

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**  
**DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS**  
**DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN AGROPECUARIA**



Título

Efecto Bioestimulante de Complejos de Nanopartículas de Quitosán Yodados en Frutos de  
Tomate

Por:

RUBÉN AMARO BARRANCO

TESIS

Presentada como Requisito Parcial para obtener el Título de:

INGENIERO AGRÓNOMO ADMINISTRADOR

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2023

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
DIVISIÓN DE CIENCIAS SOCIOECONÓMICAS  
DEPARTAMENTO DE ADMINISTRACIÓN AGROPECUARIA

Efecto Bioestimulante de Complejos de Nanopartículas de Quitosán Yodados en Frutos de  
Tomate

Por:

**RUBÉN AMARO BARRANCO**

TESIS

Que se somete a la consideración del H. jurado Examinador como requisito para obtener el  
título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO ADMINISTRADOR**

Aprobada por


Dr. Adalberto Benavides Mendoza  
Asesor Principal Interno

  
Dra. Susana Gonzáles Morales

Coasesor

  
Dra. Hortensia Ortega Ortiz

Coasesor

  
M.C. Rafael de la Rosa González

Coordinador Interino de la División de Ciencias Socioeconómicas

Saltillo, Coahuila, México

Junio 2023

## DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

DECLARO QUE:

La presente investigación titulada **“Efecto Bioestimulante de Complejos de Nanopartículas de Qitosán Yodados en Frutos de Tomate”** es una elaboración propia, sin contener de forma total o parcial citas, imágenes, tesis, artículos y otras obras sin tener cita referida, donde señale su autor.

Estando consiente que, en caso de cometer plagio, será objeto de sanción por medio del Comité Editorial y/o legales, así mismo como el derecho de no aprobación de la misma.

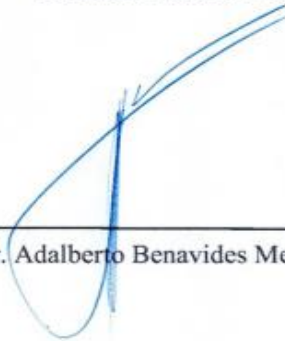
ALUMNO



---

Rubén Amaro Barranco

ASESOR PRINCIPAL



---

Dr. Adalberto Benavides Mendoza

## AGRADECIMIENTOS

Quiero compartir este momento tan especial para mí, ya que es el resultado de un gran trabajo que contiene emociones, sentimientos y acciones, expresando mi más sincero agradecimiento.

A **Dios**, por darme la bendición de la vida, la salud y los conocimientos para poder terminar mis estudios, por guiarme en el camino del bien, cuidarme, ayudarme a mantener la fe, darme una familia unida y nunca dejarme solo.

A mis padres **Rubén Amaro Riofrío** y **Ma. Azucena Barranco Flores**, por darme la fortaleza de seguir adelante, cederme la seguridad y confianza en cada uno de los pasos que doy y enseñarme el valor del amor y la amistad verdadera.

A mi **Alma Mater** por abrirme las puertas de esta importante institución, por el apoyo brindado durante estos años de mi formación profesional y regalarme una gran familia integrada de amigos (as) y maestros (as) que me acompañaron en este trayecto.

A la **M.C. Luz Leticia Rivera Solís**, gracias por estar día a día apoyándome, por su paciencia para guiarme a través de cada una de las etapas de este proyecto culminado y compartir parte de sus conocimientos.

A la **Dra. Venecia**, por aconsejarme, por sus pláticas en cada una de las tutorías y por su dedicación en mi formación.

A **J. Carlos, Alejandra, Larry, Daniela** la **Ing. Estela**, por el apoyo incondicional de su tiempo en la realización del proyecto.

A mis amigos: **Estela, Esperanza, Rubén, J. Carlos (Pan), Alejandra (Chabela), Larry, Patricia, Magdalena, Hosanna y Daniela**, por permitirme entrar a sus vidas y forjar una amistad dentro de la Narro quien sin saber quién era, un buen día decidieron que formara parte de ustedes, gracias por estar presentes en momentos importantes, por sus consejos, locuras y demostrarme la sinceridad en sus palabras.

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.

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

## DEDICATORIA

**Rubén Amaro Riofrío**, no hay palabras para expresar lo agradecido que estoy contigo, papá, eres mi mejor amigo y ejemplo de superación, gracias por estar presente en cada logro y derrota de mi vida, no tienes idea de la fuerza alentadora que has sido hasta este momento, eres el pensamiento que me da fuerza mental, el que siempre estás ahí para apoyarme en cualquier situación que se presente, tu dedicación y sacrificio son las razones por las que tengo una vida tan maravillosa, te amo.

A mi mamá **Ma. Azucena Barranco Flores**, gracias por ser la mejor y darme el amor tan transparente y sincero que puedo sentir con solo una palabra o un gran abrazo, agradezco la bendición que me das cada que voy a salir de mi casa para aventurarme en un nuevo viaje, en las noches solo espero un mensaje tuyo para que me des las buenas noches y que me recuerdes lo mucho que me quieres, eres tan importante en mi vida, eres la única persona que tiene la magnitud de detener el tiempo cuando estoy contigo y que se me olviden mis problemas con solo escucharte. Soy tan afortunado al ver una linda sonrisa en tu rostro y darme cuenta de que no me hace falta nada en esta vida, el amor que siento por ti va más allá de mí ser. Te amo Mery.

**Salu**, gracias por darme la oportunidad de dejarme crecer con tus abrazos y palabras llenas de amor, por esas comidas tan ricas que me haces para consentirme cada que voy al pueblo. Me inspira ver como día a día te levantas muy temprano sin quejarte de algún cansancio, eres ese amor tan puro con el que siempre me quiero quedar abuela. Te amo infinitamente abuela.

**Álvarito**, no sabes cuánto daría porque en estos momentos estuvieras con nosotros, no importa que solo estuvieras de enojón, extraño tanto escucharte al llegar del campo en tu tractor o en tu palomo, recuerdo cuando me dijiste “Bebé y cuando ya seas Ingeniero”, se llegó ese día abuelo. Soy fiel creyente de que aún sigues cuidando de nosotros, tú fuiste mi inspiración. Eres mi ángel al que tanto quiero.

Quiero dedicar y agradecer a mis hermanos **Benjamín, Guadalupe, Tzoali y Sandra**, por ser parte fundamental de mi vida, sin su complicidad y risas mi vida sería un poco aburrida, les pido jamás suelten de mi mano, el amor que siento por ustedes es inexplicable. Gracias por ser mi apoyo fundamental, espero que este logro que hoy alcanzamos juntos nos permita seguir avanzando firmemente con la bendición de Dios, los amo.

A **Miranda y Mía**, quiero decirles que me dan las fuerzas necesarias para seguir adelante gracias al amor que me dan, ustedes son lo que no sabía que necesitaba y ahora lo tengo claro que son mi más grande aventura. Le agradezco a sus mamás por traerlas a mí vida, mi tía **Berenice** y mi cuñada **Yeimi** por brindarme la dicha de ser padrino y tío. A mi tía Berenice quiero agradecer por segunda ocasión, por el cariño, apoyo, ser un gran ejemplo de mujer y por los primos tan increíbles que me dio, **Alejandro y Didier**.

# ÍNDICE GENERAL

<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>I</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>II</b>
<b>ÍNDICE GENERAL</b> .....	<b>III</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>VII</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>IX</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos .....	3
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>3</b>
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
Yodo .....	4
<input type="checkbox"/> Yodo en la naturaleza .....	4
<input type="checkbox"/> Fuentes químicas de yodo .....	4
Importancia del yodo en la dieta humana .....	5
<input type="checkbox"/> Hormona tiroidea .....	5
<input type="checkbox"/> Metabolismo .....	5
<input type="checkbox"/> Anticancerígeno .....	5
Deficiencia de yodo en la dieta .....	6
<input type="checkbox"/> Trastornos por déficit de yodo (TDY) .....	6
Fuentes de yodo .....	7
<input type="checkbox"/> Elemento benéfico para plantas .....	7
Biofortificación de cultivos .....	8

Bioestimulantes.....	8
Categorías de bioestimulantes: .....	9
<input type="checkbox"/> Ácidos húmicos y fúlvicos .....	9
<input type="checkbox"/> Hidrolizados de proteínas .....	9
<input type="checkbox"/> Extractos de algas y botánicos.....	9
<input type="checkbox"/> Quitosán y otros biopolímeros,.....	10
<input type="checkbox"/> Compuestos inorgánicos.....	10
<input type="checkbox"/> Hongos benéficos, .....	10
<input type="checkbox"/> Bacterias benéficas .....	10
Quitosán .....	10
Nanopartículas de quitosán.....	11
Generalidades de tomate.....	12
Valor nutricional .....	13
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>15</b>
Ubicación del experimento .....	15
Climatología del lugar .....	15
Descripción del experimento .....	15
<input type="checkbox"/> Etapa 1. Germinación .....	15
<input type="checkbox"/> Etapa 2. Trasplante .....	16
<input type="checkbox"/> Etapa 3. Aplicación de tratamientos .....	17
<input type="checkbox"/> Etapa 4. Manejo agronómico.....	18
<input type="checkbox"/> Nutrición.....	21
Evaluación de variables agronómicas.....	21
<input type="checkbox"/> Diámetro de tallo .....	21
<input type="checkbox"/> Altura de la planta.....	22
<input type="checkbox"/> Número de hojas.....	22
<input type="checkbox"/> Conductancia estomática .....	23
<input type="checkbox"/> Rendimiento .....	23
<input type="checkbox"/> Longitud de raíz.....	24
<input type="checkbox"/> Medición de biomasa.....	24
<input type="checkbox"/> Análisis estadístico de datos .....	24
<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>25</b>

<input type="checkbox"/> Diámetro de tallo .....	25
<input type="checkbox"/> Altura de planta .....	26
<input type="checkbox"/> Número de hojas .....	27
<input type="checkbox"/> Conductancia estomática .....	28
<input type="checkbox"/> Rendimiento .....	29
<input type="checkbox"/> Medición de biomasa vegetativa aérea .....	31
<input type="checkbox"/> Longitud radicular .....	32
<input type="checkbox"/> Biomasa radicular .....	33
<b>CONCLUSIÓN .....</b>	<b>34</b>
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>35</b>



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Morfología de planta y fruto de tomate. ....	14
<b>Figura 2.</b> A) Siembra del material vegetal del CidF1 de la casa comercial Harris Moran y B) Germinación de semillas en invernadero.....	16
<b>Figura 3.</b> A) Llenado de bolsas con sustrato y B) Establecimiento del cultivo (trasplante). .....	16
<b>Figura 4.</b> Esquema del desarrollo del cultivo de tomate con aplicación de NPsCs-I.....	18
<b>Figura 5.</b> A) Clip de inicio, B) Tutoreo, C) Deshoje de planta, D) Enreda y desbrote manual, E) Medición de temperatura y humedad relativa con el Higrómetro. ....	20
<b>Figura 6.</b> Medición de diámetro de tallo con vernier .....	21
<b>Figura 7.</b> Medición de altura con Flexómetro de la marca truper. ....	22
<b>Figura 8.</b> Conteo manual de hojas. ....	22
<b>Figura 9.</b> Evaluación de conductancia estomática con porómetro (marca DECAGON DEVICES, INC). ....	23
<b>Figura 10.</b> Cosecha de tomate. ....	23
<b>Figura 11.</b> Diámetro de tallo a los 20, 40, 60, 80 y 120 ddt en plantas de tomate tratadas con NPsCs-I.....	25
<b>Figura 12.</b> Altura de planta a los 20, 40, 60 y 120 ddt en plantas de tomate con la aplicación de NPsCs-I. ....	26
<b>Figura 13.</b> Número de hojas a los 20, 40, 60, 80 y 120 ddt en plantas de tomate con la aplicación de NPsCs-I. ....	27
<b>Figura 14.</b> Conductancia estomática con porómetro en plantas de tomate.. ....	28
<b>Figura 15.</b> Rendimiento de tomate en $g\ planta^{-1}$ de tomate con aplicaciones de NPsCs-I..	29
<b>Figura 16.</b> Número de frutos de tomate obtenidos con la aplicación de NPsCs-I.....	30

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Ingesta de yodo diaria recomendada por la OMS (2015).....	6
Tabla 2. Clasificación taxonómica de tomate.....	12
Tabla 3. Superficie sembrada y cosechada por los principales 10 estados en México.....	13
Tabla 4. Tratamientos aplicados.....	17
Tabla 5. Promedio de temperatura y humedad relativa.....	19
Tabla 6. Concentración Steiner en diferentes etapas del desarrollo del cultivo de tomate..	21
Tabla 7. Biomasa vegetativa aérea fresca y seca (tallos y hojas)..	31
Tabla 8. Longitud radicular en cm planta <sup>-1</sup> .....	32
Tabla 9. Biomasa radicular fresca y seca (g planta <sup>-1</sup> ).....	33

## RESUMEN

A nivel mundial, se ha registrado una escasez nutricional en la dieta diaria, encontrando deficiencia de yodo (I), selenio (Se), zinc (Zn), vitamina A y B9. Así mismo se ha registrado una alta incidencia de trastornos por deficiencia de I (TDY) causando en la población bocio, cretinismo e hipotiroidismo. Una estrategia para prevenir los TDY es la biofortificación de cultivos para incrementar la concentración de nutrientes en frutos de consumo habitual. El tomate es una hortaliza que contiene, vitamina C, K y licopeno responsables de prevenir enfermedades crónico degenerativas, además, se consume y produce ampliamente a nivel nacional. Por ello se planteó el objetivo de biofortificar con complejos de nanopartículas de quitosán yodados (NPsCs-I), soluciones de yoduro de potasio (KI) y yodato de potasio (KI O<sub>3</sub>) en concentraciones de 5 y 25 mg L<sup>-1</sup>. Las aplicaciones se realizaron de manera foliar, en total se analizaron 10 tratamientos en el cultivo de tomate, bajo condiciones controladas. Los resultados indicaron que la aplicación del T7 (complejo de NPsCs-I con 5 mg L<sup>-1</sup> de yodato) y T4 (complejo de NPsCs-I con 25 mg L<sup>-1</sup> de yoduro) presentaron un efecto bioestimulante respecto del T0 (testigo absolutos) en parámetros asociados al crecimiento y desarrollo del cultivo. En cuanto a la mayor producción de biomasa el NPsCs presentó diferencias significativas respecto del T0. Los resultados anteriores indican que los tratamientos podrían representar una alternativa para la bioestimulación de cultivos.

**Palabras clave:** Bioestimulante, biofortificación, complejos yodados, nanotecnología, tomate, yodo.

## ABSTRACT

Worldwide, there has been a nutritional shortage in the daily diet, finding a deficiency of iodine (I), selenium (Se), zinc (Zn), vitamin A and B9. Likewise, there has been a high incidence of I deficiency disorders (IDD) that cause goiter, cretinism and hypothyroidism in the population. One strategy to prevent TDY is the biofortification of crops to increase the concentration of nutrients in fruits of habitual consumption. Tomato is a vegetable that contains vitamin C, K and lycopene responsible for preventing chronic degenerative diseases, in addition, it is widely consumed and produced nationwide. For this reason, the objective of biofortifying with iodinated chitosan nanoparticle complexes (NPsCs-I), potassium iodide (KI) and potassium iodate (KI O<sub>3</sub>) solutions in concentrations of 5 and 25 mgL<sup>-1</sup> was set. The applications were made foliarly, in total 10 treatments were analyzed in the tomato crop, under controlled conditions. The results indicated that the application of T7 (NPsCs-I complex with 5 mg L<sup>-1</sup> of iodate) and T4 (NPsCs-I complex with 25 mg L<sup>-1</sup> of iodide) had a biostimulating effect compared to T0 (absolute control) in parameters associated with crop growth and development. Regarding the highest biomass production, the NPsCs showed significant differences with respect to T0. The previous results indicate that the treatments may represent an alternative for the biostimulation of crops.

**Keywords:** Biostimulant, biofortification, nanotechnology, tomato, iodine, iodinated complexes.

## INTRODUCCIÓN

El yodo (I) es un mineral traza para los seres humanos, es indispensable para diversos procesos metabólicos principalmente en la producción de hormonas tiroideas, reproducción, crecimiento, y regulación de la temperatura corporal (Fuge y Johnson, 2015). Hoy en día, el déficit nutricional de este elemento ha propiciado el desarrollo de padecimientos asociados a enfermedades cardiovasculares como: bocio, cretinismo, hipotiroidismo, déficit mental y muerte al nacer (Jácome Roca, 2021). Siendo las etapas más críticas por de la deficiencia de este mineral durante el embarazo, lactancia y la infancia, debido al alto requerimiento de nutrientes para el crecimiento (Eslava-Schmalbach y Eslava-González, 2021). La OMS, indicó que para prevenir el riesgo de padecer trastornos por deficiencia de I (TDY) se recomienda una ingesta diaria de 90 a 200  $\mu\text{g día}^{-1}$  (Organización Mundial de la Salud, 2014; Zimmermann y Andersson, 2012). Por otro lado, la absorción del I en el suelo, se reduce en cultivos por su alta volatilidad (Whitehead., 1974). Una estrategia para la incorporación de I a la dieta ha sido la yodación de la sal de mesa, sin embargo, esta acción no llega a mitigar las deficiencias, e incrementa el riesgo de enfermedades cardiovasculares por su consumo en exceso (Vargas-Uricoechea *et al.*, 2018). Recientemente, se ha estudiado la biofortificación de cultivos como alternativa para cubrir la demanda de I, que consiste en el proceso de incrementar la concentración de elementos esenciales, a través de la intervención agronómica o la selección genética (White y Broadley, 2005). La biofortificación con I tiene un efecto positivo en los cultivos ya que incrementa su biodisponibilidad y estabilidad frente a la volatilización, además, se puede aplicar a cultivos tradicionales o de consumo frecuente en ciertas regiones (Medrano-Macías *et al.*, 2016). En este sentido, el cultivo de tomate, representa una alternativa para biofortificación con I, ya que tiene un alto índice de consumo en fresco que aporta nutrientes a la dieta (vitaminas, minerales, antioxidantes, etc.), además, de tener relevancia económica para nuestro país (Li *et al.*, 2021). Sin embargo, el éxito de la biofortificación con I depende en gran medida de las fuentes de I, la concentración, tipo de aplicación, y la conjugación de la molécula, esta última acción permite potenciar su efecto con la formación de complejos de I con la unión de polímeros naturales o sintéticos (Medrano-Macías *et al.*, 2016). El quitosán (Cs), es un biopolímero obtenido principalmente como subproducto de la industria de los mariscos, el cual posee una amplia variedad de

propiedades: es un polisacárido que induce la producción de fitoalexinas; protege a las plantas de enfermedades patógenas, ya que inhibe el crecimiento microbiano; activa las MAP-quinasas y provoca alteraciones de la cromatina; además, participa en la síntesis de alcaloides y reguladores del crecimiento vegetal (Pichyangkura y Chadchawan, 2015; Malerba y Cerana, 2016). Sin embargo, este polímero presenta insolubilidad en medios acuosos lo que limita su potencial de aplicación (Saharan *et al.*, 2013). Por lo tanto, se han empleado diversas estrategias para incrementar la bioactividad de compuestos, como las nanopartículas de quitosán pues muestra mayor efectividad debido a la alta relación superficie-volumen, tamaño y de fácil absorción en la planta (Kashyap *et al.*, 2015). Además, de tener propiedades biodegradables, solubles, permeables, un buen equilibrio costo-efectividad, no representar una amenaza para el ser humano e incrementar su efectividad al conjugarse con otros elementos (Malerba y Cerana, 2019). Tal como lo observaron Dávila Rangel *et al.*, (2020) al aplicar complejos de quitosán yodados fue posible una acumulación alta de I en lechuga sin afectar su rendimiento. Por lo tanto, en esta investigación se propone la aplicación de complejos de nanopartículas de quitosán yodados (NPsCs-I) con sales de yoduro (KI) y yodato (KIO<sub>3</sub>) en plantas de tomate para evaluar el efecto biofortificante y bioestimulante en el fruto de tomate.

## **OBJETIVOS**

### **Objetivo general**

Evaluar el efecto bioestimulante de los complejos de nanoquitosán yodados (NPsCs-I) en plantas de tomate.

### **Objetivos específicos**

- Determinar el efecto bioestimulante de los complejos de NPsCs-I aplicados de manera foliar sobre las variables de crecimiento de plantas de tomate.
- Determinar el efecto bioestimulante de los complejos de NPsCs-I aplicados de manera foliar sobre la variable de rendimiento de plantas de tomate.

## **HIPÓTESIS**

Los complejos de NPsCs-I provocarán un efecto bioestimulante mediante la mejora del crecimiento y desarrollo de plantas de tomate.

## REVISIÓN DE LITERATURA

### Yodo

- **Yodo en la naturaleza**

El yodo (I) tiene un impacto en muchos aspectos de la vida en la tierra, así como en la civilización humana. El I está distribuido en el planeta, de manera irregular, pero se encuentra principalmente y ampliamente en los océanos, el cual se evapora y así mismo reacciona con el oxígeno (Leija *et al.*, 2016). Llegando al suelo mediante las precipitaciones de las lluvias, no obstante algunas en zonas montañosas o lejos del mar (Jácome Roca, 2021; Moreiras *et al.*, 2013). En concentraciones altas el I es acumulado por las algas marinas, que son el origen de fuertes flujos de I hacia la atmósfera costera, mismas que influyen en los procesos climáticos, especialmente las algas pardas (Davy *et al.*, 1813). El I puede perderse de los suelos por lixiviación, volatilización y destrucción de los cultivos, sin embargo, las cantidades que se han registrado en aguas subterráneas, en ríos y lagos alejados de actividades humanas sugieren que la lixiviación del I está muy extendida y su contenido es mayor (Whitehead., 1984; Fernández *et al.*, 2022).

- **Fuentes químicas de yodo**

El I es un halógeno natural en muchas formas químicas, que se obtiene a partir de los yoduros (combinación del I con otro elemento),  $I^-$ , presentes en el agua de mar y en algas, o en formas de yodatos  $IO_3^-$  a partir de I molecular con un oxidante (Risher *et al.*, 2004). El yoduro de potasio (KI), también se encuentran otras fuentes químicas en las que es consumido, mediante el I molecular ( $I_2$ ), principalmente de origen marino, pescados, crustáceos, mariscos y algas (Terry, 2008). El I atmosférico en forma de I y los compuestos organoyodados ( $CH_3I$  y ácidos húmicos yodados), reaccionan fotoquímicamente con el ozono ( $O_3$ ) formando radicales ( $I_1O_2$ ,  $I_2O_3$  y  $I_2O_4$ ) que son transformados en  $I_2O_5$ , formando partículas nanométricas que induce núcleos condensados para la formación de nubes, de esta forma el I en forma de gas es transportado por las lluvias y vientos a las zonas terrestres, donde lo encontramos en suelos principalmente como yoduro ( $I^-$ ) y yodato ( $IO_3^-$ ) (Saunders *et al.*, 2005).



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

- **Hormona tiroidea**

El I es un elemento esencial para múltiples funciones endocrinas y metabólicas, es un micronutriente, pero su importancia es imprescindible para la síntesis de hormonas tiroideas (Brandan *et al.*, 2007). La T4 (tiroxina), contiene cuatro átomos de I y la triyodotironina (T3), contiene tres átomos de I, mismas que permiten el uso adecuado de energía, la regulación de la temperatura corporal es regulada y son esenciales para un buen funcionamiento de órganos como el corazón y músculos (Rodríguez *et al.*, 2018). Las hormonas tiroideas T4 y T3 son de gran importancia durante todas las etapas de desarrollo de las personas para el funcionamiento normal del sistema nervioso central (SNC) (Morreale y Escobar, 2005).

- **Metabolismo**

El I es un elemento fundamental para la producción de hormonas tiroideas, ya que regulan la mayoría de los procesos metabólicos producidos en nuestras células, el crecimiento y diferenciación tisular, especialmente en el cerebro (Gómez Navarro *et al.*, 2018). En el metabolismo hay un aumento en la producción de energía y consumo de oxígeno en la mayoría de los tejidos (Carrillo *et al.*, 2021). Por otra parte las hormonas T4 y T3 son encargadas de regular el metabolismo basal, el crecimiento de los huesos largos, la maduración neuronal y aumentan la sensibilidad del cuerpo de las hormonas producidas por las glándulas suprarrenales, que son dos pequeñas glándulas situadas arriba de los riñones (Bilek y Col., 2020).

- **Anticancerígeno**

Algunos autores como Zava y Zava, (2011), asociaron la ingesta habitual de alimentos ricos en I a una mayor esperanza de vida, además de una menor tasa de muertes infantiles, enfermedades cardíacas e incidencias de cáncer de mama y próstata. Así mismo, Tonacchera *et al.*, (2013), mencionan que al consumir alimentos biofortificados con I en la dieta puede prevenir daño cerebral en la infancia, promover un adecuado desarrollo en la gestación, ayuda a prevenir desordenes del metabolismo y alteración en la tiroides. Además, tiene propiedades

antioxidantes, aumenta considerablemente la tasa de descomposición del ARNm y tiene efectos protectores contra el cáncer y enfermedades inflamatorias en humanos (Narváez Rivera *et al.*, 2013). Al contrario, la deficiencia de I puede generar problemas como el cáncer papilar de tiroides, bocio, cretinismo, hipotiroidismo, entre otras enfermedades degenerativas (Journal of the National Cancer Institute, 2020).

### **Deficiencia de yodo en la dieta**

- **Trastornos por déficit de yodo (TDY)**

A nivel mundial, se estima que el 30% de la población padece TDY asociado a una baja ingesta diaria de I en la dieta (Ma *et al.*, 2018). En muchas regiones los suelos bajos en I son muy comunes, por lo que los productos cosechados en esos terrenos deficientes son pobres en I y como consecuencia, la población puede presentar efectos negativos severos en el metabolismo y llevar al desarrollo de enfermedades permanentes e irreversibles (Martínez *et al.*, 2005). Esto provoca que los niveles necesarios de las hormonas no se puedan sintetizar y causen síntomas como el bocio, abortos, incremento de la mortalidad perinatal, el desarrollo mental y físico sea insuficiente en niños o una baja productividad en adultos (Soriano, 2015). En los seres humanos el requerimiento diario de I recomendados por la OMS se observa en la Tabla 1;

<b>Tabla 1.</b> Ingesta de yodo diaria recomendada por la OMS (2015).	
<b>Etapas</b>	<b>Cantidad recomendada en microgramos (µg)</b>
5 años de edad	90
6 – 12 años	120
Adolescentes y Adultos	150
Mujeres embarazadas y lactantes	250

## **Fuentes de yodo**

El I atmosférico es la principal fuente en los suelos que provienen de las precipitaciones (ya que los iones de yoduro en el agua de mar se oxidan al elemento I, que se volatizan a la atmosfera y regresan al suelo por las lluvias), descomposición de vegetación, pero principalmente las fuentes dietéticas se obtienen de la sal marina, camarones, crustáceos, pescado y algas (Pretell *et al.*, 2008). En cuanto a estrategias de mercado, para obtener I por medio de la alimentación es a través de carne, lácteos y sus derivados, agua, aceite y sobre todo la sal yodada que normalmente consumimos en nuestra dieta (National Institutes of Health, 2022; Ruiz, 2013). Por otro lado Karmisholt, y colaboradores (2010), mencionan que una ingesta excesiva de sal yodada puede causar aumento en la presión arterial, produce hiperactividad (hipertiroidismo) o su actividad deficiente (hipotiroidismo) dando como resultado una demasiada generación de hormona tiroidea o la falta de ella en el organismo.

- **Elemento benéfico para plantas**

El I es un elemento no esencial para las plantas terrestres, por lo que su acumulación y absorción dependen de numerosos factores ambientales, en las plantas tiene efectos benéficos, en pequeñas concentraciones actuando como promotor de crecimiento (Mengel y Kirkby, 2000). El I juega un papel de gran importancia en el metabolismo antioxidante de algunas plantas acuáticas como *Laminaria digitata* (kelp), la cual demostró capacidad para acumular I, e incrementar el 1 % de su peso seco (Colin *et al.*, 2003). Por otro lado, la aplicación de I en las plantas de tomate en cantidades mayores a 5000 y 20000  $\mu\text{M L}^{-1}$  presenta toxicidad, causando estrés (Caffagni *et al.*, 2011; Landini *et al.*, 2011; Zhu *et al.*, 2003; Mackowiak y Grossl, 1999). Así mismo, por su inestabilidad estructural y su capacidad de intercambio de valencias, es un elemento que se volatiza fácilmente limitando su disponibilidad en los cultivos, por tal motivo, el éxito de su aplicación dependerá de múltiples factores, como se observa en la aplicación al suelo, donde el balance entre la fijación y volatilización del I depende del contenido de materia orgánica, microbiana, pH y su potencial óxido-reductor (Salgado *et al.*, 2012). Estas características dan como resultado mejores concentraciones de I en el suelo, quedando disponible para que pueda ser absorbido

por las raíces de las plantas incrementando la capacidad de retención; y acumulación en los órganos de consumo en los cultivos (Dávila-Rangel *et al.*, 2019; Plantin *et al.*, 2000).

### **Biofortificación de cultivos**

A nivel mundial, existe una crisis alimentaria debido a la sobreproducción de alimentos de mala calidad nutricional, causando una dieta deficiente para los humanos de elementos el I, Zn, Fe y vitamina A (FAO, 2019; Garnet *et al.*, 2013). La biofortificación agronómica es una alternativa rentable para minimizar las deficiencias de micronutrientes o bien como un proceso de enriquecimiento de calidad nutricional mediante prácticas agronómicas (De Groote *et al.*, 2021). La biofortificación tiene como objetivo mejorar el estado nutricional de la parte comestible de cultivos hortícolas, produciendo altas concentraciones de nutrientes biodisponibles, así como, un alto valor nutricional de elementos minerales deficientes de la dieta del ser humano (Duborská *et al.*, 2022; Hill., 1998). Hoy en día las aplicaciones se realizan vía edáfica, foliar, drench o en solución nutritiva aumentando así el contenido de elementos esenciales en hojas o frutos comestibles de las plantas (Jha y Warkentin, 2020). El uso de I en la agricultura permite prevenir y eliminar problemas fitosanitarios que se presentan durante el cultivo, debido a sus propiedades en el control de bacterias, hongos, virus y sus múltiples beneficios como estimulante a la floración, fructificación, amarre de frutos, aumenta la concentración de minerales y aumenta la actividad fotosintética (López Corona *et al.*, 2019).

### **Bioestimulantes**

La agricultura actualmente se enfrenta a diferentes problemas que limitan su producción, de los principales son el estrés abiótico como la sequía y la salinidad que provocan pérdidas en el rendimiento de los cultivos y la degradación del suelo (Gouda *et al.*, 2018). Por ello, se buscan alternativas para mitigar los efectos negativos causados por el estrés. La aplicación de bioestimulantes es una estrategia sostenible para evitar los daños causados por los diferentes tipos de estrés, ya que, aumentan el crecimiento, la eficiencia de la nutrición, el crecimiento de microorganismos benéficos y mejoran la productividad de las plantas (Luziatelli *et al.*, 2019). Se define como bioestimulante cualquier sustancia o

microorganismo exógeno, que no sea fertilizante, que al aplicarse a las plantas o a la rizosfera, promueva procesos naturales para mejorar la eficiencia nutricional de la planta, la tolerancia al estrés abiótico/biótico, el rendimiento de los cultivos y la calidad nutricional (Halpern *et al.*, 2015). Los efectos influyen en la fisiología de las plantas, ya que son promotores del desarrollo del sistema radical, estimulan el metabolismo, es promotor de la fotosíntesis, de la respiración celular y las plantas se ven favorecidas al enfrentarse a condiciones de estrés. (Gao *et al.*, 2022; Seguel *et al.*, 2019; Veobides *et al.*, 2018; Jannin *et al.*, 2012). El uso de bioestimulantes, puede reducir la dependencia de insumos químicos, específicamente agroquímicos, así mismo asegurar la estabilidad de la productividad en condiciones ambientales y edáficas desfavorable (Chien *et al.*, 2008). Hay diferentes categorías de bioestimulantes, que abarcan tanto sustancias como microorganismos, los microorganismos incluyen bacterias benéficas, principalmente hongos benéficos, mismos que pueden ser de vida libre, rizosféricos o endosimbóticos (du Jardín, 2015).

#### **Categorías de bioestimulantes:**

- **Ácidos húmicos y fúlvicos**, son constituyentes naturales de la materia orgánica del suelo, resultado de la descomposición de residuos vegetales, animales y microbianos, no sólo ocasionan efectos fisiológicos en raíces, sino que consiguen estimular el metabolismo primario y secundario (Nardi *et al.*, 2021).
- **Hidrolizados de proteínas** y otros compuestos que contienen nitrógeno (N), la mezcla de aminoácidos y péptidos se obtienen por hidrólisis química y enzimática de proteínas a partir de los subproductos agroindustriales, tanto de origen vegetal como desechos de animales (Calvo *et al.*, 2014).
- **Extractos de algas y botánicos**, en la agricultura el uso de algas marinas frescas como fuente de materia orgánica y fertilizante, es un método antiguo, pero recientemente se han registrado sus efectos bioestimulantes, ya que actúan sobre los suelos y sobre las plantas (Espinosa *et al.*, 2009; Cragie *et al.*, 2008). Las sustancias extraídas de plantas se utilizan en productos farmacéuticos y cosméticos, como ingrediente alimenticio y en productos fitosanitarios también son utilizados (Seiber *et al.*, 2022).

- **Quitosán y otros biopolímeros**, es la forma desacetilada del biopolímero de quitina, que es producido de manera industrial y natural. En las plantas este compuesto policatiónico tiene la capacidad de unirse a una amplia gama de componentes celulares, incluidos la membrana plasmática, el ADN y constituyentes de la pared celular (Reyes Pérez *et al.*, 2020).
- **Compuestos inorgánicos**, elementos químicos que pueden ser no esenciales y que promueven el crecimiento de las plantas como silicio (Si), selenio (Se), aluminio (Al), cobalto (Co), sodio (Na), pero que no son necesarios para todas las plantas (Sánchez *et al.*, 2009).
- **Hongos benéficos**, interactúan con las raíces de diferentes maneras, en donde mutuamente no se afectan, son aplicados en las plantas para promover la eficiencia nutricional, tolerancia al estrés, rendimiento y calidad del producto (Behie y Bidochka., 2014). Una de las principales limitaciones es la dificultad técnica para propagarlos (Campanelli *et al.*, 2014).
- **Bacterias benéficas**, interactúan con la planta interactúan de todas las formas posibles, ya que los nichos bacterianos se extienden desde el suelo hasta el interior de las células (Rojas Solís *et al.*, 2008).

### Quitosán

Recientemente se ha encontrado, que el quitosán es un material estimulante con potencial a ser utilizado en el sector agrícola, el cual se obtiene de la quitina, precursora del quitosán. Es el segundo polímero con más abundancia en la naturaleza después de la celulosa y tiene la propiedad de formar películas por sí solo (Jeon *et al.*, 2002). La fuente principal de quitina son los exoesqueletos de crustáceos como el camarón, moluscos e insectos y en paredes de hongos contiene una alta concentración de quitina, este material se obtiene mediante un proceso químico de desacetilación de la quitina (Mármol, 2010). El quitosán es un polímero que además de ser asimilado por las plantas, tiene propiedades biodegradables, biocompatibilidad y no tóxico para los humanos y las plantas (Hernández *et al.*, 2019). Además, cuenta con una gran actividad antimicrobiana frente a varios microorganismos como hongos y bacterias, pero también puede unirse a receptores específicos involucrados

en la activación de genes de defensa al estrés abiótico en los cultivos (Supotngarmkul *et al.*, 2020). Reportes realizados a base de recubrimientos de quitosán han demostrado que pueden mejorar la calidad postcosecha en frutos, ya que disminuyen la pérdida de peso, el ingreso del oxígeno, conserva el aroma e inhibe el crecimiento de microorganismos (Mejía Bautista *et al.*, 2016). Estudios recientes, muestran que el quitosán es considerado el polímero del futuro gracias a sus innumerables propiedades, donde se destacan las biomédicas, algunas como lo es antiolesterol, cicatrizante, anticancerígeno, hemostático, analgésico y antiulceroso y adherente (Wang *et al.*, 2020). Sin embargo, la insolubilidad del quitosán en medios acuosos limita su potencial de aplicación (Saharan *et al.*, 2013).

### **Nanopartículas de quitosán**

Actualmente, se buscan alternativas nuevas que permitan aplicaciones en la agronomía y la disminución del impacto negativo al medio ambiente, una de ellas son las nanopartículas de quitosán que son partículas sólidas coloidales con un tamaño entre 1 -1000 nanómetros (nm) siendo  $1 \text{ nm} = 1 \times 10^{-9} \text{ m}$  (Caro León, *et al.*, 2019). Es un material versátil, para múltiples aplicaciones, sirve como agente iónico para formar complejos, las propiedades que tiene es la absorción y encapsulamiento, lo que permite encapsular diferentes tipos de moléculas (Agnihorti *et al.*, 2004). Las nanopartículas de quitosán se pueden obtener mediante diferentes técnicas como lo es la emulsificación, la gelificación iónica, la nanoprecipitación y la nanoencapsulación, las cuales tienen aplicaciones en diferentes áreas como la medicina, farmacéutica, agricultura y medioambiente (Divya y Jisha, 2018). El uso de las nanopartículas de quitosán en el ámbito agrícola se ha propuesto debido a las ventajas que presentan como promotores del crecimiento, además de ser agentes protectores contra el ataque de plagas y patógenos (Mehrazar *et al.*, 2015). En este sentido, la aplicación de las nanopartículas de quitosán en cultivos de consumo habitual representa una estrategia prometedora para evaluar el efecto bioestimulante y biofortificante, tal como lo es el cultivo de tomate.

## Generalidades de tomate

*Solanum lycopersicum* L, conocido comúnmente como tomate (en la Tabla 2; se observa la clasificación taxonómica de tomate (Huerres y Carballo 1991)), es un fruto carnoso climatérico, que continua su proceso de maduración después de la cosecha, y se ha aprovechado tanto para la investigación básica como aplicada por su relevancia nutricional y económica (Foolad., 2007). En términos botánicos es una planta perene de porte arbustivo, con hojas compuestas por folíolos de tamaño variable y se disponen de manera alternada a lo largo del tallo. Su reproducción es autógama debido a su morfología floral, hay dos variedades de crecimiento, que son crecimiento limitado (determinado) y de crecimiento ilimitado (indeterminado) (Carnide *et al.*, 2006). Las flores se disponen en racimos, en algunas plantas cada flor se constituye por cinco sépalos y cinco pétalos de color amarillo, con una función reproductiva formada por los estambres y el pistilo, el engrosamiento del ovario da lugar a frutos carnosos y lobulados de color rojo (Bauchet y Causse, 2012; Peralta y Spooner, 2000). El 1.7% de la producción mundial de tomate es producida en México, por debajo de China, China Continental, India y Estados Unidos de América, además, contribuye con un 19% del volumen de las exportaciones a nivel mundial, ubicándolo como el principal país de exportación por arriba de España (14%) y países bajos (13%) (SIAP, 2020).

Clase	Dicotiledónea
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Tribu	Solanae
Género	<i>Solanum</i>
Especie	<i>Lycopersicon</i>
Cultivares	Determinado e indeterminado



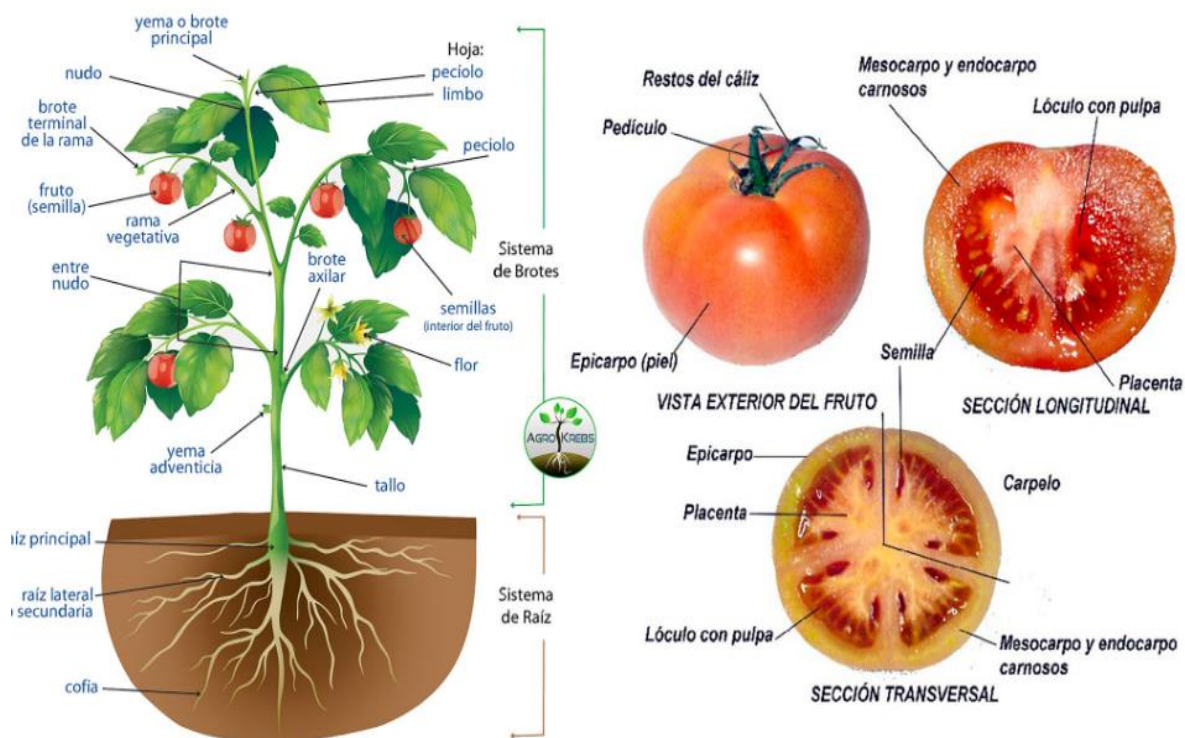
En el año agrícola 2021 se sembraron 14,128,349.22 ha, de las cuales 13,340,878.67 ha fueron cosechadas (SIAP. 2021). La décima posición mundial es ocupada por México, de la superficie cosechada de esta hortaliza. En la Tabla 3 se muestran los principales 10 estados productores en México.

<b>Tabla 3. Superficie sembrada y cosechada por los principales 10 estados en México.</b>		
<b>Entidad</b>	<b>Superficie sembrada (ha)</b>	<b>Superficie cosechada (ha)</b>
Tamaulipas	1,234,236.18	886,835.02
Zacatecas	1,107,674.40	1,097,569.19
Jalisco	950,971.97	899,912.21
Sinaloa	933,733.25	929,029.55
Chiapas	852,328.51	797,516.91
Guanajuato	841,487.05	839,402.85
Chihuahua	771,150.70	769,501.75
Michoacán	692,288.86	691,786.52
Veracruz	691,187.96	640,657.26
Puebla	683,660.14	671,987.14

### **Valor nutricional**

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las hortalizas más importantes que se cultiva alrededor del mundo, siendo México el país que más exporta, en la Figura 1 se observa la morfología de la planta (FAOSTAT, 2020). Es de gran importancia en nuestra dieta, ya que el fruto posee numerosas cualidades, aparte de su contenido en vitaminas y minerales por lo que lo convierte en una gran fuente de nutrientes (Cervoni, 2021). Gracias a su nivel elevado de fibra y potasio, pueden mejorar la salud del corazón y ayudan a prevenir las enfermedades cardiovasculares. Las vitaminas que contiene el fruto, como la vitamina C, que refuerza nuestro sistema inmunológico y la vitamina K, esencial para que los huesos sean más resistentes (FAO, 2022). La vitamina C en estudios *in vitro* han determinado que ejerce un papel protector contra daño oxidativo de los constituyentes celulares, las pruebas son consistentes del efecto protector de la vitamina C contra el cáncer de estómago, faringe y

esófago (Arellano *et al.*, 2001). Estudios han demostrado que el consumo de tomate reduce los riesgos de contraer varios tipos de cáncer, enfermedades cardiovasculares, lo cual es relacionado con el contenido de licopeno y otros carotenoides, debido al carácter antioxidante de estos compuestos, son una fuente rica de fibra (Martínez, 2003). El licopeno que contiene el fruto de tomate es un antioxidante que está asociado con la baja incidencia de cáncer en las personas (Luna y Delgado, 2014). El sabor característico del fruto de tomate es el resultado de interacciones complejas entre ácidos orgánicos, azúcares y compuestos volátiles (Baldwin *et al.*, 2000). Dichos compuestos son derivados de diferentes rutas metabólicas como el catabolismo de lípidos, aminoácidos y carotenoides (Sanz *et al.*, 1997). Cabe destacar que los tomates no solo se comercializan para consumo en fresco, sino que, también son procesados como sopas, salsas, jugos o concentrados en polvo (Castro *et al.*, 2020).



**Figura 1.** Morfología de planta y fruto de tomate.

Fuente: <http://tomatosphere.letstalkscience.ca>.

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Ubicación del experimento**

Este experimento se realizó en un invernadero tipo capilla que se encuentra en el Bajío, terrenos del Departamento de Horticultura, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN). Se encuentra en el municipio de Saltillo, estado de Coahuila, México, orientación sur-norte que se localiza en las coordenadas 25°21'27.17" latitud norte y 101° 2'00.16" longitud oeste, a una altitud 1763 msnm.

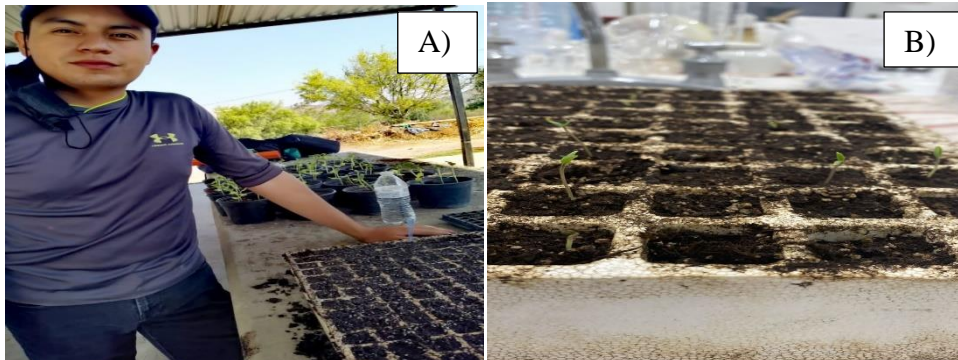
### **Climatología del lugar**

Predomina el clima semiárido en verano y frío en invierno. La temperatura media anual es de 18 a 22°C, la temperatura más alta, mayor de 30°C, se presenta en los meses de mayo y agosto y las baja, alrededor de 4°C, en enero 2023.

### **Descripción del experimento**

- **Etapa 1. Germinación**

Este experimento se inició el día 25 de abril del año 2022 sembrando tomate de la variedad Cid F1 (Saladette) de la casa comercial Harris Moran en 2 charolas de 128 cavidades cada una, el sustrato que se utilizó fue peat moss y perlita en una relación 1:1 (v/v), (Figura 2). Después de 4 días de la siembra, las charolas se llevaron a un invernadero que cuenta con ventiladores y un sistema de control de enfriamiento y de humedad y se realizaron riegos diarios con solución Steiner al 25%.



**Figura 2.** A) Siembra del material vegetal del CidF1 de la casa comercial Harris Moran y B) Germinación de semillas en invernadero.

- **Etapa 2. Trasplante**

El trasplante se realizó el día 27 de mayo del año 2022, el cual se realizó en bolsas de polietileno con una capacidad de 10 kg, el sustrato se utilizó en una relación de 1:1 de peat moss y perlita humedeciéndolo hasta tener una mezcla homogénea como se puede observar en la Figura 3A y 3B.



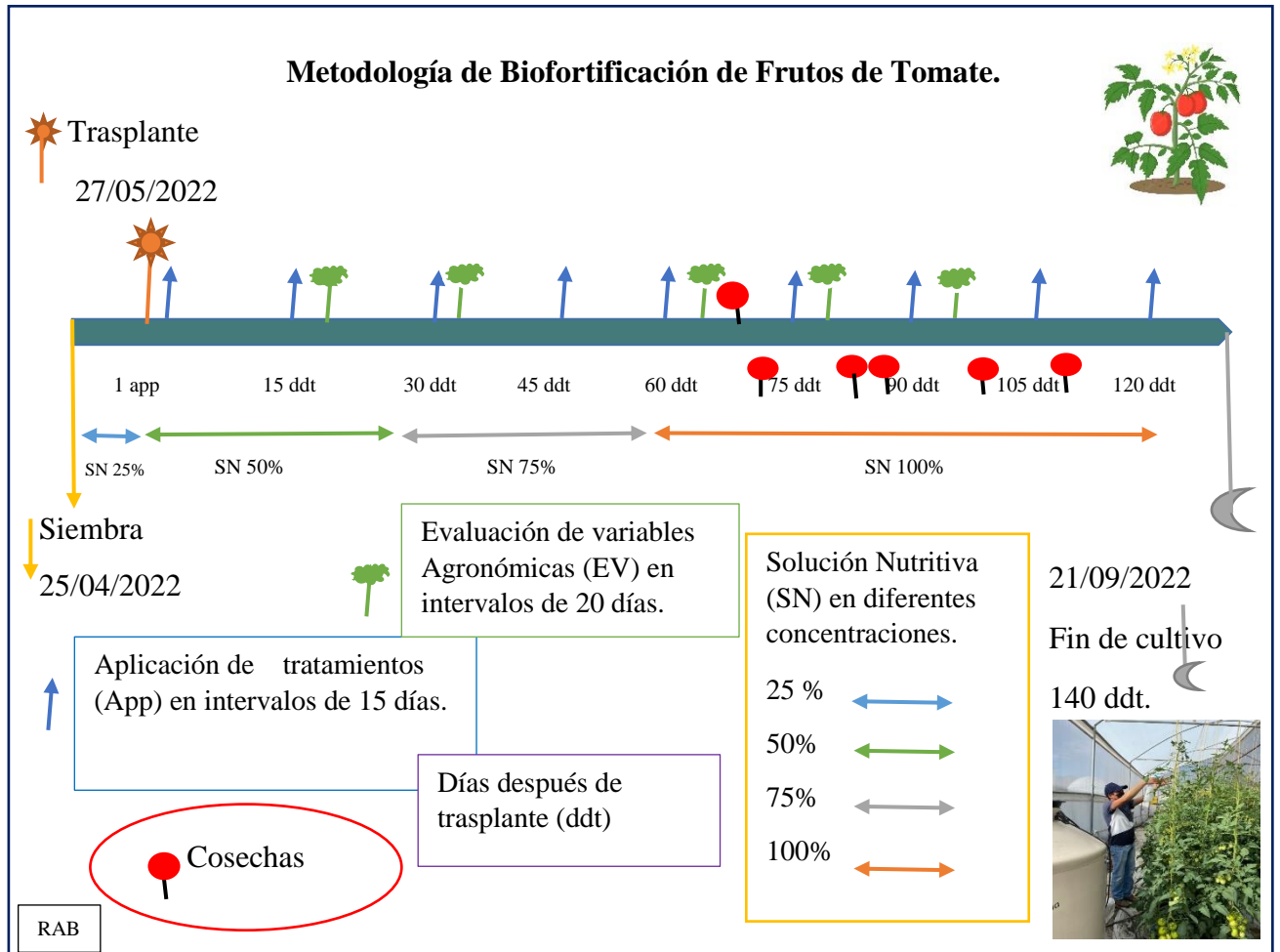
**Figura 3.** A) Llenado de bolsas con sustrato y B) Establecimiento del cultivo (trasplante).

- **Etapa 3. Aplicación de tratamientos**

Esta investigación se realizó bajo un diseño de bloques completos al azar, donde se evaluaron 10 tratamientos con cuatro unidades experimentales compuestas con cuatro plantas cada una, los tratamientos fueron preparados a partir de dispersiones de nanopartículas de quitosán (NPsCs), complejos de nanopartículas de quitosán yodados (NPsCS-I), soluciones de yoduro de potasio (KI) y yodato de potasio (KIO<sub>3</sub>) en concentraciones de 5 y 25 mg L<sup>-1</sup>, las cuales fueron producidas por la técnica de gelificación inotrópica y sintetizadas en colaboración con el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). En la Tabla 4 se describen los tratamientos.

T0	Testigo Absoluto
TNPsCs-I	Testigo con nanoquitosán
T1	Yoduro de potasio 5mg L <sup>-1</sup>
T2	Yoduro de potasio 25mg L <sup>-1</sup>
T3	Complejo de NPsCs-I con 5mg L <sup>-1</sup> de yoduro
T4	Complejo de NPsCs-I con 25mg L <sup>-1</sup> de yoduro
T5	Yodato de potasio 5mg L <sup>-1</sup>
T6	Yodato de potasio 25mg L <sup>-1</sup>
T7	Complejo de NPsCs-I con 5mg L <sup>-1</sup> de yodato
T8	Complejo de NPsCs-I con 25mg L <sup>-1</sup> de yodato

La aplicación de los tratamientos se realizó de manera foliar aplicando solo en el haz de las hojas, en intervalos de 15 días, iniciando del trasplante (Figura 4). En total se realizaron ocho aplicaciones durante todo el ciclo del cultivo y se llevó a producción hasta el sexto racimo. Además, se realizaron cinco evaluaciones de variables agronómicas las cuales fueron a los 20, 40, 60, 80 y 120 días después del trasplante (ddt) en etapas fenológicas específicas del desarrollo del cultivo y con aplicaciones consecutivas de los tratamientos.



**Figura 4.** Esquema del desarrollo del cultivo de tomate con aplicación de NPsCs-I.

- **Etapa 4. Manejo agronómico**

El cultivo se desarrolló a un solo tallo, hasta la producción del sexto racimo dando un manejo de labores culturales de inicio a fin, tales como clip de inicio y tutoreo, deshoje, desbrote, enreda y cosecha, (Figura 5). Dentro de los cuidados a las tres semanas de siembra se aplicó fungicida (Enable) de la marca Dow AgroSciences a una concentración de 300 mL Ha<sup>-1</sup> en drench de manera preventiva para daños contra Damping off. Para el control de mosquita blanca y trips, se aplicó a las 6 semanas ddt de manera foliar un insecticida de la marca Corteva Agriscience (Toreto, 2 mL L<sup>-1</sup>) aplicándose con una bomba de 15 L. Las mediciones

de la humedad relativa y temperatura se tomaron con un higrómetro digital, Figura 5E, la temperatura máxima fue registrada el día 15 de agosto con 51.3°C en un horario de 12:27 p.m. y una temperatura mínima de 10.6°C registrada el día 4 de septiembre en un horario de 9:24 a.m. La humedad relativa máxima se registró el día 9 de agosto con un 98% y la mínima del 10% con cinco registros en el mes de agosto. En la Tabla 5 se muestran los registros de temperatura y humedad relativa registradas durante el desarrollo del cultivo de tomate.

<b>Tabla 5. Promedio de temperatura y humedad relativa.</b>			
<b>Fecha</b>	<b>Hora</b>	<b>Temperatura °C promedio</b>	<b>Humedad relativa promedio (%)</b>
05/08/2022	12:07	48.8	18
06/08/2022	17:49	36.5	27
08/08/2022	11:14	26	52
08/08/2022	17:12	31.4	41
09/08/2022	07:20	14.5	97
09/08/2022	17:42	34.9	31
12/08/2022	14:32	43	26
15/08/2022	12:27	33.3	36
16/08/2022	11:10	36.7	29
19/08/2022	14:22	36	27
20/08/2022	17:20	40.3	20
22/08/2022	15:33	46.3	17
29/08/2022	17:40	30.8	48
01/09/2022	10:21	19.7	87
04/09/2022	09:24	21.6	65
13/09/2022	12:13	41.5	22
22/09/2022	13:13	44	14



**Figura 5.** A) Clip de inicio, B) Tutorio, C) Deshoje de planta, D) Enreda y desbrote manual, E) Medición de temperatura y humedad relativa con el Higrómetro.



- **Nutrición**

Para los riegos se utilizó una solución nutritiva (SN) Steiner durante las diferentes etapas del ciclo de cultivo a diferentes concentraciones (25, 50, 75 y 100%) iniciando el día 27 de mayo al 24 de junio a una concentración del 50%, del 25 de junio al 15 de julio en una concentración del 75%, por último, se aplicó a una concentración del 100% del 16 de julio al 14 de septiembre. A continuación, se muestran las concentraciones de solución Steiner en diferentes etapas del desarrollo del cultivo de tomate en la Tabla 6.

<b>Tabla 6.</b> Concentración Steiner en diferentes etapas del desarrollo del cultivo de tomate.				
<b>Compuesto</b>	<b>100%</b>	<b>75%</b>	<b>50%</b>	<b>25%</b>
	<b>g/1,000L</b>	<b>g/1,000L</b>	<b>g/1,000L</b>	<b>g/1,000L</b>
Ca (NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> 4H <sub>2</sub> O	1,060	795	530	265
MgSO <sub>4</sub> 7H <sub>2</sub> O	487	365.25	243.50	121.75
KNO <sub>3</sub>	71	53.25	35.50	17.75
K <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	347	260.25	173.50	86.75
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	211	258.25	105.50	57.75
Ultrasol	50	37.50	25	12.50

### **Evaluación de variables agronómicas**

Durante el experimento se realizaron las variables agronómicas: las cuales fueron a los 20, 40, 60, 80 y 120 ddt, evaluando:

- **Diámetro de tallo**

La evaluación de diámetro de tallo se hizo con vernier digital de la marca Neikon (Figura 6), esta variable se registró en mm y se midió a 1 cm después de la base del tallo



**Figura 6.** Medición de diámetro de tallo con vernier

- **Altura de la planta**

La medición de altura de la planta se hizo con un flexómetro de 3 metros de la marca truper (Figura 7), midiendo la planta desde la base del tallo hasta la punta apical y registrando el dato en cm.



**Figura 7.** Medición de altura con Flexómetro de la marca truper.

- **Número de hojas**

El número de hojas se realizó manualmente, contando las hojas de la punta apical hacia la base de la planta iniciando el conteo después de la tercera hoja verdadera (Figura 8).



**Figura 8.** Conteo manual de hojas.

- **Conductancia estomática**

Esta variable se evaluó con un porómetro marca DECAGON DEVICES, INC registrando los datos en mmol (Figura 9). En un horario de 12:00 – 3:00 p.m. que coincidía en el punto máximo de cierre estomático y mayor radiación ambiental.



**Figura 9.** Evaluación de conductancia estomática con porómetro (marca DECAGON DEVICES, INC).

- **Rendimiento**

Para el rendimiento del cultivo se consideraron todos los frutos producidos de seis racimos los cuales fueron cosechados en un estado de maduración rojo ligero previo a su maduración total (Figura 10), los frutos obtenidos por racimo se contaron manualmente y se pesaron.



**Figura 10.** Cosecha de tomate.

- **Longitud de raíz.**

Al término del cultivo se midió la longitud de raíz con un flexómetro de 3 m de la marca Truper, el sustrato se dejó secar un 50% para posteriormente removerlo y que su manejo fuera más fácil, la medición se hizo del comienzo del tallo a la punta principal de la raíz.

- **Medición de biomasa**

Al término de ciclo del cultivo se evaluaron cuatro repeticiones por tratamiento de una sola planta donde se pesaron tallo, hojas y raíz en fresco y se almacenaron en bolsas de papel de estraza y se dejaron en una estufa marca LINDBERG/BLUE a 72°C por 72 horas, luego se pesaron nuevamente para obtener el peso seco en una báscula de la marca SF-400.

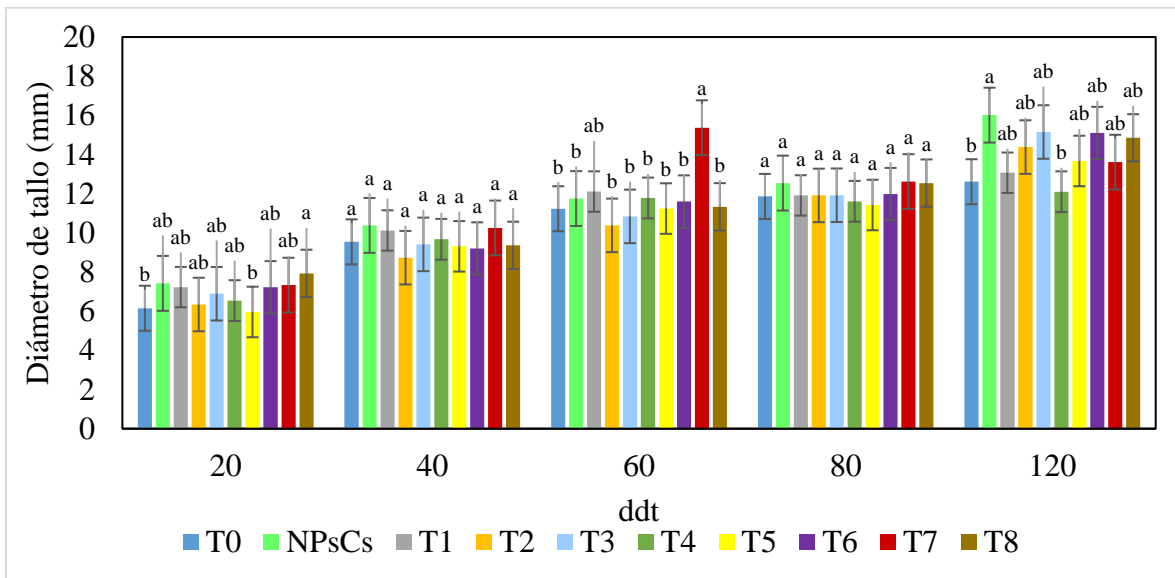
- **Análisis estadístico de datos**

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

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### • Diámetro de tallo

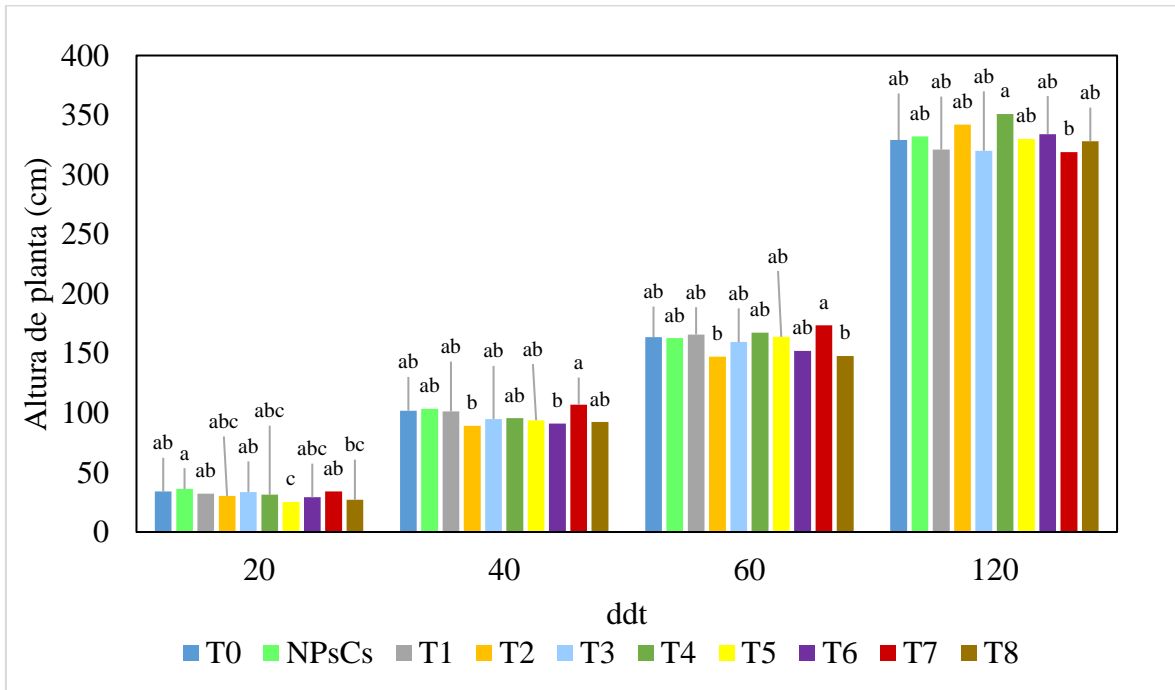
En la variable de diámetro de tallo los resultados se observan la Figura 11, a los 20 ddt el T8 (complejo de NPsCs-I con 25mg L<sup>-1</sup> de yodato) incrementó un 29% respecto al T0 (testigo absoluto) y un 33% respecto al T5 (yodato de potasio 5mg L<sup>-1</sup>). El T7 (complejo de NPsCs-I con 5mg L<sup>-1</sup> de yodato) a los 60 ddt incrementó un 37% respecto al T0. A los 120 ddt el tratamiento NPsCs incremento un de 27% respecto al T0 y un 32% respecto al T4 (Complejo de NPsCs-I con 25mg L<sup>-1</sup> de yoduro). Finalmente a los 20 y 40 ddt no hubo diferencias significativas entre tratamientos. El fenómeno observado se puede atribuir a los tratamientos aplicados, donde el nanoquitosán mostró un efecto biocompatible con el yoduro y yodato en diferentes concentraciones (5 y 25 mg L<sup>-1</sup>) (Divya y Mandal, 2021). Algunos autores como Medrano Macías y colaboradores (2016) mencionan que la aplicación de I en los cultivos a pesar de considerarse un elemento benéfico puede impactar en el crecimiento y desarrollo del cultivo, tal como se observó en esta variable.



**Figura 11.** Diámetro de tallo a los 20, 40, 60, 80 y 120 ddt en plantas de tomate tratadas con NPsCs-I. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p \leq 0.05$ ).

- **Altura de planta**

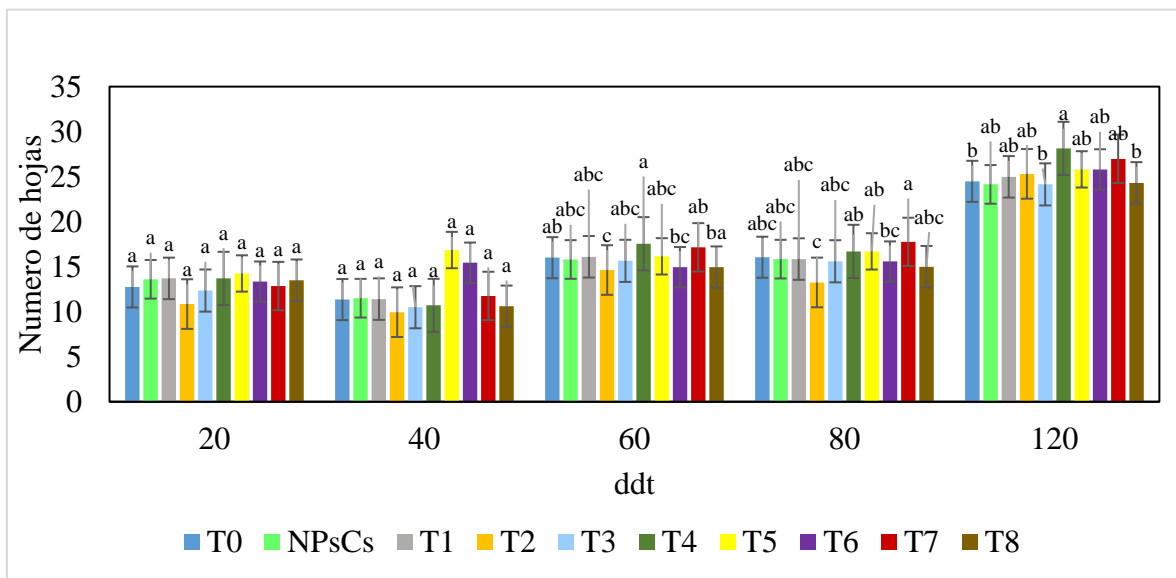
En la Figura 12 se observan los resultados de la variable altura de planta, a los 20 ddt el T5 (yodato de potasio 5mg L<sup>-1</sup>) obtuvo el menor crecimiento con una reducción del 35% respecto al T0 (testigo absoluto). El T7 (complejo de NPsCs-I con 5mg L<sup>-1</sup> de yodato) a los 40 ddt incremento un 20% en relación al T2 (yoduro de potasio 25mg L<sup>-1</sup>) y 17% en comparación al T6 (yodato de potasio 25mg L<sup>-1</sup>). De igual manera el T7 a los 60 ddt obtuvo un incremento del 18% respecto al T2 y un aumento del 17% en comparación del T8 (complejo de NPsCs-I con 25mg L<sup>-1</sup> de yodato). Al final de la evaluación de las variables se observó un incremento del 10% en el T4 (complejo de NPsCs-I con 25mg L<sup>-1</sup> de yoduro) a los 120 ddt respecto al T7. En este sentido, se ha demostrado que el quitosán tiene propiedades biocompatibles, biodegradables y no tóxicas, por lo que se han buscado nuevas estrategias de aplicación a las plantas con el fin promover que los mecanismos de absorción penetren y garanticen la protección contra la evapotranspiración del I mejorando la salud y desarrollo de las plantas actuando como regulador y promotor de crecimiento (Abood *et al.*, 2022).



**Figura 12.** Altura de planta a los 20, 40, 60 y 120 ddt en plantas de tomate con la aplicación de NPsCs-I. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p \leq 0.05$ ).

- **Número de hojas**

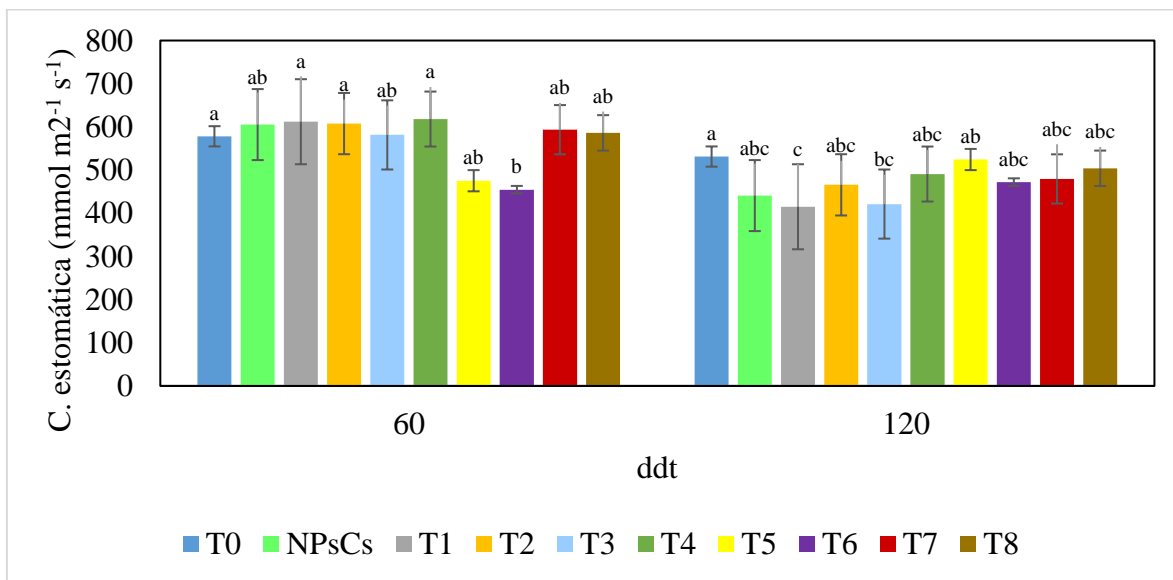
En la Figura 13 se muestran los resultados obtenidos en la variable número de hojas, los tratamientos aplicados a los 20 y 40 ddt no presentaron diferencias significativas. Por otro lado, a partir de los 60 ddt se observaron diferencias significativas entre tratamientos, donde el T4 (complejo de NPsCs-I con 25mg L<sup>-1</sup> de yoduro) incrementó 20% en relación del T2 (yoduro de potasio 25mg L<sup>-1</sup>). El T2 a los 80 ddt disminuyó 34% respecto del T7 (complejo de NPsCs-I con 5mg L<sup>-1</sup> de yodato). A los 120 ddt el T4 aumentó un 15% respecto del T0 (testigo absoluto). Esto se puede atribuir a la capacidad de los complejos de NPsCs-I, ya que por la naturaleza de sus compuestos actúan como promotores de crecimiento y estimulan procesos naturales del desarrollo de la planta (Dvya y Jisha, 2018). Sin embargo, los resultados observados también se pueden asociar a la variación climatológica, ya que se registraron temperaturas superiores a la óptima del desarrollo del cultivo (rango de temperatura 18 a 30°C), ya que el número y tamaño de hojas es un proceso controlado por factores ambientales que varía en función de las temperaturas (Solana, 2001; Villafañe *et al.*, 2021).



**Figura 13.** Número de hojas a los 20, 40, 60, 80 y 120 ddt en plantas de tomate con la aplicación de NPsCs-I. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p \leq 0.05$ ).

- **Conductancia estomática**

En la variable de conductancia estomática los resultados obtenidos se muestran en la Figura 14. A los 60 ddt el T0 (testigo absoluto) presentó un incremento del 27% respecto del T6 (yodato de potasio 25mg L<sup>-1</sup>). A los 120 ddt el T1 (yoduro de potasio 5mg L<sup>-1</sup>) tuvo una disminución del 28% en respecto al T0 (testigo absoluto). Se puede concluir que el comportamiento de las plantas en los tiempos de muestreo, estuvo relacionado a la necesidad hídrica del cultivo, ya que a los 60 ddt las plantas estaban en una etapa de desarrollo vegetativo y tenían un suministro hídrico adecuado. En cambio, a los 120 ddt vemos una reducción generalizada en los tratamientos debido al gasto de agua de la planta, ya que durante esta evaluación este recurso se utiliza para el cuajado y llenado de frutos, en este sentido como mecanismo de defensa las plantas cierran sus estomas para garantizar su turgencia y mantener el metabolismo celular (Dell Amico Rodríguez *et al.*, 2017). La literatura indica, que la mayoría de los cultivos son sensibles a estrés hídrico en etapas de desarrollo, ya que afecta el crecimiento de los frutos y la producción del cultivo (Manzoni *et al.*, 2013).

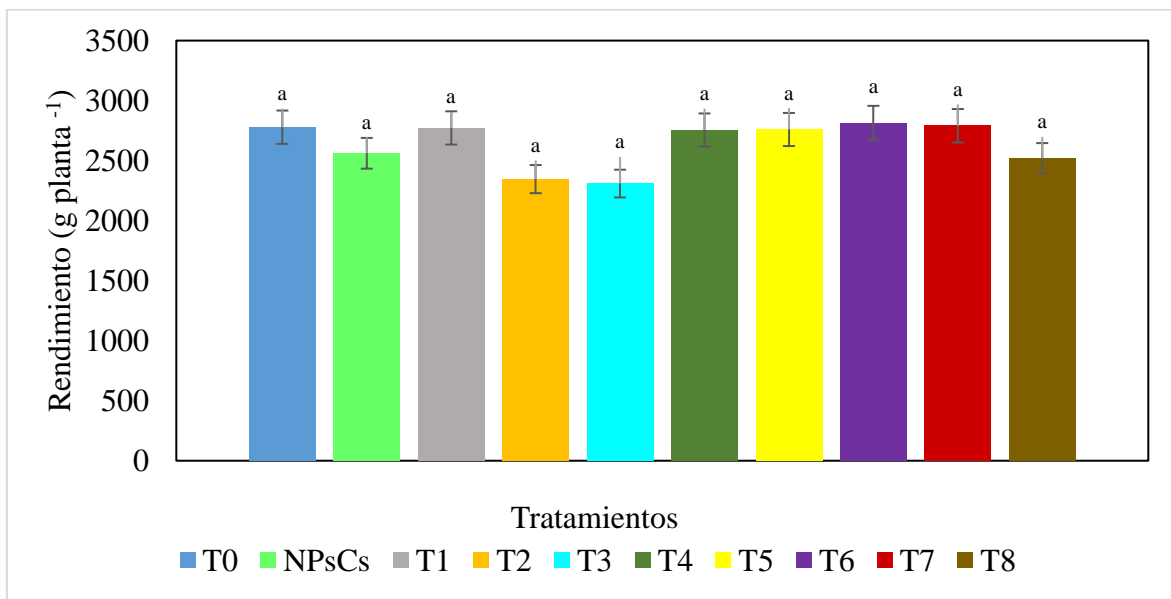


**Figura 14.** Conductancia estomática con porómetro en plantas de tomate. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p \leq 0.05$ ).



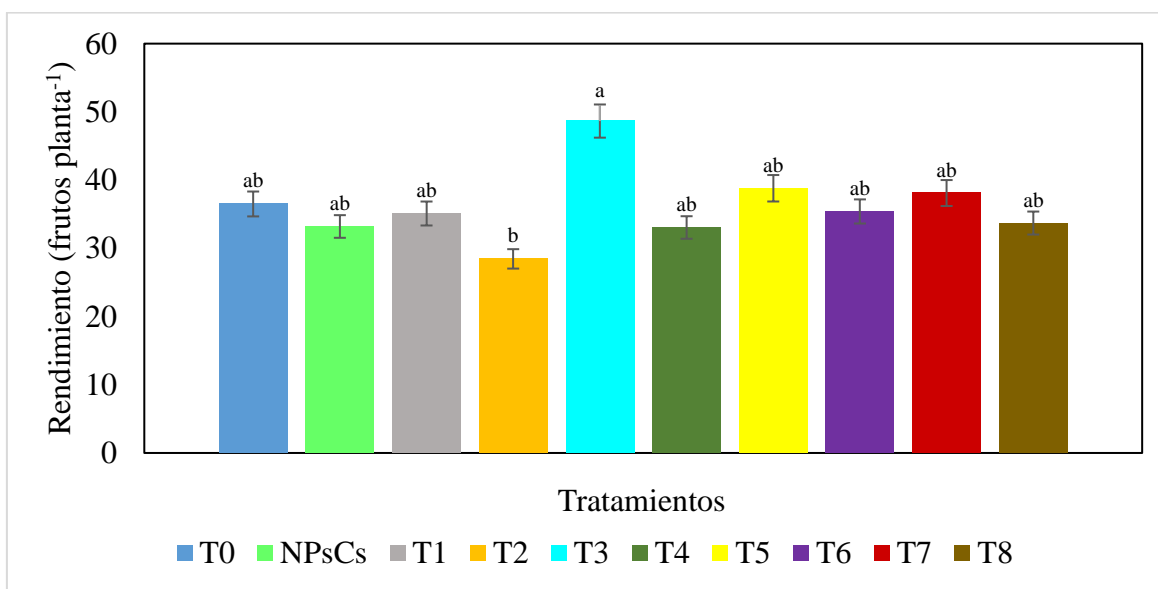
- **Rendimiento**

El rendimiento se expresó en  $\text{g planta}^{-1}$ , los resultados se pueden observar en la Figura 15, donde no hubo diferencias significativas entre los tratamientos. En este sentido, la aplicación de los tratamientos logró una producción igual a la del T0 (testigo absoluto) con valores de 2,778.48 hasta 2,790.48  $\text{g planta}^{-1}$ . En cuanto a la productividad del cultivo, el rendimiento se consideró bajo respecto a los valores generados en producción a nivel nacional, que son de 1,562, 558 ton (SIAP, 2022), ya que en esta investigación solo se dejó hasta el sexto racimo, limitando completar su ciclo productivo.



**Figura 15.** Rendimiento de tomate en  $\text{g planta}^{-1}$  de tomate con aplicaciones de NPsCs-I. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p \leq 0.05$ ).

En la Figura 16 se pueden observar los resultados del número de frutos por planta, donde se observaron diferencias significativas entre tratamientos a los 120 ddt. El T3 (complejo de NPsCs-I con 5mg L<sup>-1</sup> de yoduro) incrementó la producción de frutos respecto al T2 un 70%, con un número total de frutos de 49. Estudios realizados han demostrado que el quitosán puede mejorar la calidad postcosecha en frutos, disminuyendo la pérdida de peso, conservando el aroma e inhibe el crecimiento de microorganismos (Bautista *et al.*, 2016). Sin embargo, en esta investigación no se puede asociar una mayor cantidad de frutos a una mejor calidad postcosecha, ya que no se evaluó. En este sentido, los frutos producidos se pueden considerar de una calidad aceptable, según los estándares de calidad descritos en la NMX-FF-031-1197 (SCFI, 1998). Algunos autores como Medrano Macías *et al.*, (2016) mencionan que la forma de aplicación, donde se consigue mejor efecto bioestimulante es el I en forma de yoduro, tal como se observó en esta variable.



**Figura 16.** Número de frutos de tomate obtenidos con la aplicación de NPsCs-I. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p \leq 0.05$ ).

- **Medición de biomasa vegetativa aérea**

En la medición de biomasa, los valores obtenidos en la biomasa vegetativa aérea fresca (tallos y hojas) no mostraron diferencias significativas entre tratamientos con valores de 230.7 a 269.45 g planta<sup>-1</sup> (Tabla 7). En la biomasa vegetativa aérea seca, el NPsCs (testigo con nanoquitosán) presentó un aumento del 33% respecto al T3 (complejo de NPsCs-I con 5mg L<sup>-1</sup> de yoduro). En este sentido, el efecto observado es contrario a lo que indica la literatura en la absorción del KI en las plantas, ya que, al presentar mayor solubilidad en agua, se esperaba que presentara un mayor movimiento de las hojas a los haces vasculares (xilema y floema). En este sentido, se ha demostrado que el yoduro disminuye el peso seco y fresco, efecto mayor que el yodato tal como lo indica García y colaboradores (2014), en el cultivo de lechuga.

**Tabla 7.** Biomasa vegetativa aérea fresca y seca (tallos y hojas). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p \leq 0.05$ ).

<b>Tratamiento</b>	<b>Peso fresca (g planta<sup>-1</sup>)</b>	<b>Peso seca (g planta<sup>-1</sup>)</b>
T0	251.1 <sup>a</sup>	58.25 <sup>ab</sup>
NPsCs	258.15 <sup>a</sup>	67.9 <sup>a</sup>
T1	261.25 <sup>a</sup>	63.8 <sup>a</sup>
T2	276.33 <sup>a</sup>	66.81 <sup>a</sup>
T3	269.45 <sup>a</sup>	50.9 <sup>b</sup>
T4	265.7 <sup>a</sup>	62.65 <sup>ab</sup>
T5	230.7 <sup>a</sup>	61.6 <sup>ab</sup>
T6	239.86 <sup>a</sup>	67.97 <sup>a</sup>
T7	260.55 <sup>a</sup>	62.75 <sup>ab</sup>
T8	251.1 <sup>a</sup>	56.3 <sup>ab</sup>

- **Longitud radicular**

La variable longitud radicular se presenta en la Tabla 8. El T0 (testigo absoluto) tuvo un incremento del 40% respecto del T6 (yodato de potasio 25mg L<sup>-1</sup>). Así como el T2 (yoduro de potasio 25 mg L<sup>-1</sup>) mostró un incremento del 38% respecto al T6. El fenómeno observado confirma lo que indica la literatura, en aplicaciones exógenas del I, siendo la forma de absorción de mayor efecto benéfico en las plantas el yoduro, tal como lo menciona Kiferle y colaboradores (2021). La elongación de la raíz no tuvo ningún efecto al aplicar los tratamientos, sin embargo, la raíz al ser el principal órgano de absorción de agua y de nutrientes se traduce a una mayor distribución de recursos para la planta (Hernández Valladares *et al.*, 2021).

**Tabla 8.** Longitud radicular en cm planta<sup>-1</sup>. Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p \leq 0.05$ ).

<b>Tratamientos</b>	<b>cm planta<sup>-1</sup></b>
T0	49.2 <sup>a</sup>
NPsCs	31.36 <sup>b</sup>
T1	40.7 <sup>ab</sup>
T2	48.7 <sup>a</sup>
T3	37.03 <sup>ab</sup>
T4	42.03 <sup>ab</sup>
T5	38.7 <sup>ab</sup>
T6	35.2 <sup>b</sup>
T7	40.2 <sup>ab</sup>
T8	39.2 <sup>ab</sup>

- **Biomasa radicular**

En la Tabla 9, se observa el resultado de biomasa de raíz fresca a los 120 ddt, donde el T8 (complejo de NPsCs-I con 25mg L<sup>-1</sup> de yodato) presentó un 85.21% de incremento respecto del T0 (testigo absoluto). Así mismo, este tratamiento presentó un incremento del peso seco de raíz del 103% respecto al T1 (yoduro de potasio 5mg L<sup>-1</sup>). Con estos resultados, se puede confirmar que los complejos de NPsCs-I tuvieron una mejor absorción foliar y translocación hasta la raíz, que podría estar asociada al incremento de biomasa. La literatura indica que existe una interdependencia de las raíces con la parte vegetativa, ya que un mayor desarrollo radicular se ve reflejado en un mayor crecimiento vegetativo aéreo tal como se observó en el T8 (Barrios *et al.*, 2014).

**Tabla 9.** Biomasa radicular fresca y seca (g planta<sup>-1</sup>). Letras diferentes indican diferencias significativas entre tratamientos (LSD  $p \leq 0.05$ ).

Tratamientos	Raíz fresca (g planta <sup>-1</sup> )	Raíz seca (g planta <sup>-1</sup> )
T0	86.84 <sup>b</sup>	58.05 <sup>bc</sup>
NPsCs	112.18 <sup>ab</sup>	56.82 <sup>bc</sup>
T1	50.51 <sup>b</sup>	40.45 <sup>c</sup>
T2	101.18 <sup>ab</sup>	63.54 <sup>abc</sup>
T3	111.34 <sup>ab</sup>	60.42 <sup>abc</sup>
T4	62.51 <sup>b</sup>	49.09 <sup>bc</sup>
T5	123.34 <sup>ab</sup>	63.8a <sup>bc</sup>
T6	92.84 <sup>ab</sup>	67.52 <sup>ab</sup>
T7	83.51 <sup>b</sup>	59.45 <sup>abc</sup>
T8	160.84 <sup>a</sup>	82.03 <sup>a</sup>

## CONCLUSIÓN

En el presente trabajo de investigación, se observó un efecto bioestimulante en los tratamientos NPsCs (Testigo con nanoquitosán), T4 (Complejo de NPsCs-I con 25mg L<sup>-1</sup> de yoduro), T7(Complejo de NPsCs-I con 5mg L<sup>-1</sup> de yodato) y T8 (Complejo de NPsCs-I con 25mg L<sup>-1</sup>) que impactaron en las variables diámetro de tallo, altura de la planta, número de hojas, conductancia estomática y acumulación de biomasa logrando un mejor desarrollo en el cultivo de tomate bajo las condiciones evaluadas. El fenómeno anterior se puede asociar a un mayor vigor de las plantas de tomate, así mismo los tratamientos representan una alternativa en la formulación de bioestimulantes que complementen el manejo agronómico convencional que se da en el cultivo de tomate a nivel comercial.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abood, KI, Abbas, AH, Abed, AS, Bahjat AL-Baiati, MN y Ab, ES (2022). Fármaco nanopoliqitosano-ampicilina: síntesis, caracterización y citotoxicidad. *Diario egipcio de química*, 65 (13), 1313-1318.
- Aghini Lombardi, F., Fiore, E., Tonacchera, M., Antonangeli, L., Rago, T., Frigeri, M., y Vitti, P. (2013). El efecto de la profilaxis voluntaria con yodo en una pequeña comunidad rural: la encuesta de Pescopagano 15 años después. *Revista de Endocrinología Clínica y Metabolismo*, 98 (3), 1031-1039.
- Agnihotri, SA, Mallikarjuna, NN y Aminabhavi, TM (2004). Avances recientes en micro y nanopartículas basadas en quitosano en la administración de fármacos. *Revista de liberación controlada*, 100 (1), 5-28.
- Arellano, J., Álvarez, D., Salinas, M. P., y Molina, I. (2020). Incidencia de síndrome de Stevens-Johnson y necrólisis epidérmica tóxica en Chile años 2001-2015 y su asociación con latitud. *Revista médica de Chile*, 148(7), 915-920.
- Arrizabalaga, J. J., Jalón, M., Espada, M., Cañas, M., Arena, J. M., y Vila, L. (2018). Estado de nutrición de yodo y prevalencia de concentraciones anormales de TSH en la población escolar de 6-7 años de la comunidad autónoma del País Vasco. *Endocrinología, Diabetes y Nutrición*, 65(5), 247-254.
- Bauchet, G. y Causse, M. (2012). Diversidad genética en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y sus parientes silvestres. *Diversidad genética en plantas*, 8, 134-162.
- Brandan, N., Llanos, IC, Miño, CA, y Ruiz, DA (2007). Hormonas tiroideas. Actualización. Argentina: Universidad Nacional del Nordeste, 1-7.
- Caffagni, A., Arru, L., Meriggi, P., Milc, J., Perata, P., y Pecchioni, N. (2011). Iodine fortification plant screening process and accumulation in tomato fruits and potato tubers. *Communications in soil science and plant analysis*, 42(6), 706-718. "Proceso de tamizaje en planta de fortificación con yodo y acumulación en frutos de tomate y tubérculos de papa. *Comunicaciones en ciencia del suelo y análisis de plantas*, 42(6), 706-718."
- Calvo López, T. (2014). Caracterización y purificación de una proteína de fusión.

- Campanelli, A., Ruta, C., Tagarelli, A., Morone-Fortunato, I., y De Mastro, G. (2014). Efectividad de hongos micorrízicos en la micropropagación de alcachofa (*Cynara cardunculus* L. var. *scolymus*). *Revista de Interacciones de Plantas*, 9 (1), 100-106.
- Carnide, V., & Barroso, M. D. R. (2006). Las cucurbitáceas: bases para su mejora genética. *Horticultura internacional*, 53, 16-21.
- Caro-León, F. J., López-Martínez, L. M., Lizardi-Mendoza, J., Argüelles-Monal, W., Goycoolea-Valencia, F. M., Carvajal-Millán, E., y López-Franco, Y. L. (2019). Métodos de preparación de nanopartículas de quitosano: una revisión. *Biotecnia*, 21(3), 13-25.
- Carrillo-Mora, P., García-Franco, A., Soto-Lara, M., Rodríguez-Vásquez, G., Pérez-Villalobos, J., & Martínez-Torres, D. (2021). Cambios fisiológicos durante el embarazo normal. *Revista de la Facultad de Medicina (México)*, 64(1), 39-48.
- Castro, F. D., Rodríguez-Hernández, J. A., Hubert-López, C., Sánchez-Pájaro, A., Rosas-Magallanes, C., Villalobos, A., y Barrientos-Gutiérrez, T. (2020). Curso masivo en línea “Salud sexual y reproductiva”: cambios en conocimientos, deserción, reprobación y satisfacción. *salud pública de méxico*, 62(5), 559-568.
- Chávarro-Bermeo, F. E., Arteaga-Díaz, J. M., & Roth-Deubel, A. N. (2021). Política mundial de yodación de sal: desafíos. *Revista de Salud Pública*, 23(6).
- Chouhan, D. y Mandal, P. (2021). Aplicaciones de quitosano y nanopartículas metálicas a base de quitosano en agrociencias-Una revisión. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 166, 1554-1569.
- Colin, L. (2003). Deterioro ambiental vs. Desarrollo económico y social. *Artículos técnicos*, 103, 1-6.
- Dávila Rangel, I.E., Trejo Téllez, L.I., Ortega Ortiz, H., Juárez Maldonado, A., González Morales, S., Companioni González, B., Cabrera De la Fuente, M., Benavides Mendoza, A., 2020. Comparison of Iodide, Iodate, and Iodine-Chitosan Complexes for the Biofortification of Lettuce. *Appl. Sci.* 10, 2378. <https://doi.org/10.3390/app10072378> “Comparación de complejos de yoduro, yodato y yodo-quitosano para la biofortificación de lechuga. *aplicación ciencia* 10, 2378. <https://doi.org/10.3390/app10072378>”



- Davy, H. (1813). Elementos de Química Agrícola, en un Curso de Conferencias para la Junta de Agricultura. *La Revista Mensual*, 35 (243), 577-599.
- De Escobar, GM (2005). Yodo y embarazo. Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia
- De Groote, F. y Falisse, A. (2021). Perspectiva sobre el modelado musculoesquelético y simulaciones predictivas del movimiento humano para evaluar la neuromecánica de la marcha. *Actas de la Royal Society B*, 288 (1946), 20202432.
- Dell Amico-Rodríguez, J. M., & Morales-Guevara, D. M. (2017). Comportamiento de la conductancia estomática de dos variedades de tomate cubanas en condiciones de campo y riego limitado. *Cultivos Tropicales*, 38(2), 137-144.
- Divya, K., & Jisha, M. S. (2018). Chitosan nanoparticles preparation and applications. *Environmental chemistry letters*, 16, 101-112. “Preparación y aplicaciones de nanopartículas de quitosano. *Cartas de química ambiental*, 16, 101-112”
- Divya, K., Smitha, V. y Jisha, MS (2018). Actividades antifúngicas, antioxidantes y citotóxicas de las nanopartículas de quitosano y su uso como recubrimiento comestible en vegetales. *Revista internacional de macromoléculas biológicas*, 114, 572-577.
- El Hadrami, A., Adam, LR, El Hadrami, I. y Daayf, F. (2010). El quitosano en la protección de plantas. *Medicamentos marinos*, 8 (4), 968-987.
- Eslava-Schmalbach, J., Eslava-González, L., 2021. Deficiencia de yodo en mujeres gestantes indígenas en Colombia: un problema de equidad y de salud pública. *Rev. Colomb. Obstet. Ginecol.* 72, 7–11. <https://doi.org/10.18597/rcog.3675>
- Espinosa-Antón, A. A., Hernández-Herrera, R. M., y González-González, M. (2020). Extractos bioactivos de algas marinas como bioestimulantes del crecimiento y la protección de las plantas. *Biotecnología Vegetal*, 20(4), 257-282.
- Fernández-Pérez, G. C., Piñeiro, C. F., Miranda, M. O., Blanco, M. D., Chaín, J. M., & Martínez, M. C. (2022). Energía Dual en TC. Consideraciones técnicas y aplicaciones clínicas. *Radiología*, 64(5), 445-455.
- Fuge, R., Johnson, C.C., 2015. Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Appl. Geochemistry* 63, 282–302.

<https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.013> “El yodo y la salud humana, el papel de la geoquímica ambiental y la dieta, una revisión. aplicación Geoquímica 63, 282–302”

- Gao, H., Huang, X., He, J., Zou, T., Chen, X. y Xu, H. (2022). Las funciones de la microglía en la remodelación neural durante la degeneración de la retina.
- García, M. G., Takahashi, A. M. L., Huerta, F. J. G., & Aslan, Z. A. T. (2014). Cáncer diferenciado de tiroides: una antigua enfermedad con nuevos conocimientos. *Gaceta médica de México*, 150(1), 65-77.
- Garnett, T., Appleby, MC, Balmford, A., Bateman, IJ, Benton, TG, Bloomer, P., y Godfray, HCJ (2013). Intensificación sostenible en la agricultura: premisas y políticas. *Ciencia*, 341 (6141), 33-34.
- Gómez Navarro, D. A., Alvarado López, R. A., Martínez Domínguez, M., & Díaz de León Castañeda, C. (2018). La brecha digital: una revisión conceptual y aportaciones metodológicas para su estudio en México. *Entreciencias: diálogos en la sociedad del conocimiento*, 6(16), 47-62.
- Gouda, S., Kerry, RG, Das, G., Paramithiotis, S., Shin, HS y Patra, JK (2018). Revitalización de rizobacterias promotoras del crecimiento vegetal para el desarrollo sostenible en la agricultura. *Investigación microbiológica*, 206, 131-140.
- Halpern, KB, Caspi, I., Lemze, D., Levy, M., Landen, S., Elinav, E., y Itzkovitz, S. (2015). Retención nuclear de ARNm en tejidos de mamíferos. *Informes celulares*, 13 (12), 2653-2662.
- Hernández, EDD y Reyes-Romero, JR (2019). Características de los materiales poliméricos utilizados en medicina. En *Materiales para Ingeniería Biomédica* (pp. 479-506). Elsevier.
- Jácome Roca, A., 2021. La revolución del yodo en el siglo XIX. *Rev. Colomb. Endocrinol. Diabetes Metab.* 8, 105–114. <https://doi.org/10.53853/encr.8.2.707>
- Jha, AB y Warkentin, TD (2020). Biofortificación de cultivos de leguminosas: Estado y perspectivas futuras. *Plantas*, 9 (1), 73.
- Karmisholt, J., Andersen, S. y Laurberg, P. (2010). Objetivos analíticos para las pruebas de función tiroidea en el seguimiento de pacientes con hipotiroidismo subclínico no

tratado. *Revista escandinava de investigación clínica y de laboratorio*, 70 (4), 264-268.

Kashyap, P.L., Xiang, X., Heiden, P., 2015. Chitosan nanoparticle based delivery systems for sustainable agriculture. *Int. J. Biol. Macromol.* 77, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.02.039> “Sistemas de suministro basados en nanopartículas de quitosano para la agricultura sostenible. En t. *J. Biol. macromol.* 77, 36–51. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2015.02.039>”

Kiferle, C., Martinelli, M., Salzano, AM, Gonzali, S., Beltrami, S., Salvadori, PA, & Perata, P. (2021). Evidencias de un papel nutricional del yodo en las plantas. *Fronteras en la ciencia de las plantas*, 12, 616868.

Kosečková, P., Zvěřina, O., Pěchová, M., Krulíková, M., Duborská, E., & Borkovcová, M. (2022). Mineral profile of cricket powders, some edible insect species and their implication for gastronomy. *Journal of Food Composition and Analysis*, 107, 104340. “Perfil mineral de polvos de grillo, algunas especies de insectos comestibles y su implicación en la gastronomía. *Revista de composición y análisis de alimentos*, 107, 104340.”

Leija-Martínez, P., Benavides-Mendoza, A., Rocha-Estrada, A., & Medrano-Macías, J. R. (2016). Biofortificación con yodo en plantas para consumo humano. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 7(8), 2025-2036.

Li, N., Wu, X., Zhuang, W., Xia, L., Chen, Y., Wu, C., Rao, Z., Du, L., Zhao, R., Yi, M., Wan, Q., Zhou, Y., 2021. Tomato and lycopene and multiple health outcomes: Umbrella review. *Food Chem.* 343. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128396> “Tomate y licopeno y múltiples resultados de salud: revisión general. *Química alimentaria* 343. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128396>”

Lopez-Corona, B. E., Mondaca-Fernandez, I., Gortares-Moroyoqui, P., Peña, J. H., Meza-Montenegro, M. M., de Jesus Balderas-Cortes, J., y Vargas-Lopez, J. M. (2019). Technique of cutting in agriculture: an alternative at the vanguard. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 22(2). “Técnica de corte en la agricultura: una alternativa a la vanguardia. *Agroecosistemas tropicales y subtropicales*, 22(2).”

- Ma, Z.F., Venn, B.J., Manning, P.J., Cameron, C.M., Skeaff, S.A., 2018. The sensitivity and specificity of thyroglobulin concentration using repeated measures of urinary iodine excretion. *Eur. J. Nutr.* 57, 1313–1320. <https://doi.org/10.1007/s00394-017-1410-6> “La sensibilidad y especificidad de la concentración de tiroglobulina usando medidas repetidas de excreción urinaria de yodo. *EUR. J. Nutr.* 57, 1313-1320”
- Malerba, M., Cerana, R., 2016. Chitosan Effects on Plant Systems. *Int. J. Mol. Sci.* 17, 996. <https://doi.org/10.3390/ijms17070996> “Efectos del quitosano en los sistemas vegetales. *En t. J. Mol. ciencia* 17, 996”
- Malerba, M., Cerana, R., 2019. Recent applications of chitin- and chitosan-based polymers in plants. *Polymers (Basel)*. <https://doi.org/10.3390/polym11050839> “Aplicaciones recientes de polímeros a base de quitina y quitosano en plantas. *Polímeros (Basilea)*.”
- Manzoni, S., Vico, G., Katul, G., Palmroth, S., Jackson, RB y Porporato, A. (2013). Límites hidráulicos sobre la transpiración máxima de la planta y la aparición del compromiso seguridad-eficiencia. *New Phytologist* , 198 (1), 169-178.
- Mármol, Z. (2011). Quitina y quitosano plímeros amigables. *Revista Tecnocientífica URU*, (1).
- Medrano-Macías, J., Leija-Martínez, P., González-Morales, S., Juárez-Maldonado, A., Benavides-Mendoza, A., 2016. Use of iodine to biofortify and promote growth and stress tolerance in crops. *Front. Plant Sci.* 7, 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01146> “Uso de yodo para biofortificar y promover el crecimiento y la tolerancia al estrés en los cultivos. *Frente. ciencia de las plantas* 7, 1–20.”
- Mehrazar, E., Rahaie, M. y Rahaie, S. (2015). Aplicación de nanopartículas para pesticidas, herbicidas, fertilizantes y manejo de alimentos para animales. *Revista Internacional de Nanopartículas*, 8 (1), 1-19.
- Mejía-Bautista, M. Á., Reyes-Ramírez, A., Cristóbal-Alejo, J., Tun-Suárez, J. M., Borges-Gómez, L. D. C., y Pacheco-Aguilar, J. R. (2016). *Bacillus* spp. en el control de la marchitez causada por *Fusarium* spp. en *Capsicum chinense*. *Revista mexicana de fitopatología*, 34(3), 208-222.

- Melini, F., Melini, V., Luziatelli, F., Ficca, AG y Ruzzi, M. (2019). Componentes que promueven la salud en alimentos fermentados: una revisión sistemática actualizada. *Nutrientes*, 11 (5), 1189.
- Mengel, K., & Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal*.
- Moreira Andrade, R. Y. (2013). Efectos de la inclusión de morera (*Morus alba*) sobre variables productivas y fisiológicas en pollos portadores del gen cuello desnudo (Na) (Bachelor's thesis, Quevedo-Ecuador).
- Narváez-Rivera, R. M., Cortez-Hernández, C. A., González-González, J. A., Tamayo-De La Cuesta, J. L., Zamarripa-Dorsey, F., Torre-Delgadillo, A.... & Bosques-Padilla, F. J. (2013). Consenso mexicano de hipertensión portal. *Revista de Gastroenterología de México*, 78(2), 92-113.
- Paliwal, V., Raju, SC, Modak, A., Phale, PS y Purohit, HJ (2014). *Pseudomonas putida* CSV86: un genoma candidato para bioaumentación genética. *PLoS Uno*, 9 (1), e84000.
- Pichyangkura, R., Chadchawan, S., 2015. Biostimulant activity of chitosan in horticulture. *Sci. Hortic. (Amsterdam)*. 196, 49–65. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.031>
- Pretell, E. A., Higa, A. M., Zimmermann, M. B., Collantes, J., Condori, J., Meza, E. M.... & Cordero, L. (2022). Eliminación y prevención de la deficiencia de yodo en mujeres gestantes de Perú. *Acta Médica Peruana*, 39(1), 7-14.
- Rabea, EI, Badawy, MET, Stevens, CV, Smagghe, G. y Steurbaut, W. (2003). El quitosano como agente antimicrobiano: aplicaciones y modo de acción. *Biomacromoléculas*, 4 (6), 1457-1465.
- Reyes-Pérez, J. J., Rivero-Herrada, M., Solórzano-Cedeño, A. E., Carballo-Méndez, F. D. J., Lucero-Vega, G., & Ruiz-Espinoza, F. H. (2021). Aplicación de ácidos húmicos, quitosano y hongos micorrízicos como influyen en el crecimiento y desarrollo de pimiento. *Terra Latinoamericana*, 39.
- Risher, J. (2004). Perfil toxicológico del yodo.
- Roca, AJ (2021). La revolución del yodo en el siglo XIX. *Revista Colombiana de Endocrinología, Diabetes & Metabolismo*, 8 (2).

- Rodríguez Mazariegos, R. M., & Barrios Robles, R. M. (2014). Validación del pielograma intravenoso en proceso obstructivo de las vías urinarias y su diagnóstico (Doctoral dissertation, Universidad de San Carlos de Guatemala).
- Rodríguez, A. D. C., Lazo, N. C., & Suárez, J. O. Z. (2018). Disfunción tiroidea: despistaje durante la gestación. *Rev Obstet Ginecol Venez*, 78(4), 278-285.
- Rodríguez-Larramendi, L. A., Salas-Marina, M. Á., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R. A., Cruz-Macías, W. O., de la Cruz-Morales, M., & Guevara-Hernández, F. (2021). Efecto fisiológico de la disponibilidad de agua y nitrógeno en plantas de guayaba. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 24, 19.
- Rojas, N. B. A., de la Noval García, R., Herrera, A. D., Núñez, J. C. C., Medina, R. S., & Guzmán, A. C. (2014). Estimación del riesgo cardiovascular mediante tablas de la Organización Mundial de la Salud. Área de salud “Héroes del Moncada”. *Revista Cubana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular*, 20(1).
- Rojas-Solís, D., Contreras-Pérez, M., & Santoyo, G. (2013). Mecanismos de estimulación del crecimiento vegetal en bacterias del género *Bacillus*. *Biológicas*, 15(2), 36-41.
- Saharan, V., Mehrotra, A., Khatik, R., Rawal, P., Sharma, S.S., Pal, A., 2013. Synthesis of chitosan based nanoparticles and their in vitro evaluation against phytopathogenic fungi. *Int. J. Biol. Macromol.* 62, 677–683. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2013.10.012> “Síntesis de nanopartículas a base de quitosano y su evaluación in vitro frente a hongos fitopatógenos. En t. *J. Biol. macromol.* 62, 677–683.”
- Sánchez Montero, J. M. (2009). Compuestos orgánicos volátiles en el medio ambiente. Monografías de la Real Academia Nacional de Farmacia.
- Sanz-Valero, J., Casterá, V. T., & Wanden-Berghe, C. (2014). Estudio bibliométrico de la producción científica publicada por la Revista Panamericana de Salud Pública/Pan American Journal of Public Health en el período de 1997 a 2012. *Revista Panamericana de Salud Pública*, 35(2), 81-88.
- Saunders, J., Call, B., Curtis, A., Beard, R., & McLain, T. (2005). Static and dynamic obstacle avoidance in miniature air vehicles. In *Infotech@ Aerospace* (p. 6950). “Evasión de obstáculos estáticos y dinámicos en vehículos aéreos en miniatura. En *Infotech@ Aerospace* (pág. 6950).”

- Schilling, C., Klau, LJ, Aachmann, FL, Rühmann, B., Schmid, J. y Sieber, V. (2022). Elucidación estructural del polisacárido que contiene fucosa de *Paenibacillus polymyxa* DSM 365. *Carbohydrate Polymers*, 278, 118951.
- SCFI, 1998. NMX-FF-031-1997-SCFI. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Hortalizas frescas. tomate - (*Lycopersicon esculentum* Mill.).
- Soriano, J. B., Rojas-Rueda, D., Alonso, J., Antó, J. M., Cardona, P. J., Fernández, E y Trujillo, U. (2018). La carga de enfermedad en España: resultados del Estudio de la Carga Global de las Enfermedades 2016. *Medicina clinica*, 151(5), 171-190.
- Sucharda, O., Mateckova, P. y Bilek, V. (2020). Análisis no lineal de una viga CR sin armadura de cortante con un estudio de sensibilidad de las propiedades materiales del hormigón. *Revista eslovaca de ingeniería civil*, 28 (1), 33-43.
- Supotngarmkul, A, Panichuttra, A., Ratisoontorn, C, Nawachinda, M. y Matangkasombut, O. (2020). Propiedad antibacteriana del quitosano contra la cepa estándar y los aislados clínicos de *E. faecalis*. *Revista de materiales dentales*, 39 (3), 456-463.
- Tandon, KS, Baldwin, EA y Shewfelt, RL (2000). Percepción del aroma de compuestos volátiles individuales en tomates frescos (*Lycopersicon esculentum*, Mill.) afectados por el medio de evaluación. *Biología y tecnología poscosecha* , 20 (3), 261-268.
- Valenzuela, C., & Arias, J. I. (2012). Potenciales aplicaciones de películas de quitosano en alimentos de origen animal: una revisión. *Avances en ciencias veterinarias*, 27(1).
- Vargas-Uricoechea, H., Pinzón-Fernández, M.V., Bastidas-Sánchez, B.E., 2018. Historia del bocio endémico, desde Sheng-Nung hasta los programas de yodación universal de la sal en Latinoamérica. *Ces Med.* 32, 167–177. <https://doi.org/10.21615/cesmedicina.32.2.10>
- Villafañe-Trujillo, Á. J., Kolowski, J. M., Cove, M. V., Medici, E. P., Harmsen, B. J., Foster, R. J, & López-González, C. A. (2021). Activity patterns of tayra (*Eira barbara*) across their distribution. *Journal of Mammalogy*, 102(3), 772-788. “Patrones de actividad de tayra (*Eira barbara*) a lo largo de su distribución. *Revista de mamalogía*, 102(3), 772-788.”
- Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. y Foolad, MR (2007). Tolerancia al calor en las plantas: una descripción general. *Botánica ambiental y experimental*, 61 (3), 199-223.

- WHITE, P., BROADLEY, M., 2005. Biofortifying crops with essential mineral elements. *Trends Plant Sci.* 10, 586–593. <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.10.001> “Biofortificante de cultivos con elementos minerales esenciales. *Tendencias Plant Sci.* 10, 586–593.”
- Whitehead, JA, Leetmaa, A. y Knox, RA (1974). Hidráulica rotativa de flujos estrechos y de travesaño. *Dinámica de fluidos geofísica y astrofísica*, 6 (2), 101-125.
- Zava, T.T., Zava, D.T., 2011. Assessment of Japanese iodine intake based on seaweed consumption in Japan: A literature-based analysis. *Thyroid Res.* <https://doi.org/10.1186/1756-6614-4-14> “Evaluación de la ingesta japonesa de yodo basada en el consumo de algas marinas en Japón: un análisis basado en la literatura. *Res de la tiroides*”
- Zimmermann, MB y Andersson, M. (2012). Evaluación de la nutrición de yodo en las poblaciones: pasado, presente y futuro. *Revisiones de nutrición*, 70 (10), 553-570