

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Biofortificación De Tomate Utilizando Complejos De Quitosan-Yodo Y Sus Efectos En
Postcosecha

Por:

ELIZABETH TORRES RUÍZ

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México
Diciembre, 2021

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Biofortificación De Tomate Utilizando Complejos De Quitosan-Yodo Y Sus Efectos En
Postcosecha

Por:

ELIZABETH TORRES RUÍZ

TESIS

Presentada como requisito para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:

Dr. Alberto Benavides Mendoza

Asesor Principal

Dr. Armando Hernández Pérez

Coasesor

Dr. Víctor Manuel Salas Reyes

Coasesor

Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Diciembre, 2021



Declaración de no plagio

El autor quien es el responsable directo, juro bajo protesta de decir verdad que no se incurrió en plagio o conducta académica incorrecta en los siguientes aspectos:
Reproducción de fragmentos o textos sin citar la fuente o autor original (corta y pega); reproducir un texto propio publicado anteriormente sin hacer referencia al documento original (auto plagio); comprar, robar o pedir prestados los datos de la tesis para presentar como propia; omitir referencias bibliográficas o citar textualmente sin usar comillas; utilizar ideas o razonamientos de un autor sin citarlos; utilizar material digital como imágenes, videos, ilustraciones, graficas, mapas o datos sin citar al autor original y/o fuente, así mismo tengo conocimiento cualquier uso distinto de esto materiales como el lucro, reproducción edición o modificación, será perseguido y sancionado por las autoridades correspondientes.
Por lo anterior me responsabilizo de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir declaro que este trabajo es original.

Pasante



Elizabeth Torres Ruíz

AGRADECIMIENTOS

Primero agradecerle a dios por mandarme a esta vida por permitir culminar con éxito mi tan anhelada carrera, estar con mis padres y mis hermanos, darme salud, sabiduría y fortaleza en todo momento.

A mis padres:

Wilfrido Torres López y Margarita Ruiz Santos por darme la oportunidad de estudiar una carrera, gracias a sus consejos y palabras de aliento me han ayudado a crecer como persona, a luchar por lo que quiero gracias por enseñarme valores que me han llevado a alcanzar una gran meta.

A mi ALMA TERRA MATER; mi agradecimiento eterno a mi universidad, después de años de esfuerzos, sacrificios, dedicación y grandes alegrías llego el día en que miraría hacia tras el camino recorrido por tus pasillos y aulas y me detengo por agradecerte por todo.

Al Dr. Alberto Benavides Mendoza; por darme la oportunidad de colaborar con él en este proyecto.

Al Dr. Sergio Zeferino Garza Vara por apoyarme en uno de los momentos más difíciles de mi etapa como universitaria, gracias por siempre estar al pendiente de cada uno de los pasos que daba y no dejarme caer, le estaré eternamente agradecida por todo lo que hizo por mí, que Dios lo bendiga siempre.

Al Dr. Armando Hernández Pérez; por darme la oportunidad de llevar a cabo este trabajo y la confianza que puso en mí, por ser un ejemplo a seguir, por dedicarme un poco de su tiempo para lograr terminar este trabajo de investigación, gracias por su paciencia y apoyo.

A mis amigas incondicionales María Juvencia Morales Contreras y Margarita Balderas Gaytán gracias por brindarme todo su apoyo durante esta etapa, siempre dándome ánimos para salir adelante y por más duras que sean las cosas siempre va haber una salida para todo; a mis amigos, Deyalem Adame Adame, Belén Muñoz Rocha, Susana Pérez Domínguez, Mariel Ramírez Jiménez, Carlos López, Darinel Gálvez, Felicitas Badillo Suarez y Samuel López, gracias por brindarme su amistad y por esos bonitos momentos que pasamos juntos.

A mis hermanos: Baltazar Torres Ruiz, Guadalupe Torres Ruiz, Jaime Torres Ruiz, Miguel Ángel Torres Ruiz, Daniel Torres Ruiz y Ana Luisa Torres Ruiz, gracias por su

apoyo, cariño y por estar en los momentos más importantes de mi vida. Este logro también es de ustedes.

DEDICATORIA

A MIS PADRES

Wilfrido Torres López Y Margarita Ruiz Santos, por haberme dado la vida, por darme todo su apoyo incondicional, emocional y económico, por haberme forjado como persona que soy en la actualidad, mucho de mis logros de los debo a ustedes entre los que se incluye este, me formaron con reglas y con algunas libertades, pero al final de cuentas me motivaron constantemente para alcanzar mis metas, gracias por todo los quiero mucho.

A MIS ABUELAS

Francisca López santos y Rosalía santos Cortez, que a pesar de que ya no estén conmigo les doy las gracias por su paciencia, por enseñarme el camino de la vida, por el amor que me dieron.

A MIS HERMANOS (AS)

Baltazar Torres Ruiz, Guadalupe Torres Ruiz, Jaime Torres Ruiz, Miguel Ángel Torres Ruiz, Daniel Torres Ruiz Y Ana Luisa Torres Ruiz, que en el día a día con su presencia, respaldo, cariño y por los sacrificios que hizo cada uno de ustedes para que yo saliera adelante y no me faltara nada, me impulsaron para salir adelante, a además de saber que mis logros también son los suyos, le doy gracias a dios por los buenos hermanos que me dio y que a pesar de todo siempre nos apoyamos unos a los otros los quiero.

Al Dr. Sergio Zeferino Garza Vara

Por tu apoyo incondicional, y siempre estar para mi apoyándome en todo momento, llevándome de aquí para allá, la ayuda que me brindo fue y ha sido sumamente importante, estuvo conmigo en los momentos y situaciones más difíciles, me apoyo hasta donde le fue posible, para nunca darme por vencida, enfrentando cualquier obstáculo que la vida me ponga y decir si se pude, incluso más que eso, muchísimas gracias.

Al ing. Ricardo vaquera

Gracias por creer en mí, por brindarme su apoyo cuando más lo necesitaba, y siempre darme ánimos para continuar y salir adelante este proyecto no fue fácil peros siempre estuvo motivándome hasta donde sus alcances lo permitían gracias y que dios siempre lo bendiga.

A MI UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

Gracias por haberme dado la bienvenida al mundo como tal, las oportunidades que me ha brindado son incomparables, y antes de todo esto ni siquiera pensaba que fuera posible que algún, por ser mi segundo hogar, forjarme como estudiante y que hoy en día sea llamado ingeniero agrónomo horticultor.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|----|
| RESUMEN..... | 5 |
| INTRODUCCIÓN..... | 6 |
| OBJETIVOS..... | 9 |
| HIPÓTESIS..... | 9 |
| REVISIÓN DE LITERATURA..... | 10 |
| Historia..... | 10 |
| Descripción de la especie en estudio..... | 11 |
| Descripción taxonómica..... | 11 |
| Descripción morfológica..... | 12 |
| Requerimientos climáticos..... | 13 |
| Principales plagas del tomate..... | 14 |
| Importancia del Yodo..... | 14 |
| Transporte del yodo en las plantas..... | 16 |
| Yodo en la salud humana..... | 16 |
| Funciones del yoduro-yodato..... | 17 |
| Biofortificación de cultivos con yodo..... | 17 |
| Biofortificación de cultivos con yodo-quitosan..... | 18 |
| MATERIALES Y MÉTODOS..... | 20 |
| Ubicación del experimento..... | 20 |
| Material vegetativo..... | 20 |
| Tratamientos..... | 21 |
| Riego..... | 23 |
| Muestreo..... | 23 |

| | |
|--|----|
| VARIABLES EVALUADAS..... | 23 |
| Peso fresco..... | 23 |
| Diámetro polar y Diámetro ecuatorial | 23 |
| Firmeza..... | 24 |
| Sólidos solubles totales (°Brix)..... | 24 |
| pH y Conductividad eléctrica | 24 |
| Análisis estadístico | 24 |
| RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 25 |
| Peso fresco de fruto..... | 25 |
| Firmeza..... | 26 |
| Sólidos solubles totales | 27 |
| pH | 28 |
| Conductividad eléctrica..... | 29 |
| Peso seco | 30 |
| CONCLUSIÓN..... | 32 |
| LITERATURA CITADA | 33 |
| ANEXOS..... | 36 |

ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** El invernadero del campo experimental UAAAN donde se llevo acabo el experimento.....20
- Figura 2.** Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan en el peso fresco de frutos de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.0478$, día 3 ANVA $p \leq 0.2669$, día 6 ANVA $p \leq 0.0290$, día 9 ANVA $p \leq 0.0684$, día 12 ANVA $p \leq 0.7591$. Las letras A y B son las obtenidas en categoría de la comparación de medias con Tukey.... 26
- Figura 3.** Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan en la firmeza del fruto de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.0405$, día 3 ANVA $p \leq 0.0054$, día 6 ANVA $p \leq 0.7589$, día 9 ANVA $p \leq 0.3306$, día 12 ANVA $p \leq 0.2724$. Las letras A y B son las categorías obtenidas en la comparación de medias con Tukey.....27
- Figura 4.** Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan en los sólidos solubles totales del fruto de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.9067$, día 3 ANVA $p \leq 0.7420$, día 6 ANVA $p \leq 0.0130$, día 9 ANVA $p \leq 0.4333$, día 12 ANVA $p \leq 0.5441$. Las letras A y B son las obtenidas en categoría de la comparación de medias con Tukey.....28
- Figura 5.** Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan en pH del fruto de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.4794$, día 3 ANVA $p \leq 0.8372$, día 6 ANVA $p \leq 0.7511$, día 9 ANVA $p \leq 0.6681$, día 12 ANVA $p \leq 0.0135$. Las letras A, B, C y D son las categorías obtenidas en la comparación de medias con Tukey.....29
- Figura 6.** Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan en la conductividad eléctrica del fruto de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.1940$, día 3 ANVA $p \leq 0.5021$, día 6 ANVA $p \leq 0.4040$, día 9 ANVA $p \leq 0.7469$, día 12 ANVA $p \leq 0.0205$. Las letras A, B, C y D son las categorías obtenidas en la comparación de medias con Tukey.....30
- Figura 7.** Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan en el peso seco fruto de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.2179$, día 3 ANVA $p \leq 0.3318$, día 6 ANVA $p \leq 0.0168$, día 9 ANVA $p \leq 0.7104$, día 12 ANVA $p \leq 0.8688$. Las letras A y B son las categorías obtenidas en la comparación de medias con Tukey.....31

RESUMEN

El cultivo de tomate es uno de las hortalizas más importantes tanto en México como a nivel mundial por ser uno de los ingredientes principales en la gastronomía mexicana. En cuanto al quitosan su uso es muy amplio por el potencial biológico que tiene principalmente por poseer una actividad microbiana, además de tener un buen efecto en cuanto a la conservación de los frutos y vegetales en el periodo de cosecha y postcosecha, de esta forma el quitosan pudiera ser un producto con influencia positiva en el cultivo de tomate. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue evaluar el impacto que tiene complejos de quitosan- KI y quitosan-KIO₃ en la postcosecha de los frutos de tomate cv El cid, los tratamientos evaluados fueron complejos de quitosan- KI y quitosan-KIO₃ en concentraciones de 5 y 25 mg l por kg de sustrato aplicados durante el trasplante, además se utilizaron dos testigos, uno solo con agua y otro con quitosan, dando así un total de 10 tratamientos con 5 repeticiones. La evaluación se realizó en los frutos del tercer racimo por un periodo de 12 días con evaluaciones cada tercer día, Las variables evaluadas fueron: peso fresco de fruto (PFF), diámetro polar y ecuatorial, firmeza, solido solubles totales (°B), pH, conductividad eléctrica (CE) y peso seco de fruto (PSF). En la mayoría de las variables evaluadas solo se encontró diferencia significativa en máximo dos de los días evaluados por lo que se llegó a la conclusión que la Biofortificación de los complejos Cs-KI, KIO₃ en el fruto de tomate durante la postcosecha no se obtuvieron los resultados esperados en la vida de anaquel del fruto ya que se esperaba que el fruto durara más días de lo que un fruto normal. Sin embargo, en el día 0 se registró mayor peso fresco de fruto con la aplicación de KI-5 y mayor peso seco con KI-25 en el día 6.

Palabras clave: Vida de anaquel, Calidad, *Solanum lycopersicum*, yodo.

INTRODUCCIÓN

El tomate pertenece a la familia de la solanácea cuyo nombre científico es *Solanum lycopersicum L.*, es originario de la región andina es una de las hortalizas que más se siembra, se caracteriza por ser un cultivo intensivo ya que hay producción durante todo el año por pequeños y grandes productores muy importante su consumo es muy alto tanto a nivel mundial como a nivel nacional (López *et al.*, 2016). La venta del tomate puede ser individual o en racimo. Aproximadamente el 75% de la producción global del tomate se usa para su consumo en fresco, cabe mencionar que el otro 25% es para uso industrial (Tajlling *et al.*, 2006).

El yodo es un microelemento esencial para la vida del ser humano y los animales en general, es necesario consumir yodo en las cantidades adecuadas para la síntesis y secreción de las hormonas tiroideas, estas hormonas son de suma importancia para el desarrollo, para el funcionamiento de todos los organismos. Cuando no se consume la cantidad de yodo adecuada trae como consecuencia una deficiencia hormonal tiroidea de las cuales se van desarrollando una serie de anormalidades funcionales y el desarrollo conjuntamente conocida como deficiencia de yodo (DDI) (Pretell, Zarate, 2008). Por ejemplo, en caso de una persona embarazada que padezca de deficiencia de yodo puede traer consecuencias como daños en el desarrollo cerebral y auditivo en el feto. Es importante mencionar que el yodo es fundamental para que se lleve a cabo las síntesis de las hormonas la triyodotironina y la tiroxina estas se encargan de regular numerosas funciones esenciales del metabolismo como por ejemplo el control de la temperatura, crecimiento y desarrollo del organismo, las necesidades del yodo se van a vasar en la edad de las personas, pero estos se van a triplicar en una persona embarazada y durante la lactancia ya que son mayores los requerimientos (Arrobas-González *et al.*, 2011).

Este mineral se dice que poseemos aproximadamente 50 mg en todo el cuerpo, el 10 de ellos se encuentran en las glándulas tiroides. Los otros 40 se almacenan en la tiroides, riñones suprarrenales y en los órganos sexuales, cuando se encuentra dentro del

organismo se une a un aminoácido llamado tirosina formando una hormona llamada tiroxina esta es de suma importancia ya que, es indispensable para más de 100 procesos como es la producción de energía, crecimiento reproducción, funcionamiento del sistema nervioso entre otros. El consumo excesivo de cloruro de sodio conocido como sal, ocasiona presión arterial alta, problemas en los riñones y cáncer en el estómago (Ticona Noblez, 2018).

Para que nuestro organismo funcione adecuadamente la sal es indispensable, pero si se consume en exceso puede traer grandes consecuencias para la salud como es la hipertensión arterial y enfermedades al corazón. actualmente la Food and Drug Administration (FDA) dice que el 75% de la población mundial consumen cantidades enormes de sodio por medio de los alimentos procesados, y de restaurantes se dice que es el doble de lo que se recomienda consumir y los otros 25% se ingieren al cocinar y en la mesa, la cantidad de sal recomendada por la OMS en los adultos es de aproximadamente de 6 g/día, en niño de 10 años es no más de 4 g y los menores de 7 años es de no más de 3 g/día (Carmona, 2013).Es importante mencionar que el contenido de yodo en yoduro de potasio es de 76.4% y en yodato de potasio es de 59.3%. (Rosales Flores,2016).

La organización mundial de la salud (OMS) dice que el déficit de yodo es uno de los principales problemas a nivel global es evitable tanto de retraso mental como de parálisis cerebral, afectando en grado variable el desarrollo y bienestar de más de 1000 millones de personas en el mundo esto viene siendo aproximadamente una quinta parte de la población a nivel mundial (de la Paz Basabe *et al.*, 2008).

El ser humano necesita aproximadamente consumir alrededor de 100 a 150 μg de yodo por día, va a variar de acuerdo con la edad, el embarazo y la lactancia. Las principales fuentes de yodo son animales de origen marino como por ejemplo; el pescado, este contiene alrededor de 120 a 250 μg de yodo que viene siendo alrededor de 100 g, los mariscos abarcan de 80 a 160 μg que es igual a 100 g, la sal yodada tiene un aporte diario de 150 a 200 μg , la cantidad de yodo en la leche materna va de 4 a 18 μg esto viene siendo 100 ml, en la leche de vaca se encuentra de 3.3 a 15 μg que es igual a 100

ml, en fórmulas lácteas para lactantes tienen de 3.9 a 14 μg que es igual a 100 ml, una pequeña cantidad de agua potable tiene de 1 a 1.5 μg que son 100 ml. Cuando hay un exceso de yodo en el cuerpo trae como consecuencia, fallo renal, vomito, dolores abdominales y diarrea, también puede llevar a un hipotiroidismo por la inhibición de la proteólisis en la tiroglobulina (Martínez *et al.*, 2005).

Embace a todo lo que se ha estudiado y por la poca información que hay acerca del yodo, es indispensable estudiar otras fuentes biodisponibles del yodo en los alimentos esto con la intención de evitar su volatilización. Por lo que el objetivo de este estudio es evaluar el yodo en formas de sales complejos de yodo-quitosano en el cultivo de tomate con la finalidad de observar el efecto que tiene en el crecimiento y biomasa del fruto.

OBJETIVOS

Objetivo general

Evaluar el impacto que tiene complejos de quitosan- KI y quitosan-KIO₃ en la postcosecha de los frutos de tomate cv El cid.

Objetivos específicos

Evaluar el efecto de los complejos Cs-KI, KIO₃ con quitosan, como puede influir en la postcosecha y calidad del fruto.

Determinar cómo influye los complejos de quitosan-yodo (Cs-I) en la vida de anaquel del fruto.

HIPÓTESIS

Posiblemente la aplicación de complejos Cs-I tengan algún efecto sobre la biomasa o aumento de la vida de anaquel del fruto.

REVISIÓN DE LITERATURA

Historia

El tomate es originario de Sudamérica, para ser más exactos en la región andina en donde distintos grupos de población la dispersaron por todo el continente. El tomate fue domesticado por nativos americanos quienes empezaron el proceso de mejoramiento mediante la selección de plantas con buenas características y excelentes características del fruto, la palabra tomate proviene del náhuatl de México donde era conocido como tomatl (Rodríguez Esquivel,2020). Se dice que el tomate en América precolombina, formó parte de los pequeños huertos de hortalizas del área mesoamericana, cabe mencionar que en la actualidad en el centro de México se sigue usando la palabra jitomate (Carreón, Saldivar,2012). El tomate es una planta hermafrodita autógena del 3 al 5% de su fecundación es llevada a cabo por insectos (Collazo Balderas, 2015).

El tomate es una de las principales hortalizas que es cultivada en invernadero en México y en el mundo. Su producción bajo invernadero tiene varias ventajas sobre la producción en comparación a campo abierto, ya que se tiene un mejor control en las variables ambientales y agronómicas se puede decir que la producción en invernadero es mejor en calidad y cantidad que, la se producción a campo abierto (Flores Ojeda *et al.*, 2007).

Hay diferentes variedades que son comerciales de esta especie, eso se va a elegir de acuerdo a la región en la que se va a producir el tomate, para esto se hace la selección de semillas de genotipos híbridos, ya sea de crecimiento determinado o indeterminado, con un porcentaje de germinación adecuado, vigor, y resistencia a las plagas, enfermedades y buenos rendimiento (Carreón Saldivar,2012).

La mayor parte de la producción era realizada a campo, fue hasta en la década de los 80 donde hubo un incremento en el uso de invernaderos con esta modalidad hubo un fuerte incremento en los rendimientos de los cultivos hortícolas, esto se debió a la implementación de innovaciones tecnológicas, debido a esto los productores empezaron a usar variedades mejoradas e incorporación de híbridos de tal forma que hubo un incremento en fertilizantes, y en mejoramiento en la tecnología de riego. Los rendimientos

actualmente el rendimiento del tomate esta entre 1.6-3 kg/planta a campo y de 4-6 kg/planta en invernadero (Saino,2020).

Collazo Balderas (2015) menciona que el tomate es considerado como la segunda hortaliza más importante por la superficie sembrada y como la primera por su valor de producción y volumen de exportación. El tomate es una de las hortalizas que podemos encontrar en los mercados durante todo el año, forma parte fundamental en la cocina y los hábitos alimenticios del mexicano, el consumidor lo adquiere generalmente en fresco. El tomate se cultiva en la mayoría de los estados del país siendo los principales productores: Sinaloa, Baja California, San Luis Potosí, Michoacán, Sonora, Jalisco y Nayarit.

Del 100% de la producción el 75% es para consumo en fresco mientras que los otros 25% es para propósitos industriales por ejemplo en pastas concentradas, ketchup y salsas. Hay cinco países que son responsables del 56% de la producción mundial de tomate como son china, india, Turquía, Egipto y EE.UU. cabe mencionar que china produce el 26% del volumen mundial para el consumo en fresco mientras que estados unidos (principalmente california) produce el 35% de volumen mundial para la industrial (SQM. S.A. 2006).

Descripción de la especie en estudio

Descripción taxonómica

Según Semillaria (2015) el tomate se clasifica como:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Manoliopsida

Subclase: Asteridae

Orden: Solanales

Familia: Solanaceae

Género: *Solanum*

Especie: *lycopersicum*

Descripción morfológica

El tomate cultivado pertenece a la Familia Solanaceae. Es una planta dicotiledónea y herbácea perenne, que se cultiva en forma anual para el consumo de sus frutos (Semillaría 2015).

Tallo. Es grueso, pubescente, anguloso y de color verde. La longitud del tallo puede alcanzar desde los 2.5 m hasta los 10 m, según el tipo de crecimiento, En cada axila de las hojas del tallo principal suele brotar un tallo hijo; a su vez, en las axilas de las hojas de estos tallos hijos brotan otros tallos nietos y así sucesivamente hasta que se detiene el desarrollo vegetativo. Inicialmente el tallo tiene una apariencia herbácea; está compuesto de epidermis con pelos glandulares, corteza, cilindro vascular y tejido medular (Escobar y Lee, 2009).

Hojas. Las dos primeras hojas verdaderas son simples y luego aparecen las compuestas (sectadas) hasta llegar a las típicas compuestas que tienen de 7 a 9 folíolos, por lo general, de color verde, glanduloso-pubescente por el haz y ceniciento por el envés. Se encuentra recubierta de pelos glandulares y dispuestos en posición alternada sobre el tallo. La posición de las hojas en el tallo puede ser semierecta, horizontal o inclinada (Monardes, 2009).

Flor. Es de color amarillo brillante, las anteras que contienen el polen se encuentran unidas formando un tubo de cuello angosto que rodea y cubre al estilo y estigma; dicho arreglo asegura el mecanismo de autofecundación, ya que el polen se libera en el interior de la antera. El cáliz y la corola constan de cinco o más sépalos y de cinco pétalos de color amarillo. Las flores del tomate son hermafroditas. Se reúnen en racimos o inflorescencias llamados corimbos; cada racimo está formado por un número que varía entre seis a quince flores, según las diferentes variedades (Infoagro Systems S.L. 2016).

Fruto. Es una baya bilocular o plurilocular, subesférica globosa o alargada, que puede alcanzar un peso que oscila entre unos pocos miligramos y 600 g dependiendo de la variedad. El fruto está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas. En estado inmaduro es verde y, cuando madura, es rojo. El tomate está maduro, fisiológicamente, cuando por el ápice comienza a tomar brillo y color alimonado (EDIFORM, 2006).

Requerimientos climáticos

Temperatura. El tomate es un cultivo de clima cálido. La temperatura ideal para esta hortaliza está entre 18 y 27° C. por este motivo la mayoría de los cultivos que se siembran al aire libre se producen en climas templados entre los paralelos 30° y 40° en ambos hemisferios, norte y sur. Cuando la temperatura llega a bajar a los 10°C afecta a la formación de la flor, si la temperatura llega a subir a más de 35°C trae como consecuencia el aborto floral de tal forma que la viabilidad del polen será fuertemente reducida por la falta de humedad. Si se cuenta con un programa de nutrición vegetal balanceado en vez de uno desequilibrado, se ha demostrado que puede reducir la pérdida de racimos florales bajo condiciones de altas temperaturas (SQM. S.A., 2006)

Luminosidad. Con lo referente a la luminosidad, es una planta muy exigente sobre todo en los primeros estadios de desarrollo y durante la floración. Cuando la luminosidad es reducida, ello puede afectar en forma negativa los procesos de floración, fecundación y desarrollo vegetativo de la planta. Por tal motivo se recomienda no cultivar tomate en sitios que permanecen nublados, ya que los rendimientos disminuyen considerablemente (INTA, 2014).

Suelo. El tomate se desarrolla mejor en suelos de textura franco a franco limoso, suelos profundos, buen drenaje, es tolerante a ciertas condiciones de acidez y crece bien a pH de 5.0 a 6.8, es una planta que soporta contenidos de 6400 ppm de sal equivalente a 10 mmho respectivamente (Infoagro Systems S.L. 2016)

Principales plagas del tomate

| Nombre común | Nombre científico |
|-------------------------------------|---|
| Mosca blanca | Bemisa tabaci, geminivirus |
| Falsos minadores | pseudoplusia, inclundens y trichoplusia ni.) |
| Gusano del fruto | helicoverpa Sp |
| Gallina ciega | phyllophaga Sp |
| Trips | franklinella occidentalis, E. americanus, t. tabaci |
| Gusano alfiler o polilla del tomate | tuta absoluta |
| Gusano alfiler | keiferia spp |
| Minador dela hoja | díptera agromyzidae |
| Vaquitas | diabrotica balteata |
| Arañita roja | Tetranychus urticae kosh |
| Acaro bronceado | aculops lycopersici |
| Acaro blanco | polyphago tarsenemus latus |
| Paratrioza psilido del tomate | bactericera cockrerelli |

(Lopez,2016).

Importancia del Yodo

El yodo se considera un metal halogenado, se puede encontrar en medios naturales como es la corteza terrestre. La cantidad de yodo va a variar de acuerdo con la zona geográfica en donde nos encontremos, por ejemplo, es pobre en zonas montañosas mientras que en las zonas costeras o llanas es muy abundante, esto se debe a la cercanía que tienen con el océano (Bessombes y Nevada 2020).

Es importante mencionar que tanto en los hechos oceánicos como en el suelo el yodo es volatilizado por microorganismos y plantas, según las características del suelo la disponibilidad y absorción del yodo está en función a la materia orgánica, cuando hay

mayor cantidad de materia orgánica hay mayor absorción de yodo por las plantas cuando el yodo se encuentra en forma de yodato (IO_3^-) hay una relación negativa entre el contenido de arcilla y la absorción de yodo por las plantas. Actualmente no se conoce la función metabólica del yodo en las plantas, pero el proceso de Biofortificación de yodo en vegetales se ha demostrado que la capacidad de antioxidantes en las plantas de lechuga va de acuerdo al metabolismo de la planta que ha sido afectada se dice que la respuesta oxidativa al estrés va a variar de acuerdo a la forma en que se aplique el yodo (Martínez, 2014).

Por las investigaciones que se han hecho se comprobó que la absorción de yodo en los vegetales va a depender de la concentración. Esto fue demostrado con *Spinacea oleracea* L. una relación directamente proporcional entre la concentración de yodo en las plantas, así como la aplicación externa de este tanto en su forma de yodato como de yoduro. Se dice que la concentración del yodo en los vegetales es mayor cuando su aplicación a la solución nutritiva en forma de yoduro, esto se debe a que el yodato además de tener una mayor valencia y peso molecular debe de ser reducido a yoduro para su absorción ya que es la forma con mayor biodisponibilidad para las plantas. La aplicación en mayor cantidad de este elemento puede traer como consecuencia efectos fitotóxicos para las plantas por lo que puede afectar su característica nutricional (Blasco y León, 2010).

Medrano-Macias (2017) menciona que en los tejidos vegetales es de 0.1 a 1 mg puede alcanzar hasta 3 mg o más, cabe mencionar que aún no se demuestra la función metabólica que tiene en las plantas. Cuando el yodo se aplica de forma exógena en las plantas hay un incremento en los diferentes tejidos. esto se demostró por los trabajos que se han realizado aplicaciones de yodo como yoduro o yodato, esto se llevó a cabo en un cultivo hidropónico de espinacas donde se encontró que la cantidad de yodo en los tejidos vegetales se elevó cuando se aumentó la concentración en la solución en donde se detectó un efecto negativo en la biomasa a concentraciones mayores de 1×10^{-6} molar ($1.3 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) de yoduro mientras que el yodato no mostro dicho efecto negativo.

Transporte del yodo en las plantas

Es importante mencionar que la ruta de transferencia por donde el yodo pasa hacia las plantas es a través del sistema radicular, posteriormente su translocación hacia las partes superiores de la planta, en este caso se ha demostrado experimentalmente que el yodo es tomado por las raíces como yoduro, pero su translocación en la parte aérea es mínima además es importante mencionar que, aunque en el suelo se encuentre yodo en varias de las ocasiones el yodo no puede estar disponible para que sea absorbido por la raíz de la planta (Negri *et al.*, 2012).

Yodo en la salud humana

Cabe mencionar que el yodo es esencial para el ser humano, pero solo en pequeñas cantidades esto es para asegurar las funciones fisiológicas normales. Se dice que es un componente muy importante porque las glándulas tiroideas dependen de él para que controlen la tasa metabólica, de tal forma que también está coludido con el crecimiento de la estructura del cuerpo y su función neuronal. Cuando se padece de la deficiencia de este trae como consecuencia diversos trastornos por ejemplo retraso en el crecimiento, maduración en todos los órganos y sistemas, fallos reproductivos y del sistema inmune, retraso mental, deterioro del oído y daños cerebrales (Díaz, Gomez, 2017).

Es importante mencionar que el yodo es un componente esencial de las hormonas tiroideas, como son la tiroxina y la triyodotironina. El yodo juega un papel muy importante en la nutrición esto se debe a la influencia que tiene en las hormonas tiroideas en el crecimiento y desarrollo del ser humano. El yodo fue el segundo micronutriente que se declaró esencial para la salud, el primero fue el hierro es importante mencionar que varias especies, incluido el ser humano no pueden crecer ni completar su ciclo vital satisfactoriamente cuando el aporte de yodo es inadecuado, de tal forma que no puede ser sustituido por algún otro elemento por su función en la síntesis de las hormonas tiroidea (Noguera, Zelaya, 1994).

Cabe mencionar que los trastornos causados por la deficiencia de yodo (TYD) es un problema enorme por el fuerte impacto negativo que hay en la población además que la

deficiencia de yodo es muy notable en diversas áreas del mundo se dice que aproximadamente un tercio de la población vive en estas áreas con esta situación esto quiere decir que aproximadamente casi dos mil millones de personas se encuentran en riesgo, siendo más vulnerables las mujeres embarazadas y los niños (Pérez Salas, 2019).

Durante el embarazo el yodo puede provocar repercusiones tanto para la madre durante la gestación y el posparto como para el feto, el neonato y el niño en distintas edades. Según la OMS la deficiencia de yodo es la causa más frecuente en el mundo, de retraso mental y de lesiones cerebrales irreversibles otras causas por la deficiencia de yodo es el alto incremento de abortos y de fetos muertos mal formaciones congénitas y aumento de la morbimortalidad perinatal e infantil (Francés Torres *et al.*, 2003).

Funciones del yoduro-yodato

Una de las principales funciones del yoduro es la síntesis de hormona tiroidea tiroxina. Las glándulas tiroides necesitan aproximadamente de 60 a 120 gramos de yoduro para que los niveles hormonales se mantengan. Su importancia se enfoca principalmente en la síntesis de la hormona tiroidea. Los tratamientos con yoduro dan como resultado una reducción lenta del tamaño de la glándula tiroides a veces hay situaciones muy graves que es necesario recurrir a una extirpación (Arce *et al.*, 2014).

Biofortificación de cultivos con yodo

La Biofortificación es una técnica nueva que implica la mejora de las variedades de plantas cosechadas esto con el fin de incrementar los niveles de nutrientes adecuados en los tejidos vegetales que se requiere para su consumo humano o animal. La Biofortificación en las plantas con cualquier nutriente es un proceso muy complejo, pero antes de llevarse a cabo se necesita de una investigación previa (Ríos *et al.*, 2008).

El éxito de la Biofortificación de los cultivos va depender más de la técnica de aplicación que del yodo. El yodo es metabolizado por el sistema ecológico completo, posiblemente

bajo un esquema de control global que todavía no está muy bien entendido es importante tomar en cuenta otros factores como son los bióticos y abióticos como parte de la estrategia de la Biofortificación. En experimentos de Biofortificación de tomate se aplicó yodo de 10^{-6} a 10^{-5} M se encontró una correlación positiva entre la concentración de yodo y Cu y Mn en las hojas (Santiago *et al.*, 2017).

Se dice que el contenido de yodo generalmente en las plantas aumenta cuando se aplica en forma de yoduro o yodato. Se han obtenido buenos resultados cuando es aplicado en la solución nutritiva o por aspersión foliar, para cada especie vegetal va hacer un resultado diferente porque se van a modificar las concentraciones, lo cual hace que cambie la distribución en los órganos de la planta, por ejemplo, se ha demostrado que al aplicar yodo en concentraciones $< 5.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de yoduro en lechuga hidropónica se obtuvo una buena acumulación de yodo foliar, la cual fue de $900 \mu\text{g}$ de tejido seco con esta cantidad es suficiente para cumplir la demanda diaria de consumo en los humanos que viene siendo $150 \mu\text{g}/\text{día}$, sin embargo si la concentración es superior a $5.1 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de yoduro se presenta una reducción significativa en la biomasa este tipo de caso también ha ocurrido aplicando las mismas concentraciones de yodato (Ligia *et al.*, 2016).

Se han realizado varios esfuerzos para asegurar la ingesta adecuado de yodo para la población un claro ejemplo es la yodación de la sal de mesa, así mismo con el uso de diferentes técnicas de fertilización con yodo para Biofortificación de los cultivos considerando un método adecuado para el suministro de yodo. Por lo que la Biofortificación con yodo es un área de investigación activa. Para que la Biofortificación sea un éxito va depender de algo más que las técnicas de aplicación de yodo (Medrano *et al.*, 2016).

Biofortificación de cultivos con yodo-quitosan

El quitosano ha sido ampliamente usado por sus potenciales biológicas principalmente por poseer actividad microbiana induce repuestas defensivas y tolerancia a estrés bióticos, también promueve el crecimiento y desarrollo de varias especies, el quitosano

tiene propiedades muy útiles para la agricultura de tal manera que su aplicación puede ser directamente al suelo o por tratamiento a la semilla y vía foliar entre otras (Sánchez, *et al.*, 2018).

Martínez Espinoza (2021), menciona que el quitosano es un material que es derivado de la quitina, uno de los polímeros más abundantes de la tierra. La síntesis del quitosano se obtiene de la eliminación de la quitina, es un material biodegradable que no contamina y tampoco es tóxico. El quitosano se encuentra en los exosqueletos de los crustáceos, por lo que se puede decir que es de origen natural, es un excelente componente porque se puede usar para diferentes áreas como son la agricultura, la industria vinícola, la medicina entre otras y además por su fácil aplicación.

Es importante mencionar que con la utilización del quitosano han obtenido resultados relevantes en el cultivo de arroz, frijol, papa, tomate y pepino, de los cuales se han registrado mejoras en diversas variables fisiológicas con relación a su crecimiento y desarrollo, acelerando su ciclo fenológico, como es adelanto de la floración y fructificación, así como la influencia marcada en el incremento del rendimiento a partir del mejoramiento. En cuanto al patrón influye en el incremento de tolerancia a estrés salino e hídrico, así como la activación de mecanismos de defensas contra patógenos y enfermedades. El quitosano tiene más efecto en la conservación de las propiedades de los frutos y vegetales en los periodos de cosecha y postcosecha. De esta forma el quitosano puede determinar un producto con influencia positiva en el cultivo de tomate (Reyes Enríquez *et al.*, 2020).

Diferentes trabajos han demostrado la capacidad que tiene la quitosana para disminuir los daños en los cultivos mediante la inducción de mecanismos de defensa ante estrés bióticos esto se hace a través de la activación de determinadas enzimas por ejemplo algunas proteínas que estén relacionados con la proteogénesis. Uno de los beneficios de la quitosana es que funciona como una cobertura en los frutos para minimizar las pérdidas postcosecha (Gonzales *et al.*, 2014).

MATERIALES Y MÉTODOS

Ubicación del experimento

El trabajo de investigación se llevó a cabo en un invernadero del campo experimental del bajo de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Buenavista, Saltillo Coahuila, México, a 25° 22" latitud norte 101° 00" longitud oeste con una altura sobre el nivel del mar 1743 m.



Figura1.el invernadero del campo experimental UAAAN en donde se llevó a cabo el experimento.

Material vegetativo

Se utilizó un híbrido de tomate tipo saladet (*Solanum lycopersicum* L.) cv. "El cid F1" de la casa comercial Harris Moran, este genotipo es de habito de crecimiento indeterminado,

con germinación del 90%. Este híbrido se caracteriza por tener frutos de tamaño y forma uniforme con una pared gruesa que brinda firmeza, su color es de un rojo intenso y presentan larga vida de anaquel. Este genotipo de tomate tiene alta resistencia a: *Verticillium dahliae*, *Verticillium albo atrum*, *Fusarium oxysporum* f. sp. *Lycopersici* raza 1 y 2, virus del mosaico del tomate, también presenta resistencia intermedia a: *Meloidogyne arenaria*, *M. incognita* y *M. javanica* (agallas radiculares por nematodos). Estas semillas fueron sembradas en charolas de poliestireno de 200 cavidades con sustrato de peat moss y perlita, en proporción 1:1 (v/v).

Complejos Cs-KI, Cs-KIO₃ y sales de yodo

Los complejos Cs-KI y Cs-KIO₃ se prepararon en el Centro de Investigación en Química Aplicada (CIQA). utilizando quitosano (Cs) de peso molecular de 200,000 g/mol a un grado de desacetilación del 98%. El Cs se agregó lentamente hasta su completa disolución con agitación de 300 rpm a una temperatura de 60-65°C. La solución resultante se filtró y se ajustó a 1 L, para su uso posterior como controles de Cs.

Para los complejos de yodo, se disolvieron soluciones de 0.1 mol·L⁻¹ yodo de potasio (KI) y 0.1 mol·L⁻¹ de yodato de potasio (KIO₃) en una solución de Cs al 1% y se ajustaron para obtener complejos con relaciones molares de Cs: I de 5. Así, se obtuvieron complejos con 1.06 mg I por mililitro de solución compleja.

Para los tratamientos con solo sal de yodo, se prepararon soluciones de 0.025 mol·L⁻¹ KI y 0.025 mol·L⁻¹ KIO₃ en de agua desionizada. Cada solución contenía 3.17 mg I por mililitro.

Tratamientos

Las concentraciones de yodo que se usaron fueron de 5 y 25 mg por kilogramo de sustrato, como fuente de yodo se utilizó KI, KIO₃ y complejos de quitosano-KI y quitosano-KIO₃ (cuadro 1), dando así un total de 10 tratamientos con 5 repeticiones cada uno (estos fueron aplicados al momento de preparar los tratamientos).

| Tratamiento | mg de yodo por Kg de sustrato | Descripción |
|-------------|-------------------------------|--|
| KIO3-Cs-5 | 5 | 28.1 ml de solución a 0.1 mol/l de KIO3 con Cs al 1% |
| KIO3-Cs-25 | 25 | 140 ml de solución a 0.1 mol/l de KIO3 con Cs al 1% |
| KIO3-5 | 5 | 9.5 ml de solución de 0.025 mol/l de KIO3 |
| KIO3-25 | 25 | 47.3 ml de solución de 0.025 mol/l de KIO3 |
| T-Cs | 0 | 140.7 ml de solución de Cs al 1% |
| KI-Cs-5 | 5 | 140.7ml de solución a 0.1 mol /l de KI con Cs al 1 % |
| KI-Cs-25 | 25 | 140.7 ml de solución a 0.1 mol/l de KI con Cs al 1% |
| TA | 0 | Agua desionizada |
| KI-5 | 5 | 9.5 ml de la solución de 0.025 mol/l de KI |
| KI-25 | 25 | 140.7 ml de la solución de 0.025 mol /l de KI |

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos con Biofortificados con complejos Cs-KI, KIO3 y quitosano, evaluada en la vida de anaquel de tomate saladet.

Para la preparación de los tratamientos se utilizaron bolsas de polietileno con capacidad de 6 litros, como sustrato se utilizó una mezcla de peat moss y perlita en proporción 1:1 (v/v). Cabe mencionar que al momento de llenar las bolsas el volumen del sustrato se dividió en tres partes, mientras que los tratamientos se dividieron en dos partes. La primera parte de cada tratamiento se aplicó sobre el primer tercio del sustrato, después se añadió otro tercio de sustrato y se aplicó la otra parte restante del tratamiento, final se acabó de llenar las bolsas con el sustrato restante. Una vez terminado de llenar las bolsas correspondientes a cada tratamiento se procedió a realizar el trasplante, todo esto se realizó a los 30 días después de la emergencia.

Riego

El uso un sistema de riego por goteo de un solo paso automatizado. Para el riego se preparó la solución nutritiva propuesta por Steiner al 25%,50% y 75% esto se hizo de acuerdo a los requerimientos de cada etapa fenológica de la planta, en cuanto al pH se ajustó entre 5.5 y 6.5 con ácido fosfórico. Se estableció una conductividad eléctrica en la solución nutritiva de 1.4 y 2.4 ms cm dependiendo de la etapa fenológica en la que se encontrara la planta.

Muestreo

El muestreo se hizo del tercer racimo de todas las plantas eligiendo solamente los frutos maduros. Después fueron llevados al laboratorio en donde fueron etiquetados y registrados estando a una temperatura ambiente para posteriormente ser evaluados durante 12 días. Se obtuvo un registro de las temperaturas a lo largo de esos días que fueron de 17.7°C la mínima y 20. 1° C máxima.

VARIABLES EVALUADAS

Las variables que se tomaron en cuenta fueron el peso fresco del fruto (PFF), grados brix, firmeza, diámetro polar (DP), diámetro ecuatorial (DE), pH, conductividad eléctrica (CE) y peso seco del fruto (PSF). La evaluación de las variables se hizo cada tercer día empezando a partir del día cero (D0) y así sucesivamente (D3, D6, D9, D12).

Peso fresco

Se pesó de forma individual cada fruto en una báscula analítica, posteriormente se llevó un registro del peso en una bitácora.

Diámetro polar y Diámetro ecuatorial

La distancia del diámetro polar abarcó desde el ápice hasta el extremo del pedúnculo. Mientras que la distancia del diámetro ecuatorial fue medida perpendicularmente agarrando como base el eje central del fruto estas medidas se hicieron con un vernier digital marca (steren) los resultados se registraron en milímetros en una bitácora.

Firmeza

Se midió mediante la resistencia a la penetración la cual fue determinada con un penetrometro digital marca (Humboldt) su medición fue realizada en la parte central del fruto los resultados se registraron en kilogramos (kg).

Solidos solubles totales (°Brix)

Se extrajo el jugo de cada uno de los frutos y posteriormente se usó solo una gota para colocarla en el lector óptico del refractómetro de marca (atago).

pH y Conductividad eléctrica

Se realizó al fruto un corte a la mitad en el cual se le inserto un pH metro digital marca (Hanna) el cual determina el pH y la conductividad eléctrica.

Análisis estadístico

Los datos obtenidos en esta investigación se sometieron a un análisis de varianza y una prueba de comparación de medias con Tukey ($p < 0.05$) utilizando el software InfoStat.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De acuerdo a los resultados del ANVA la mayoría de las variables evaluadas se vieron afectadas por la biofortificación con complejos Cs-KI, KIO3 y quitosano, por lo menos en alguno de los días evaluados durante la postcosecha, a excepción del diámetro ecuatorial y polar del fruto (Anexos).

Peso fresco de fruto

Los complejos de yoduro de potasio (KI), yodato de potasio (KIO3) y quitosan muestran diferencias estadísticas significativas en el peso fresco del fruto (PFF) de tomate, pero solamente en día 0 y 9 (Cuadro 1, Anexo). En el día 0 mayor PFF se presentó en aquellas plantas que fueron tratadas con KI-5 con un peso promedio de 189.07 g los cuales aumentaron su peso en un 19.7% en comparación con el TA. El menor PFF se presentó en el tratamiento KI-25 con un peso promedio de 100 g, estos resultados pueden deberse a un efecto fitotóxico que puede ocasionar el KI a altas concentraciones (Kiferle *et al.*,2013). Sin embargo, en el día 9 con esta misma concentración de KI se obtuvo el mayor, con un peso PFF con valor promedio de 177.04 g, mientras que el menor PFF expreso con el uso de KI-Cs-25 (Figura 2). Además, se observa que al aplicar yoduro con quitosano en una concentración de 5 g y 25 g a el PFF tiende a disminuir con forme pasan los días.

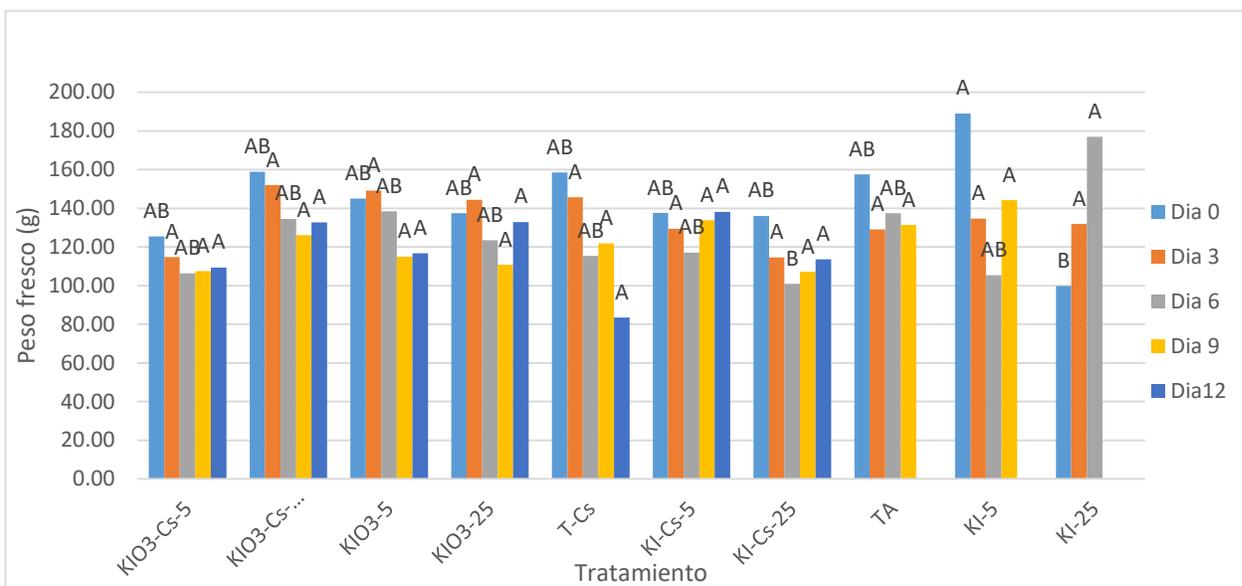


Figura 2. Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosán en el peso fresco de frutos de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.0478$, día 3 ANVA $p \leq 0.2669$, día 6 ANVA $p \leq 0.0290$, día 9 ANVA $p \leq 0.0684$, día 12 ANVA $p \leq 0.7591$. Las letras A y B son las obtenidas en categoría de la comparación de medias con Tukey.

Firmeza

La aplicación de los complejos Cs-KI, KIO3 y Cs afectaron significativamente a la firmeza del fruto en el día 0 y 3, sin embargo, del día 6 al 12 no se encontró diferencia entre los tratamientos (Cuadro 4, Anexos). En la siguiente Figura 3 se puede observar que la mayor firmeza de fruto para el día 0 se obtuvo con el uso KI-Cs-25, sin embargo, para el día 3 disminuye un 38.3 %, por lo cual se considera que este tratamiento no es recomendable por la pérdida tan drástica que presenta en esta variable. Al tercer día de postcosecha en el TA se obtuvo la mayor firmeza con un valor promedio de 2.82 kg, este fue mayor en un 44.4 % en comparación con KIO3-Cs-25 el cual fue el tratamiento que presentó la menor firmeza para ese día. En la misma figura 6 se puede apreciar que los tratamientos KIO3-Cs-5, KIO3-5, TA, y KI-25, tienden a aumentar su firmeza del día 0 al 3, pero después del día 6 tiende a disminuir esta variable. Estos resultados son similares a los reportados por Paweł Wójcik y Marzena Wójcik (2021), ellos mencionan que en el cultivo de la manzana las aplicaciones de KI y KIO3, ya sea al suelo o foliar, no se encontró diferencia en cuanto a la firmeza del fruto.

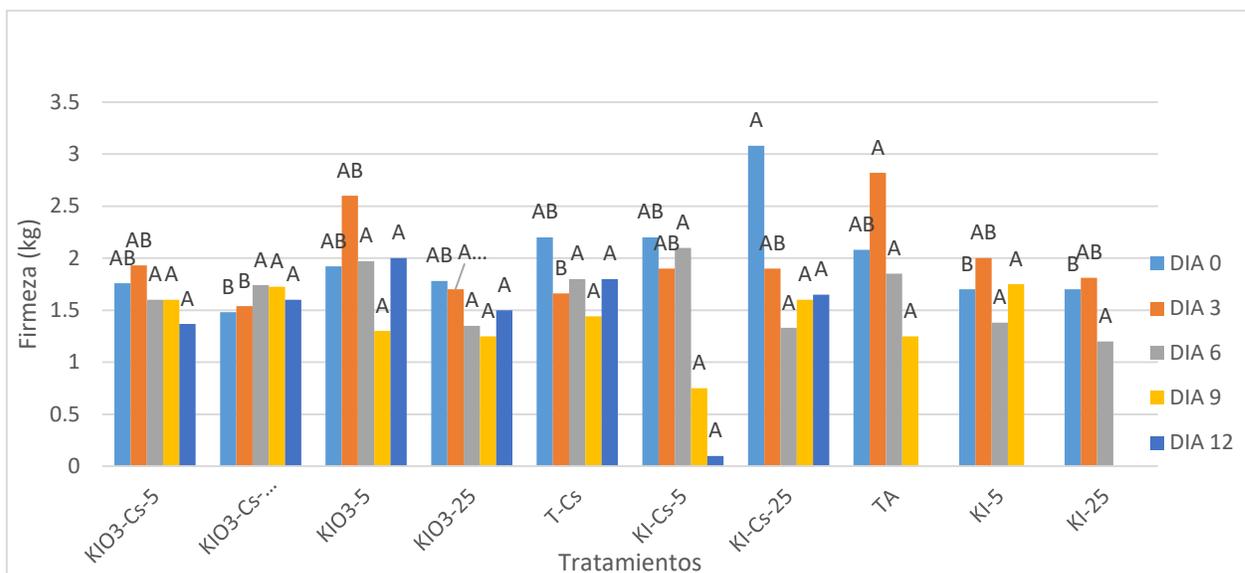


Figura 3. Efecto de los complejos Cs-KI, KIO₃ y quitosan en la firmeza del fruto de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.0405$, día 3 ANVA $p \leq 0.0054$, día 6 ANVA $p \leq 0.7589$, día 9 ANVA $p \leq 0.3306$, día 12 ANVA $p \leq 0.2724$. Las letras A y B son las categorías obtenidas en la comparación de medias con Tukey.

Solidos solubles totales

Al sexto día de postcosecha los salidos solubles totales (⁰B) del fruto se vieron afectados con el uso de los complejos Cs-KI, KIO₃ y CS. En los demás días evaluados no se encontró diferencia significativa. En la figura 3 se observa que con el uso de KI-Cs-25 se obtienen la mayor cantidad de ⁰B en el 6^{to} día, con un valor promedio de 5.43, este valor fue mayor en un 12.29 % en comparación con TA, el menor ⁰B se obtuvo con el uso de KIO₃-25 y KIO₃-Cs-5 con un valor promedio de 4.15 y 4.28 respectivamente (Figura 4). Estos resultados difieren con lo que obtuvieron Paweł Wójcik y Marzena Wójcik (2021) ya que en el cultivo de manzana la aplicación de yodo, independientemente de la especie y la forma de aplicación la concentración de los sólidos solubles totales disminuyó.

En la misma figura también se aprecia que cuando se aplica KIO₃-5 y KI-Cs-25 la concentración de ⁰B tiende a aumentar en los 3 y 6, pero disminuye al día 9 y 12.

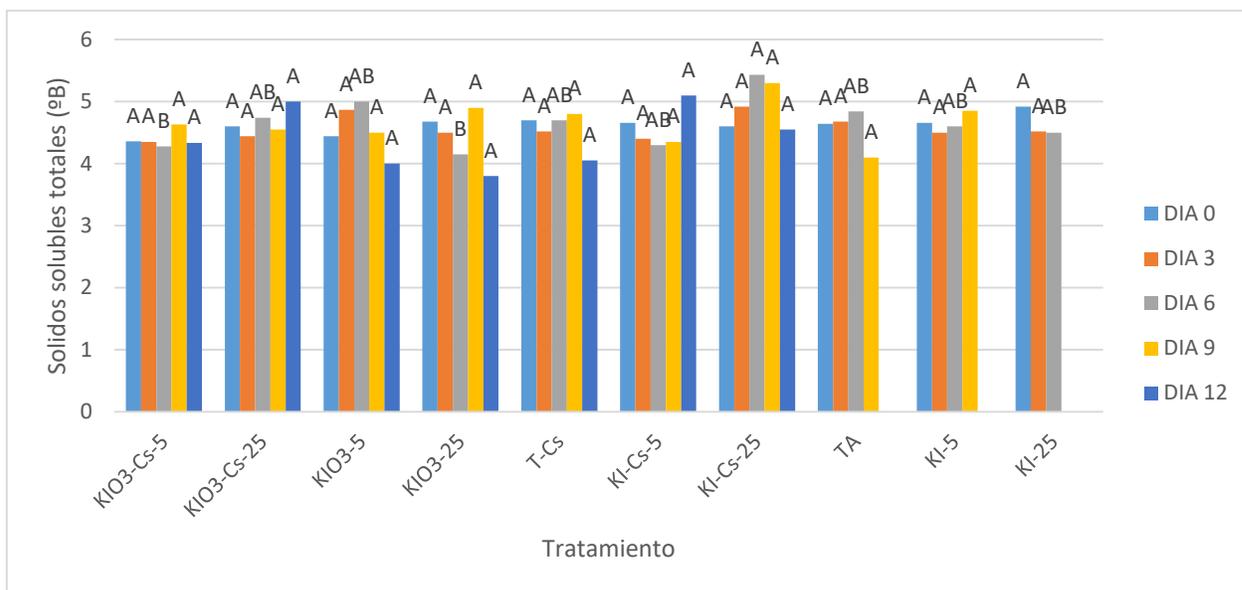


Figura 4. Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosán en los sólidos solubles totales del fruto de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.9067$, día 3 ANVA $p \leq 0.7420$, día 6 ANVA $p \leq 0.0130$, día 9 ANVA $p \leq 0.4333$, día 12 ANVA $p \leq 0.5441$. Las letras A y B son las obtenidas en categoría de la comparación de medias con Tukey.

pH

La variable pH no se vio afectada significativamente con el uso de complejos Cs-KI, KIO3 y Cs durante los días 0,3, 6 y 9 de la evaluación, sin embargo, al llegar al día 12 se observa una fuerte influencia de estos complejos (Figura 5), el mayor valor de pH se obtuvo con el uso de KIO3-5 con un valor promedio de 5.43, mientras que el menor pH con el uso de T-Cs con un valor promedio de 3.86. Sin embargo, para que un fruto de tomate fresco sea considerado de calidad el valor de pH puede variar entre 4.17 a 4.59 (Cantwell, 2006) y aplicar KI-Cs-25 se cumple con este parámetro de calidad ya que en promedio se obtuvo un valor de 4.53 a los 12 días de postcosecha.

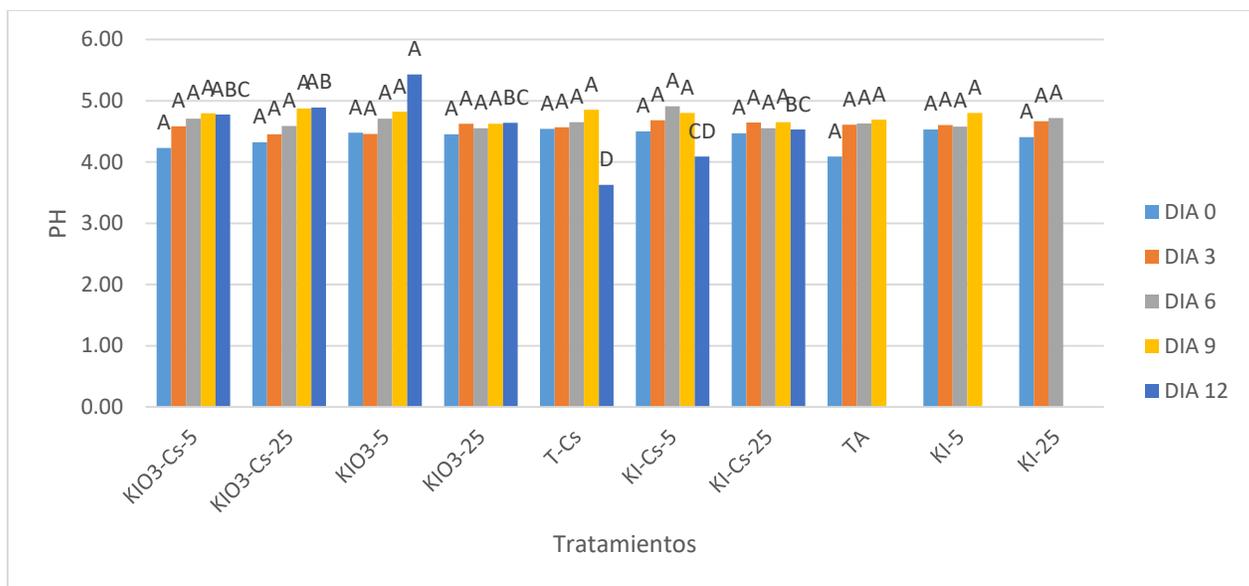


Figura 5. Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosán en pH del fruto de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.4794$, día 3 ANVA $p \leq 0.8372$, día 6 ANVA $p \leq 0.7511$, día 9 ANVA $p \leq 0.6681$, día 12 ANVA $p \leq 0.0135$. Las letras A, B, C y D son las categorías obtenidas en la comparación de medias con Tukey.

Conductividad eléctrica

EL efecto de los complejos de KIO3, KI y quitosán en la conductividad eléctrica de fruto (CE) solo se observan hasta el día 12 de postcosecha. En la Figura 6, se aprecia que la mayor CE se obtuvo al aplicarse KI-Cs-5 con un valor promedio de 4.60 ms/cm, mientras que los la menor CE se observó con el uso de KIO3-Cs-25 y KIO3-CS-5 con valores promedios de 0.69 y 0.91 ms/cm. Con dichos resultados se puede interpretar que los frutos con mayor CE fueron los que se trataron con yodo en forma de yoduro, y que existe la posibilidad que este elemento se encuentre en mayor concentración en el fruto, esto posiblemente debido a que el KI es absorbido por la planta fácilmente en contraste con IO_3 , ya que para ser absorbido tiene que ser reducido por la acción de enzimas yodato reductasas (Medrano Macias *et al.*, 2017).

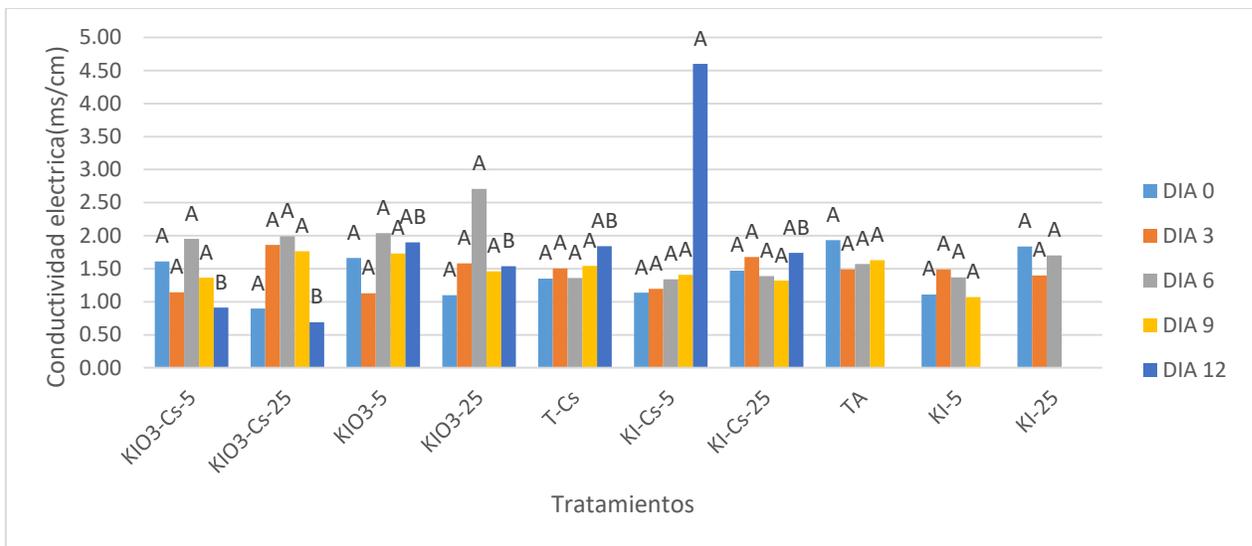


Figura 6. Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan en la conductividad eléctrica del fruto de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.1940$, día 3 ANVA $p \leq 0.5021$, día 6 ANVA $p \leq 0.4040$, día 9 ANVA $p \leq 0.7469$, día 12 ANVA $p \leq 0.0205$. Las letras A, B, C y D son las categorías obtenidas en la comparación de medias con Tukey.

Peso seco

El peso seco del fruto (PSF) solamente se vio afecto al día 6 de postcosecha con los tratamientos aplicados, en la Figura 7 se observa que el mayor PSF, para ese día, se obtuvo con el uso de KI-25 con un peso seco promedio de 8.29 g, mientras que el menor PSF fue de 4.12 g con la aplicación con KIO3-Cs-5. Estos resultados se asemejan a los reportados por Dávila *et al.* (2020) quienes una disminución de biomasa seca en plantas de lechuga, pero, con Cs-KI.

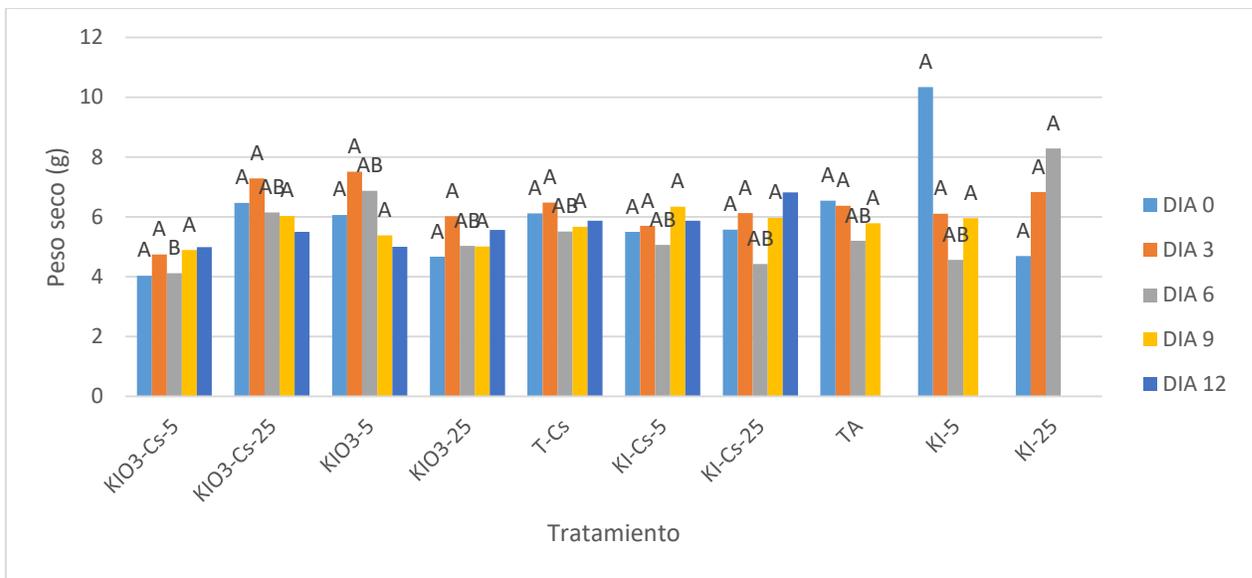


Figura 7. Efecto de los complejos Cs-KI, KIO3 y quitosán en el peso seco fruto de tomate cv El cid. Día 0 ANVA $p \leq 0.2179$, día 3 ANVA $p \leq 0.3318$, día 6 ANVA $p \leq 0.0168$, día 9 ANVA $p \leq 0.7104$, día 12 ANVA $p \leq 0.8688$. Las letras A y B son las categorías obtenidas en la comparación de medias con Tukey.

CONCLUSIÓN

En este trabajo de investigación encontramos que la Biofortificación de los complejos Cs-KI, KIO₃ en el fruto de tomate durante la postcosecha no se obtuvo los resultados esperados en la vida de anaquel del fruto ya que se esperaba que el fruto durara más días de lo que un fruto normal. En realidad, no hay mucha información acerca de la Biofortificación con yodo en forma de sales y complejos Cs-I en postcosecha de tomate por lo que se puede seguir investigando hasta encontrar una buena combinación en dosis y manera de aplicar los complejos de yodo. Sin embargo, en el día 0 se registró mayor peso fresco de fruto con la aplicación de KI-5 y mayor peso seco con KI-25 en el día 6.

LITERATURA CITADA

- Arrobas, V, T, Gozales, R, C, Barco, S, A, Castaño, L, M, Perea, C, R, Pascual, S, E, Limon, P, J, Tascon, E, M, Perea, B, Águila, S, A, Gonzales, M, C, Bermudes, J, A, Albusac, A, R, Romero F, F. (2011).** Deficiencia nutricional de yodo en gestantes pertenecientes al distrito sanitario sierra de Huelva-andévalo sur de España. Investigación clínica.vol 63 (5),pp 467474.http://web.archive.org/web/20200710275915id_/https://www.medigrphic.com/pdfs/revinvcli/nn-2011/nn115e.pdf.
- Bemssombes ,nevada,M,G.(2020).** Niveles de yoduria y concemtracion de yodo, en sal de consumo,en preescolares de villa el salvador lima.tesis de maestria magister scientiae en nutrición publica.universidad nacional agraria,escuela de posgrado maestria en nutrcion publica,lima-peru.
- Blasco,león,b,(2010).**bifortificacion de yodo en plantas de lechuga (Lactuca sativa sativa L.)implicaciones fisiológicas y nutricionales.tesis de doctorado.universidad de granada facultad de ciencias, departamento de ficiologia vegetal.granada.
- CANTWELL, M. 2006.** Report to the California tomato commission tomato variety trials: Postharvest evaluation for 2005. UCCE Fresh market tomato statewide report. California, USA. pp. 3, 9–13.
- Carmona,i,(2013).**sustitutos de la sal en la industria de los alimentos agrimundo, inteligencia competitiva para el sector agroalimentario.
- Carreon,saldivar,N.(2012).**Impacto del virus rizado amarillo del tomate(TYLCV) en el rendimiento y calidad del tomate (lycopersicum esculentum mill) en los genotipos pony express y shanty.tesis de licenciatura,universidad autónoma agraria Antonio narro unidad laguna,torreón Coahuila,mexico.
- Civatos,fernandez,a,f.(2014).**caracterización físico quíica y biológica de filmes de quitosano como transportadores,d6e la rhBMP-2 en la regeneración del tegido oseó, tesis doctoral,universidad complutense de Madrid facultad de farmacia departamento de bioquímica y biología molecular I.madrid.
- Collazo,Balderas,C,A.(2015).**Análisis de fluctuaciones del tomate en el mercado nacional:1994-1998.Tesis de licenciatura.Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro,Satillo.
- Copyright, SQM, S.A. (2006).** Tomate, guía de manejo nutrición vegetal de especialidad.

- Díaz, C. 2007.** Caracterización Agro cadena de Tomate. Dirección Regional Central Occidental. M.A.G. Grecia, Costa Rica. 46 p.
- EDIFORM. 2006. VADIAGRO:** Principales problemas fitosanitarios. Tomo I. Curridabat, Costa Rica, Edifarm Internacional Costa Rica. 3 ed. 89-92, 193-212 p
- Escobar, H; Lee, R. 2009.** Manual de producción de tomate bajo invernadero (en línea). v.2. 2 ed. Bogotá, Colombia. 180 p. Consultado 22 de jul. 2016. Disponible en pdf-manual_produccion_de_tomate_-_pag.-_web-11-15.pdf
- Flores,C,Bouno,S,Giorgini,S.(2012),**Enfermedades De Tomate ,Guia De Consulta (en línea)1ª ed.-yuto, ediciones inta.pp15-59.
- Francés,r,I,torres ,c,m,t.(2003).**déficit de yodo durante la gestación.rev motranas profesión,vol 4 num(11),pp 37-43,<http://diposit.ub.edu/dspace/bitstream/2445/33030/1/519922.pdf>.
- Infoagro Systems S.L. 2016.** El cultivo de tomate: Parte I. (en línea). Madrid, España. s.p. Consultado 20 oct. 2016. Disponible en http://www.infoagro.com/documentos/el_cultivo_del_tomate__parte_i_.asp
- INTA (Instituto Nicaragüense de Tecnología Agropecuaria). 2014.** Manejo integrado de plagas. Cultivo de tomate: Guía MIP (en línea). Managua, Nicaragua. 66 p. Consultado 10 may. 2016. Disponible en <http://www.inta.gob.ni/biblioteca/images/pdf/guias/GUIA%20MIP%20tomate%20014.pdf>
- Kiferle C, Gonzali S, Holwerda HT, Real Ibaceta R and Perata P. (2013).** Tomato fruits: a good target for iodine biofortification. *Front. Plant Sci.* 4:205.
- Ligia,Martinez,P,C,(2014).** Efecto de la aplicación de yodo sobre antioxidantes en plantas de solanum lycopersicum L.tesis de licenciatura en ingeniero agronomo en horticultura,universidad autónoma agraria Antonio narro,saltillo Coahuila mexico.
- Lijia, M, P,Benavides,M,A,Rocha,E,A,Medrano,M,J,R,(2016).**biofortificacion con yodo en plantas para consumo humano.rev,mexicana de ciencias agrícolas vol.(7), num.8,http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=s2007-09342016000802025&script=sci_arttex.
- Martinez,Becerra,O,D,Gallo,Manzanares,J,S,(2005).**yoduro en mujeres embarazadas que asiten al control prenatal del centro de salud mantica berio león y clínica virgen del rocío Posoltega,tesis de licenciatura en bioanálisis clínico, universidad autónoma de Nicaragua, facultad de ciencias médicas, departamento de microbiología y parasitología.

Martinez,espinoza ,f. (2021). Desarrollo de membranas de alcohol polivinílico-quitosano para administración de levotiroxina sódica en parches transdérmicos.tesis de licenciatura en químico farmaceutico biologo.universidad de Guadalajara coordinación general academica.

Medrano, macias,j,r.(2017).efecto de la aplicación de yodo sobre el metabolismo redox y expresión genética en tomate,(solanum lycopersicum l).tesis de doctorado en ciencias con acentuación en manejo y administración de recursos naturales.universidad autónoma de nuevo león, facultad de ciencias biológicas.

Medrano,m,j,r,lijia,martinez,p,Gonzales,m,s,juarez,m,a,Benavides,m,a,.(2016).uso de yodo para biofortificar y promover el crecimiento y la tolerancia al estrés de los cultivos.frontiers en ciencias vegetales.<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fpls.2016.01146/ful>.

Paz,l,m,basebo,t,b,Zulueta,t,d,terry,b,b,granado,v,s,quintero,a,m,e,luna,m,m ,diaz,m,m.(2008).extrecion urinaria de yodo en el monitoreo del programa para la eliminación de los desordenes por deficiencia de yodo. rev, cubana aliment nutr,vol 18 num (1)pp 72-83.http://revalnutricion,sld.cu/index.php/rcan/article/view/901/pdf_181.

Perez,Salas,A,S(2019).Uso de Yodo(I) como Inductor a la Tolerancia al Estrés por Salinidad en Plántulas de Tomate (Lycopersicum Esculentum) Var.Rio Grande.tesis de licenciatura en ingeniero agrónomo y ambiental. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Reyes,P,J,J,Enriquez,A,E,A,Ramires,A,M,A,Rodriguez,P,A,T,Lara,C,L,Hernandez,M ,L,G,.(2018). aplicaciones del quitosano como bioestimulante y promotor de la nutrición en el cultivo de cereales. copyringht.https://www.researchgate.net/profile/Luis-guillermo-hernandez-montiel/publication/339181876_aplicaciones_del_quitosano_como_bioestimulante_y_promotor_de_la_nutrici3n_en_el_cultivo_de_cereales/links/5e431272458515072d932210/aplicaciones-del_quitosano-como-bioestimulante_y_promotor_de_la_nutrici3n-en-el_cultivo_de_cereales.pdf.

Reyes,P,J,J,Enriquez,A,E,A,Zuñiga,V,E,Lara,C,L,Hernandez,M,L,G.(2020).efecto del quitosano sobre variables del crecimiento,rendimiento y contenido nutricional del tomate.revista mexicana en ciencias agrícolas,v(11),v(3).

Ríos,r,j,j,.(2008).biofortificacion con se en plantas de lechuga:estudio de la producción calidad y estado nutricional. tesis doctoral,universidad de granada de la facultad de ciencias, departamento de fisiología vegetal,granada.

Rodriguez,ezquibel,N,A.(2020).Evaluacion de fertilización organica y quimica en tomate saladette (solanum lycopersicum) bajo condiciones de invernadero.Tesis de

maestría en ciencia en producción agrícola, Universidad Autónoma de Nuevo León, General Escobedo, N.L.

Rosales, flores, m, (2016). optimización del proceso de yodación en la sal de mesa. Tesis de licenciatura. universidad mayor de san andrés facultad de tecnología, química industrial, La Paz Bolivia.

Saino, Torcuato, J. (2020). evaluación de bacterias promotoras del crecimiento en tomate. trabajo de investigación, facultad de ciencias agrarias y forestales.

Santiago, v, e. (2017). aplicación de compuestos yodados, para la biofortificación de hortalizas. requisito parcial para obtener el grado de especialización en química aplicada. agroplasticultura. centro de investigación en química aplicada (CIQA). saltillo, Coahuila México

Semillaria. 2015. Clasificación taxonómica de tomate (en línea). s.p. Consultado 10 may. 2016. Disponible en <http://semillaria.es/index.php/cultivos-ok/29-cultivos/94-taxonomia>

Ticona, noblez, J, (2018). descripción de las patologías asociada al bajo consumo de yodo en pobladores del altiplano sur del departamento de la paz. tesis master de investigación en medicina tropical y salud internacional en las Bio-regiones Bolivianas, Universidad de Barcelona en convenio con la Universidad mayor de San Andrés, La Paz Bolivia.

Vargas, R, Alvear, A, Olivares, N. (2003). Plagas en tomate, clavel y palto. instituto de investigaciones agropecuarias-inia centro regional de investigación-V región centro experimental de entomología La Cruz, Chile.

Wójcik, P. and Wójcik, M. (2021). Preharvest iodine sprays at high rates are more effective in biofortification of apples than soil application. *Plant Soil* .465: 317–334.

ANEXOS

Cuadro 1 valores promedio del peso fresco del fruto del día 0, día 3, día 6, día 9 y día 12 biofortificados con complejos Cs-KI, KIO₃ y quitosán.

| Tratamiento | Concentración de l en kg de sustrato | PFF(g) Día 0 | PFF(g) Día 3 | PFF(G) Día 6 | PFF(G) Día 9 | PFF(G) Día 12 |
|-------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| KIO3-Cs | 5 g | 125 AB | 114.78 A | 106.47 AB | 107.5 A | 109.35A |
| KIO3-Cs | 25 g | 159 AB | 151.93 A | 134.56 AB | 126.07 A | 132.75A |
| KIO3 | 5 | 150 AB | 149.24 A | 138.45 AB | 115.03 A | 116.75A |
| KIO3 | 25 | 137 AB | 144.39 A | 123.56 AB | 110.79 A | 132.96 A |
| T-Cs | 0 | 158.54 AB | 145.8 A | 115.39 AB | 121.78 A | 83.55A |
| KI-Cs | 5 | 137 AB | 129.42 A | 117.10 AB | 133.90 A | 138.15 A |
| KI-Cs | 25 | 136 AB | 114.62 A | 101 B | 107.16 A | 113.62 A |
| TA | 0 | 158 AB | 129.04 A | 1137.56 AB | 131.33 A | 0 |
| KI | 5 | 189.07 A | 134.78 A | 105.46 AB | 144.25 A | 0 |
| KI | 25 | 100 B | 131.32 A | 177.04 A | 0 | 0 |
| P ≤ | | 0.0478 | 0.2669 | 0.0290 | 0.0684 | 0.7591 |

Valores con la misma letra en una misma columna estadísticamente no son diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

Cuadro 2. valores de los promedios del diámetro polar del día 0, día 3, día 6, día 9 y día 12 biofortificados con complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan.

| Tratamiento | Concentración de l en kg de sustrato | DP(mm) Día 0 | DP(mm) Dia3 | DP(mm) Día 6 | DP(mm) Día 9 | DP(mm) Dia12 |
|-------------|--------------------------------------|--------------|-------------|--------------|--------------|--------------|
| KIO3-Cs | 5 g | 69.74 A | 65.67 A | 63.5 A | 64.63 A | 64.53 A |
| KIO3-Cs | 25 g | 72.9 A | 73.02 A | 69.22 A | 68.68 A | 73 A |
| KIO3 | 5 | 71.28 A | 74.47 A | 71 A | 66.3 A | 65.7 A |
| KIO3 | 25 | 69.28 A | 72.5 A | 66.15 A | 64.4 A | 66.1 A |
| T-Cs | 0 | 73.98 A | 69.72 A | 67.92 A | 67.12 A | 56.50 A |
| KI-Cs | 5 | 75.22 A | 69.5 A | 73.3 A | 71.30 | 71 A |
| KI-Cs | 25 | 70.72 A | 67.09 A | 63.07 A | 68.9A | 69.85 A |
| TA | 0 | 74.44 A | 67.46 A | 69.55 A | 71.45 A | 0 |
| KI | 5 | 72.72 A | 70.94 A | 65.63 A | 70.7 A | 0 |
| KI | 25 | 73 A | 69.20A | 77.77 A | 0 | 0 |
| P ≤ | | 0.6458 | 0.4117 | 0.0807 | 0.7452 | 0.3838 |

Valores con la misma letra en una misma columna estadísticamente no son diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

Cuadro 3. Valores del promedio del diámetro ecuatorial, del día 0, día 3, día 6, día 9 y día 12 biofortificados con complejos de Cs-KI, KIO3 y quitosan.

| Tratamiento | Concentración de l en kg de sustrato | DE(mm) Día 0 | DE(mm) Día 3 | DE(mm) Día 6 | DE(mm) Día 9 | DE(mm) Día 12 |
|-------------|--------------------------------------|--------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| KIO3-Cs | 5 g | 57.96 A | 55.04 A | 53.36 A | 53.83 A | 54.47A |
| KIO3-Cs | 25 g | 63.28 A | 59.36 A | 56.12 A | 56.88 A | 55.5 A |
| KIO3 | 5 | 59.66 A | 58.77 A | 57.2 A | 55.9 A | 54.7 A |
| KIO3 | 25 | 57.7 A | 58.33 A | 58.7 A | 54.15 A | 59.8 A |
| T-Cs | 0 | 60.62 A | 59.08 A | 53.4 A | 56.14 A | 49.2 A |
| KI-Cs | 5 | 61.2 A | 58.7 A | 54.2 A | 57.05 A | 57.26 A |
| KI-Cs | 25 | 57.96 A | 54.57 A | 51.37 A | 54 A | 53.85 A |
| TA | 0 | 61.04 A | 57.54 A | 58.8 A | 56.05 A | 0 |
| KI | 5 | 59.5 A | 57.42 A | 52.18 A | 59.5 A | 0 |
| KI | 25 | 59.47 A | 57.71 A | 62.93 A | 0 | 0 |
| P ≤ | | 0.5518 | 0.3772 | 0.1354 | 0.8515 | 0.8489 |

Valores con la misma letra en una misma columna estadísticamente no son diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

Cuadro 4. valores del promedio de la firmeza del día 0, día 3, día 6, día 9 y día 12 biofortificados con complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan.

| Tratamiento | Concentración de l en kg de sustrato | Firmeza(kg) Día 0 | Firmeza(kg) Día 3 | Firmeza(kg) Día 6 | Firmeza(kg) Día 9 | Firmeza(kg) Día 12 |
|-------------|--------------------------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------------|
| KIO3-Cs | 5 g | 1.76 AB | 1.93 AB | 1.6 A | 1.6 A | 1.37 A |
| KIO3-Cs | 25 g | 1.48 B | 1.54 B | 1.74 A | 1.73 A | 1.6 A |
| KIO3 | 5 | 1.92 AB | 2.6 AB | 1.97 A | 1.3 A | 2 A |
| KIO3 | 25 | 1.78 AB | 1.7 AB | 1.35 A | 1.25 A | 1.5 A |
| T-Cs | 0 | 2.2 AB | 1.66 AB | 1.8 A | 1.44 A | 0.80 A |
| KI-Cs | 5 | 2.2 AB | 1.9 AB | 2.1 A | 0.75 A | 0.10 A |
| KI-Cs | 25 | 3.08 A | 1.9 AB | 1.33 A | 1.60 A | 1.65 A |
| TA | 0 | 2.08 AB | 2.82 A | 1.85 A | 1.25 A | 0 |
| KI | 5 | 1.7 AB | 2 AB | 1.38 A | 1.75 A | 0 |
| KI | 25 | 1.7 AB | 1.81 AB | 1.2 A | 0 | 0 |
| P ≤ | | 0.0405 | 0.0054 | 0.7589 | 0.3306 | 0.2724 |

Valores con la misma letra en una misma columna estadísticamente no son diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

Cuadro 5. valores del promedio de los sólidos solubles totales (Brix) del día 0, día 3, día 6, día 9 y día 12 biofortificados con complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan.

| Tratamiento | Concentración de I en kg de sustrato | Brix Día 0 | Brix Día 3 | Brix Día 6 | Brix Día 9 | Brix Día 12 |
|-------------|--------------------------------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| KIO3-Cs | 5 g | 4.36 A | 4.35 A | 4.28 B | 4.63 A | 4.33 A |
| KIO3-Cs | 25 g | 4.6 A | 4.44 A | 4.74 AB | 4.55 A | 5 A |
| KIO3 | 5 | 4.44 A | 4.87 A | 5 AB | 4.5 A | 4 A |
| KIO3 | 25 | 4.68 A | 4.5 A | 4.15 B | 4.9 A | 3.8 A |
| T-Cs | 0 | 4.7 A | 4.52 A | 4.7 AB | 4.8 A | 4.0A |
| KI-Cs | 5 | 4.66 A | 4.4 A | 4.3 AB | 4.35 A | 5.10 A |
| KI-Cs | 25 | 4.6 A | 4.92 A | 5.43 A | 5.3 A | 4.55 A |
| TA | 0 | 4.64 A | 4.68 A | 4.84 AB | 4.1 A | 0 |
| KI | 5 | 4.66 A | 4.5 A | 4.6 AB | 4.85 A | 0 |
| KI | 25 | 4.92 A | 4.52 A | 4.5 AB | 0 | 0 |
| P ≤ | | 0.9067 | 0.7420 | 0.0130 | 0.4333 | 0.5441 |

Valores con la misma letra en una misma columna estadísticamente no son diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

Cuadro 6. valores del promedio del pH del día 0, día 3, día 6, día 9 y día 12 biofortificados con complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan.

| Tratamiento | Concentración de I en kg de sustrato | PH Día 0 | PH Día 3 | PH Día 6 | PH Día 9 | PH Día 12 |
|-------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| KIO3-Cs | 5 g | 4.23 A | 4.58 A | 4.71 A | 4.80 A | 4.77 ABC |
| KIO3-Cs | 25 g | 4.32 A | 4.45 A | 4.59 A | 4.88 A | 4.89 AB |
| KIO3 | 5 | 4.48 A | 4.46 A | 4.71 A | 4.82 A | 5.43A |
| KIO3 | 25 | 4.45 A | 4.62 A | 4.55 A | 4.63 A | 4.64 BC |
| T-Cs | 0 | 4.54 A | 4.57 A | 4.65 A | 4.85 A | 3.86 D |
| KI-Cs | 5 | 4.5 A | 4.68 A | 4.91 A | 4.80 A | 4.90 CD |
| KI-Cs | 25 | 4.47 A | 4.64 A | 4.55 A | 4.65 A | 4.53 BC |
| TA | 0 | 4.09 A | 4.61 A | 4.63 A | 4.69A | 0 |
| KI | 5 | 4.53 A | 4.60 A | 4.58 A | 4.80 A | 0 |
| KI | 25 | 4.41 A | 4.67 A | 4.72 A | 0 | 0 |
| P ≤ | | 0.4794 | 0.8372 | 0.7511 | 0.6681 | 0.0135 |

Valores con la misma letra en una misma columna estadísticamente no son diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

Cuadro 7. valores del promedio de la conductividad eléctrica del día 0, día3, día6, día 9 y día 12 biofortificados con complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan.

| Tratamiento | Concentración de I en kg de sustrato | CE(ms/cm) Día 0 | CE(ms/cm) Día 3 | CE(ms/cm) Día 6 | CE(ms/cm) Día 9 | CE(ms/cm) Día 12 |
|-------------|--------------------------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|
| KIO3-Cs | 5 g | 1.61 A | 1.15 A | 1.95 A | 1.37 A | 0.91B |
| KIO3-Cs | 25 g | 0.90 A | 1.86 A | 1.99 A | 1.76 A | 0.69B |
| KIO3 | 5 | 1.66 A | 1.13 A | 2.04 A | 1.73 A | 1.9 AB |
| KIO3 | 25 | 1.10 A | 1.58 A | 2.71 A | 1.46 A | 1.54 B |
| T-Cs | 0 | 1.35 A | 1.51 A | 1.36 A | 1.54 A | 1.84AB |
| KI-Cs | 5 | 1.14 A | 1.20 A | 1.34 A | 1.41 A | 4.60 A |
| KI-Cs | 25 | 1.47 A | 1.68 A | 1.39 A | 1.32 A | 1.74 AB |
| TA | 0 | 1.93 A | 1.49 A | 1.57 A | 1.62 A | 0 |
| KI | 5 | 1.11 A | 1.49 A | 1.37 A | 1.07 A | 0 |
| KI | 25 | 1.84 A | 1.49 A | 1.7 A | 0 | 0 |
| P ≤ | | 0.1940 | 0.5021 | 0.4040 | 0.7469 | 0.0205 |

Valores con la misma letra en una misma columna estadísticamente no son diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

Cuadro 8. Valores de los promedios del peso seco del día 0, día 3, día 6, día 9 y día 12 biofortificados con complejos Cs-KI, KIO3 y quitosan.

| Tratamiento | Concentración de I en kg de sustrato | PSF (g) Día 0 | PSF(g) Día 3 | PSF(g) Día 6 | PSF(g) Día 9 | PSF(g) Día 12 |
|-------------|--------------------------------------|---------------|--------------|--------------|--------------|---------------|
| KIO3-Cs | 5 g | 4.04 A | 4.75 A | 4.12 B | 4.9 A | 4.99 A |
| KIO3-Cs | 25 g | 6.47 A | 7.29 A | 6.15 AB | 6.04 A | 5.5 A |
| KIO3 | 5 | 6.07 A | 7.51 A | 6.87 AB | 5.39 A | 5 A |
| KIO3 | 25 | 4.67 A | 6.02 A | 5.03AB | 5.01 A | 5.57 A |
| T-Cs | 0 | 6.12 A | 6.48 A | 5.51 AB | 5.67 A | 5.88 A |
| KI-Cs | 5 | 5.5 A | 5.7 A | 5.07 AB | 6.34 A | 5.88 A |
| KI-Cs | 25 | 5.58 A | 6.13 A | 4.43 AB | 5.97 A | 6.82 A |
| TA | 0 | 6.55 A | 6.38 A | 5.2 AB | 5.79 A | 0 |
| KI | 5 | 10.34 A | 6.11 A | 4.57 AB | 5.96 A | 0 |
| KI | 25 | 4.69 A | 6.83 A | 8.29 A | 0 | 0 |
| P ≤ | | 0.2179 | 0.3318 | 0.0168 | 0.7104 | 0.8688 |

Valores con la misma letra en una misma columna estadísticamente no son diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$).

