indica Martínez-Alcántara y Quiñones, (2017), que muestran que este biopolímero tiene la capacidad de inducir una elongación radicular, que podría representar una respuesta al estrés causado por el FO.

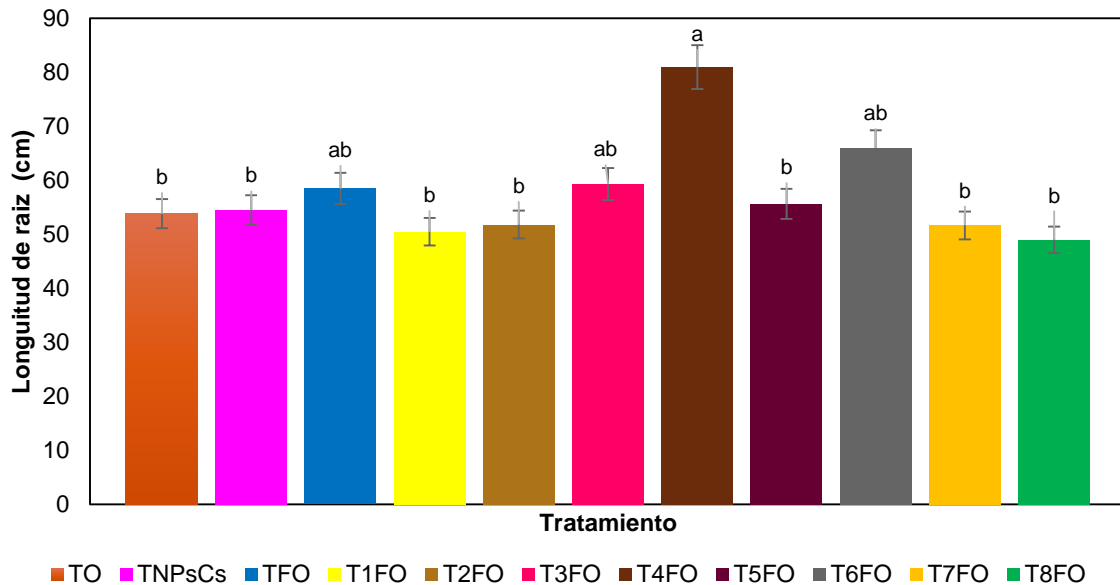


Figura 11. Longitud de raíz de plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con *F. oxysporum*. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.05$).

○ **Evaluación de biomasa**

En la Tabla 7, se puede observar la biomasa aérea donde se muestra que TO (Testigo absoluto) obtuvo un incremento del 50% en la biomasa fresca aérea respecto al T8FO (Complejo de NPsCs-I con 25 mg L⁻¹ de yodato + FO). Así mismo, se observó el mismo fenómeno en la biomasa seca donde el TO incremento el 84% en comparación T8. Esto se debe a que las plantas del TO no tenía presencia del patógeno que es responsable de causar reducción de parámetros de crecimientos como lo es la biomasa (García-Velasco *et al.*, 2020). En la Tabla 8, se muestra la biomasa fresca y seca de la raíz donde el TO (Testigo absoluto) presentó un 50% mayor con relación al T6 (Yodato de potasio 25 mg L⁻¹ + FO), mientras que, en la biomasa seca, el TO aumentó un 82% más que T6 (Yodato de potasio 25 mg L⁻¹ + FO). Finalmente, se puede confirmar que las plantas que no tenían el patógeno tenían mayor biomasa en la parte aérea y radicular, contrario a los tratamientos evaluados en presencia de FO que afecto el crecimiento de las plantas y sistema radicular (Arie, 2019).

Tabla 7. Biomasa de hojas y tallos en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con *F. oxysporum*.

Tratamiento	Biomasa fresca de la planta (g)	Biomasa seca de la planta (g)
TO	653.3 ^a	115.39 ^a
T1	474.63 ^{bc}	81.05 ^{abcd}
TNPsCs	454.13 ^{bc}	67.55 ^{cd}
T7	545.96 ^{abc}	77.55 ^{bcd}
T5	531.96 ^{abc}	84.55 ^{abcd}
T8	434.63 ^c	62.72 ^d
T3	568.13 ^{abc}	81.39 ^{abcd}
T4	613.63 ^{ab}	107.55 ^{ab}
T6	608.3 ^{ab}	101.89 ^{abc}
T2	535.8 ^{abc}	71.39 ^{bcd}
FO	586.13 ^{abc}	89.55 ^{abcd}

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.05$).

Tabla 8. Biomasa de la raíz en plantas de tomate tratadas con compuestos yodados e infectadas con *F. oxysporum*.

Tratamiento	Biomasa fresca de la raíz(g)	Biomasa seca de la raíz (g)
TO	279.45 ^a	105.76 ^a
T1	127.12 ^{bc}	48.93 ^b
NPsCs	115.79 ^{bc}	34.09 ^b
T7	107.29 ^c	36.26 ^b
T5	106.95 ^c	38.09 ^b
T8	119.12 ^{bc}	38.93 ^b
T3	141.62 ^{bc}	53.09 ^b
T4	122.12 ^{bc}	47.09 ^b
T6	186.12 ^b	58.09 ^b
T2	114.29 ^{bc}	33.26 ^b
FO	138.12 ^{bc}	48.59 ^b

Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD, $p \leq 0.05$).

CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se concluye que la aplicación foliar de Yodato de potasio 25 mg L^{-1} + FO y del Complejo de NPsCs-I con 5 mg L^{-1} de yoduro + FO mostró un mayor desarrollo en la altura de planta respecto al testigo absoluto. La aplicación del Complejo de NPsCs-I con 25 mg L^{-1} de yodato + FO disminuyó la severidad de la enfermedad comparado con las plantas infectadas con FO. La aplicación del Complejo de NPsCs-I con 5 mg L^{-1} de yoduro + FO presentó mayor longitud de raíz a comparación del testigo absoluto. Los anterior da la pauta para seguir explorando diversas concentraciones de los complejos con la finalidad de potencializar los efectos de bioestimulación de la aplicación de las NPsCs-I en plantas de tomate infectadas con *Fusarium oxysporum*.

REFERENCIAS

- Abdalla Bardisi Ahmad, E. (2016). Implicación de las giberelinas y el metabolismo del nitrógeno en la respuesta al estrés salino en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.,).
- Agrawal, N., Frederick, M. J., Pickering, C. R., Bettegowda, C., Chang, K., Li, R. J., ... & Myers, J. N. (2011). Exome sequencing of head and neck squamous cell carcinoma reveals inactivating mutations in NOTCH1. *Science*, 333(6046), 1154-1157.
- Amini, J., & Sidovich, D. (2010). The effects of fungicides on *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* associated with *Fusarium* wilt of tomato. *Journal of plant protection research*.
- Arévalo, T. C. (2021). Incidencia y severidad de Mal de Panamá (*Fusarium* Sp) en Guineo (*Musa balbisiana* ABB). *Ciencia e Interculturalidad*, 29(02), 152-165.
- Argotti Valencia, E. E. (2016). Funciones fisiológicas de la detoxificación del óxido nítrico en *Fusarium oxysporum* f. sp. phaseoli: El papel de las flavohemoglobinas Eduardo Enrique Argotti Valencia 2016.
- Arie, T. (2019). *Fusarium* diseases of cultivated plants, control, diagnosis, and molecular and genetic studies. *Journal of pesticide science*, 44(4), 275-281.
- Ascencio-Álvarez, A., López-Benítez, A., Borrego-Escalante, F., Rodríguez-Herrera, S. A., Flores-Olivas, A., Jiménez-Díaz, F., y Gámez-Vázquez, A. J. (2008). Marchitez vascular del tomate: I. Presencia de razas de *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* (Sacc.) Snyder y Hansen en Culiacán, Sinaloa, México. *Revista mexicana de fitopatología*, 26(2), 114-120.
- Ayvar-Serna, S., Díaz-Nájera, J. F., Vargas-Hernández, M., Enciso-Maldonado, G. A., Alvarado-Gómez, O. G., & Ortiz-Martínez, A. I. (2021). Actividad antifúngica de pesticidas biológicos, botánicos y químicos sobre el agente causal de la marchitez vascular del jitomate. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 44(4), 617-617

- Benazzouk, S., Dobrev, P. I., Djazouli, Z. E., Motyka, V., y Lutts, S. (2020). Positive impact of vermicompost leachate on salt stress resistance in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) at the seedling stage: A phytohormonal approach. *Plant and Soil*, 446, 145-162.
- Caballero Hernández, A. J. (2011). Uso de hongos endofíticos de *Trichoderma* spp. para el biocontrol del mal de Panamá (*Fusarium oxisporum* f. sp. *cubense*) raza tropical 1 en vitroplantas del cultivar gros michel (AAA).
- Camarero, J. J., Lloret, F., Corcuera, L., Peñuelas, J., y Gil-Peigrín, E. (2004). Cambio global y decaimiento del bosque. Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante, 397-423.
- Campos-Salas, R. A., & Arguedas-Gutiérrez, C. (2017). Crecimiento, producción y extracción nutricional en los cultivos protegidos de chile dulce (*Capsicum annum* L.) y tomate (*Solanum lycopersicum* L.) utilizando dos soluciones nutritivas en Santa Clara, San Carlos, Costa Rica.
- Candéo, M. (2020). Cobertura comestível à base de PVA para conservação de tomates.
- Castellanos, J. Z. (2009). *Manual de producción de tomate en invernadero* (No. 635.64283 M3).
- Dávila-Delgado, R., Gómez-Méndez, M. F., Vera-Estrella, R., & Sánchez-López, R. (2019). Endocytosis en plantas (parte I): inducida por factores abióticos, bióticos y hormonas. *Revista de Educación Bioquímica*, 38(1), 14-22.
- Divya, K., & Jisha, M. S. (2018). Chitosan nanoparticles preparation and applications. *Environmental chemistry letters*, 16, 101-112.
- Du Jardin, P. (2015). Plant biostimulants: Definition, concept, main categories and regulation. *Scientia horticultrae*, 196, 3-14.
- Elorinne, A. L., Alfthan, G., Erlund, I., Kivimäki, H., Paju, A., Salminen, I., y Laakso, J. (2016). Food and nutrient intake and nutritional status of Finnish vegans and non-vegetarians. *PloS one*, 11(2), e0148235.
- Ferri, E. F. R., Sáez, A. C., Rodríguez, L. J. D., Esteban, M. M., Fernández, A. R. M., & Suárez, V. M. (2009). Informe del Comité Científico de la Agencia Española de

Seguridad Alimentaria y Nutrición (AESAN) sobre la incidencia de la eliminación del pescado o partes del mismo en relación con la reducción de la prevalencia de la anisakiosis humana. *Revista del Comité Científico de la AESAN*, (10), 19-26.

Gally, T., González, B. A., & Pantuso, F. (2006). Efecto conjunto de *Fusarium* sp. y *Phomopsis* sp., patógenos transmitidos por las semillas en plántulas de soja [*Glycine max* (L.) Merrill]. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 24(2), 156-158.

Gayosso-Rodríguez, S., Borges-Gómez, L., Villanueva-Couoh, E., Estrada-Botello, M. A., & Garruña, R. (2018). Caracterización física y química de materiales orgánicos para sustratos agrícolas. *Agrociencia*, 52(4), 639-652.

Giraldo-Jaramillo, M. (2020). Control natural factores abióticos. Cenicafé.

González-Díaz, J. G., García-Velasco, R., Camacho-Cerón, G., & Nieto-Ángel, D. (2011). Cancrosis en ramas de *Salix bonplandiana* Kunth causada por *Alternaria tenuissima* (Kunze ex Pers.) Wiltshire. *Agrociencia*, 45(1), 75-86.

Gordon, T. R. (2017). *Fusarium oxysporum* and the *Fusarium* wilt syndrome. *Annual review of phytopathology*, 55, 23-39.

Gupta, A., Afrin, T., Scully, E., y Yodo, N. (2021). Advances of UAVs toward future transportation: The state-of-the-art, challenges, and opportunities. *Future transportation*, 1(2), 326-350.

Huang, K. S., Sheu, Y. R., & Chao, I. C. (2009). Preparation and properties of nanochitosan. *Polymer-Plastics Technology and Engineering*, 48(12), 1239-1243.

Salehi, B., Sharifi-Rad, R., Sharopov, F., Namiesnik, J., Roointan, A., Kamle, M., y Sharifi-Rad, J. (2019). Beneficial effects and potential risks of tomato consumption for human health: An overview. *Nutrition*, 62, 201-208.

SIAP, 2021. Cierre de la producción agrícola. <https://www.gob.mx/siap>

Illum, L., Jabbal-Gill, I., Hinchcliffe, M., Fisher, A. N., y Davis, S. S. (2001). Chitosan as a novel nasal delivery system for vaccines. *Advanced drug delivery reviews*, 51(1-3), 81-96.

- Jaramillo, N. I. T. Reconocimiento y control de plagas y enfermedades de mayor importancia económica en *Persea americana* Mill: Revisión sistemática Recognition and control of pests and diseases of greater economic importance in *Persea americana* Mill: A systematic review.
- Kalagatur, N. K., Nirmal Ghosh, O. S., Sundararaj, N., y Mudili, V. (2018). Antifungal activity of chitosan nanoparticles encapsulated with *Cymbopogon martinii* essential oil on plant pathogenic fungi *Fusarium graminearum*. *Frontiers in pharmacology*, 9, 610.
- Kawalekar, J. S. (2013). Role of biofertilizers and biopesticides for sustainable agriculture. *J Bio Innov*, 2(3), 73-78.
- Kelly, C. R., Kahn, S., Kashyap, P., Laine, L., Rubin, D., Atreja, A., y Wu, G. (2015). Update on fecal microbiota transplantation 2015: indications, methodologies, mechanisms, and outlook. *Gastroenterology*, 149(1), 223-237.
- Khurshid, S., Shoaib, A., Javaid, A., y Qaisar, U. (2016). Fungicidal potential of allelopathic weed *Cenchrus pennisetiformis* on growth of *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* under chromium stress. *Planta Daninha*, 34, 453-463.
- Kiferle, C., Martinelli, M., Salzano, A. M., Gonzali, S., Beltrami, S., Salvadori, P. A., ... & Perata, P. (2021). Evidences for a nutritional role of iodine in plants. *Frontiers in plant science*, 12, 616868.
- Kumar, V., Chaudhary, N., Garg, M., Floudas, C. S., Soni, P., y Chandra, A. B. (2017). Current diagnosis and management of immune related adverse events (irAEs) induced by immune checkpoint inhibitor therapy. *Frontiers in pharmacology*, 8, 49.
- Lara-Capistrán, L., Hernández-Montiel, L. G., Reyes-Pérez, J. J., Preciado Rangel, P., y Zulueta-Rodríguez, R. (2019). Respuesta agronómica de *Phaseolus vulgaris* a la biofertilización en campo. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(5), 1035-1046.
- Lindarte, J. C. C., Perea, C. G. M., García, M. A., y Dávila, J. C. M. F. 2. Efecto de *Fusarium oxysporum* Schldl., en la extracción de nutrientes en plantas de Ají (*Capsicum frutescens* L.) tipo tabasco Var. Amazon. *Extracción y distribución de nutrientes en*

Ají (Capsicum frutescens L.) tipo tabasco Var. Amazon y su relación con la presencia de Fusarium oxysporum Schltld., 29.

Luna-Flores, W., Estrada-Medina, H., Morales-Maldonado, E., y Rivera, O. Á. (2015). Estrés por déficit hídrico en plantas: una revisión. *Chilean Journal of Agricultural and Animal Sciences*, 31(1), 61-69.

Malerba, M., & Cerana, R. (2016). Chitosan effects on plant systems. *International journal of molecular sciences*, 17(7), 996.

Maluin, F. N., Hussein, M. Z., y Idris, A. S. (2020). An overview of the oil palm industry: Challenges and some emerging opportunities for nanotechnology development. *Agronomy*, 10(3), 356.

Manikandan, A., y Sathiyabama, M. (2016). Preparation of chitosan nanoparticles and its effect on detached rice leaves infected with *Pyricularia grisea*. *International journal of biological macromolecules*, 84, 58-61.

Martínez Jasso, I., y Villezca Becerra, P. A. (2005). La alimentación en México: un estudio a partir de la encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares y de las hojas de balance alimenticio de la FAO. *Ciencia UANL*, 8(2).

Martínez-Alcántara, B., y Quinones, A. (2017). Principales bioestimulantes y efectos en el cultivo de los cítricos. *Vida rural*, (436), 56-60.

McGovern, R. J. (2015). Management of tomato diseases caused by *Fusarium oxysporum*. *Crop protection*, 73, 78-92.

Medrano-Macías, J., Leija-Martínez, P., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A., y Benavides-Mendoza, A. (2016). Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1146.

Mhatre, P. H., Karthik, C., Kadirvelu, K., Divya, K. L., Venkatasalam, E. P., Srinivasan, S., and Shanmuganathan, R. (2019). Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR): A potential alternative tool for nematodes bio-control. *Biocatalysis and agricultural biotechnology*, 17, 119-128.

- Miller, P. (1788). Dictionnaire des jardiniers, contenant les méthodes les plus sûres et les plus modernes pour cultiver et améliorer les jardins potagers, à fruits, à fleurs et les pépinières... et dans lequel on donne des préceptes pour multiplier et faire prospérer tous les objets soumis à l'agriculture... Ouvrage traduit de l'anglois, sur la 8e édition de Philippe Miller par une société de gens de lettres.. (Vol. 7). chez Guillot.
- Momol, T., Ji, P., Pernezny, K., McGovern, R., y Olson, S. (2008). Three soilborne tomato diseases caused by *Ralstonia* and *Fusarium* species and their field diagnostics. *Plant Pathology Department, Florida Cooperative Extension Service, University of Florida/IFAS, EDIS Extension Published Fact Sheet PP-205*.(Consultado: 2 mar 2008). Disponible en: <http://www.edis.ifas.ufl.edu>.
- Nares-Cisneros, J., Jaramillo-Rodríguez, Y., Martínez-Ordaz, V. A., Velasco-Rodríguez, V. M., Madero, A., Mena-Arias, G., & Manriquez-Covarrubias, L. (2007). Immunochromatographic monoclonal test for detection of *Helicobacter pylori* antigen in stool is useful in children from high-prevalence developing country. *Helicobacter*, 12(4), 354-358.
- Padilla-Vaca, F., Mendoza-Macías, C. L., Franco, B., Anaya-Velázquez, F., Ponce-Noyola, P., & Flores-Martínez, A. (2018). El mundo micro en el mundo nano: importancia y desarrollo de nanomateriales para el combate de las enfermedades causadas por bacterias, protozoarios y hongos. *Mundo nano. Revista interdisciplinaria en nanociencias y nanotecnología*, 11(21), 15-28.
- Pedone, C., & Gil Araujo, S. (2008). Maternidades transnacionales entre América Latina y el Estado español. El impacto de las políticas migratorias en las estrategias de reagrupación familiar. *Nuevos retos del transnacionalismo en el estudio de las migraciones*, 149-176.
- Peralta, D., Mena, J. P., & Grefa, V. Caracterización del cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum*) y pimiento (*Capsicum annuum*) bajo condiciones controladas REVIEW.
- Pérez Espinoza, H. A., Chávez Morales, J., Carrillo Flores, G., Rodríguez Mendoza, M. D. L. N., y Ascencio Hernández, R. (2017). Foliar fertilization on yield and quality of

tomato in hydroponics under greenhouse. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 333-343.

Perez Sanchez, R. P. (2018). Dosis de trihormona orgánica con micronutrientes (Auxicrop) en el rendimiento de un ecotipo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en el distrito de Lamas—región San Martín.

Quinto Mosquera, H., Rivas Urrutia, Y., y Moreno Hurtado, F. (2017). Efectos de la fertilización del suelo sobre el crecimiento arbóreo en bosques pluviales tropicales del Chocó, Colombia. *Revista de Biología Tropical*, 65(3), 1161-1173.

Rodríguez, V. P., Aguilar, P. A., y Jaramillo Noreña, J. E. (2013). Factores climáticos y su influencia en la producción de tomate.

Rojas Orduña, E. F. (2022). Valorización de un subproducto del procesamiento de café arabica variedad caturra rojo y amarillo: caracterización proximal, extracción de carotenoides y aplicación en un alimento funcional.

Saharan, V., Mehrotra, A., Khatik, R., Rawal, P., Sharma, S. S., y Pal, A. (2013). Synthesis of chitosan based nanoparticles and their *in vitro* evaluation against phytopathogenic fungi. *International journal of biological macromolecules*, 62, 677-683.

Saharan, V., Mehrotra, A., Khatik, R., Rawal, P., Sharma, S. S., y Pal, A. (2013). Synthesis of chitosan based nanoparticles and their *in vitro* evaluation against phytopathogenic fungi. *International journal of biological macromolecules*, 62, 677-683.

Sánchez León, G. D., Rodríguez, V. P., Aguilar, P. A., Zapata Cuartas, M. Á., Guzmán Arroyave, M., & Jaramillo Noreña, J. E. (2009). Generalidades del cultivo.

Sathiyabama, M., y Manikandan, A. (2016). Chitosan nanoparticle induced defense responses in finger millet plants against blast disease caused by *Pyricularia grisea* (Cke.) Sacc. *Carbohydrate polymers*, 154, 241-246.

Smith, J. M., Van Ness, H. C., Abbott, M. M., y García, C. R. (2007). *Introducción a la termodinámica en ingeniería química* (No. 660.296 9 S724i 2003.). McGraw-Hill.

- Srinivas, C., Devi, D. N., Murthy, K. N., Mohan, C. D., Lakshmeesha, T. R., Singh, B., y Srivastava, R. K. (2019). *Fusarium oxysporum* f. sp. *lycopersici* causal agent of vascular wilt disease of tomato: Biology to diversity—A review. *Saudi journal of biological sciences*, 26(7), 1315-1324.
- Tanveer, M., Shahzad, B., Sharma, A., Biju, S., & Bhardwaj, R. (2018). 24-Epibrassinolide; an active brassinolide and its role in salt stress tolerance in plants: A review. *Plant Physiology and Biochemistry*, 130, 69-79.
- Terrones-Salgado, J., Nieto-Angel, D., Nava-Díaz, C., Téliz-Ortiz, D., García-Velasco, R., Vallejo-Pérez, M. R., & Sánchez-García, P. (2019). *Botrytis cinerea* causante del moho gris en frutos de zarzamora en México. *Revista mexicana de fitopatología*, 37(3), 365-382.
- Trompeta, A. F. A., Koumoulos, E. P., Stavropoulos, S. G., Velmachos, T. G., Psarras, G. C., & Charitidis, C. A. (2019). Assessing the critical multifunctionality threshold for optimal electrical, thermal, and nanomechanical properties of carbon nanotubes/epoxy nanocomposites for aerospace applications. *Aerospace*, 6(1), 7.
- Turrent-Fernández, A., Cortés-Flores, J. I., Espinosa-Calderón, A., Turrent-Thompson, C., & Mejía-Andrade, H. (2016). Cambio climático y algunas estrategias agrícolas para fortalecer la seguridad alimentaria de México. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(7), 1727-1739.
- You, M., Chen, C., Xu, L., Mou, F., y Guan, J. (2018). Intelligent micro/nanomotors with taxis. *Accounts of chemical research*, 51(12), 3006-3014.
- Waliszewski, K. N., y Blasco, G. (2010). Propiedades nutraceuticas del licopeno. *salud pública de méxico*, 52(3), 254-265.

