

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Efecto Del Yodo Sobre El Crecimiento, Morfometría, Minerales Y Antioxidantes En
Plantas De Tomate Sometidas A Estrés Por Salinidad

Por:

JOSÉ ELESBAN GARCÍA FUENTES

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Septiembre 2021

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

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

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

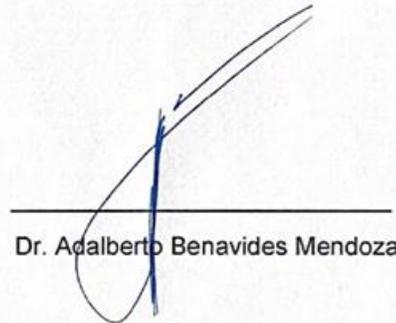
Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo es original.

Pasante

Asesor Principal

Elesban García F.

José Elesban García Fuentes



Dr. Adalberto Benavides Mendoza

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto Del Yodo Sobre El Crecimiento, Morfometría, Minerales Y Antioxidantes En
Plantas De Tomate Sometidas A Estrés Por Salinidad

Por:

JOSÉ ELESBAN GARCÍA FUENTES

TESIS

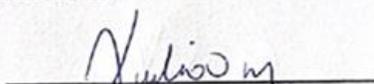
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



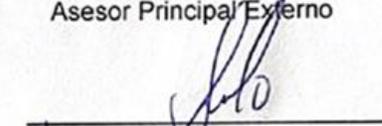
Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Asesor Principal Interno



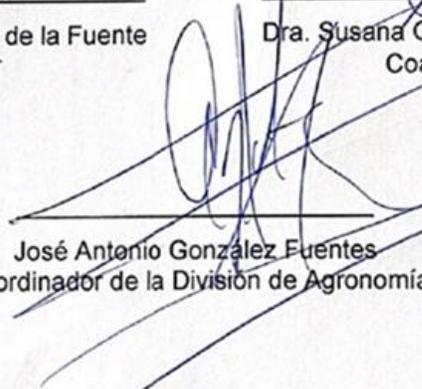
Dra. Julia Medrano Macías
Asesor Principal Externo



Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente
Coasesor



Dra. Susana González Morales
Coasesor



José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía



Saltillo, Coahuila, México

Septiembre 2021

AGRADECIMIENTOS

A Díos

Por estar conmigo en cada etapa y ayudándome a cumplir cada meta que me he propuesto.

A mi Alma Terra Mater

*UAAAN: Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro
Por estos cinco años llenos de aprendizaje y de preparación profesional, además de crear un ciudadano consiente para los nuevos retos a enfrentar en la sociedad y por darme a las mejores amistades.*

A mis asesores

Dra. Julia R. Medrano Macías Por la gran confianza de ser parte de esta investigación, por compartir sus conocimientos, darnos una buena orientación y sobre todo por la paciencia que tuvo.

Dr. Adalberto Benavidez Mendoza. Quien colaboró para la realización del presente trabajo.

Lic. Sergio García Rivera

Por sus consejos, por su amistad y la confianza de poder liderar el equipo Enactus UAAAN.

A mis amigos de generación

*Biaani Fernanda Herrera Castellanos, Monserrath Montiel
Anastacio, Fernando Corona Velasco, Diego Ulises Balbuena Jaime,
Alejandra J. Vázquez López, Gamaliel Sánchez Manzano, Luis Yair
Terrazas Vega, Roberto Carlos Calderón Hernández, Oscar Omar
Nava Zamora, Juan de Dios Vargas Rendón, André Pérez P., Eder
Iván Guillen Mercado, Mauricio Sánchez Sandoval, Guadalupe
Gómez Fernández y María Guadalupe López C.*

A mis amigos dentro de la universidad

*María Fernanda Valdés, Salvador Cárdenas, Alejandro Rodríguez,
Victor Castro, Rubén Villasana, Ronaldo Villasana, Misael
Martínez, Polet Sifuentes, Alexia Domínguez, Diana Paula Ramos,
Mónica Alvarado, German Amador, Axel Payan, Gustavo Herrera,
Marco Sánchez, Roberto Valdés, Cristian Romero, Monserrat Bravo,
Lorena Chávez, David Maldonado, Gustavo Pacheco, Raúl Obregón,
María del Carmen Coronado, María G. Coronado, Cristina Peralta y
Carlos Zamudio.*

DEDICATORIA

A mis padres

Sra. Nanci L. Fuentes Guajardo

Sr. José Elesban García Flores

Este trabajo se los dedico ustedes, gracias por siempre apoyarme en todo, por siempre creer en mí y nunca dejarme solo, por cada sacrificio hecho por mis hermanos y por mí, gracias por ser ustedes mis padres, estoy muy orgulloso de ustedes y no olviden que los amo.

A mis hermanos

Nancy Arleth y Josué Gaspar

Gracias por siempre apoyarme y hacerme mejor persona, siempre nos cuidaremos, estoy muy orgulloso de ustedes y los amo.

A mis abuelos, tíos, padrinos, primos y amigos

Gracias porque cada uno ha aportado algo para ser la persona que soy, por cada motivación y afecto de amor, los quiero.

En especial a Martha Itzel Martínez Garza (†) y Efraín Galván de la Cruz (†) por ser grandes personas y por haber marcado mi vida.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO.....	VII
ÍNDICE DE CUADROS	X
ÍNDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XIII
I. INTRODUCCIÓN	1
II. OBJETIVO GENERAL.....	3
2.1 Objetivos específicos.....	3
III. HIPÓTESIS	3
IV. REVISION DE LITERATURA	4
4.1 El yodo como elemento	4
4.2 El yodo en plantas	5
4.3 El yodo como inductor a la tolerancia al estrés	9
4.4 Salinidad	11
4.5 Tomate	13
V. MATERIALES Y METODOS.....	15
5.1 Ubicación del experimento	15
5.2 Trasplante.....	15
5.3 Fertilización y Riego.....	15
5.4 Tratamientos	16
5.5 Diseño experimental	17
5.6 Sometimiento de plántulas a estrés.....	17
5.7 Muestreo	17
5.8 Variables evaluadas	18
5.9 Crecimiento.....	18
5.9.1 Número de foliolos	18
5.9.2 Altura.....	18
5.9.3 Diámetro del tallo.....	18
5.9.4 Peso fresco y seco	18
5.10 Morfometría.....	18
5.10.1 Porometría	19

5.10.2 Área foliar	19
5.10.3 Área foliar específica	19
5.11 Cuantificación de elementos	19
5.11.1 Digestión ácida	19
5.11.2 Nitrógeno (N)	20
5.11.3 Fosforo (P)	20
5.11.4 Cuantificación de Yodo (I)	21
5.12 Producción	21
5.13 Calidad de fruto	21
5.13.1 Firmeza	21
5.13.2 Firmeza vida de anaquel	22
5.13.3 Sólidos solubles totales	22
5.13.4 pH	22
5.13.5 Conductividad eléctrica	22
5.14 Análisis estadístico	22
VI. Resultados	23
6.1 Crecimiento	23
6.1.1 Numero de foliolos	23
6.1.2 Altura	24
6.1.3 Diámetro de tallo	24
6.1.4 Biomasa fresca	25
6.1.5 Biomasa seca	26
6.2 Morfometría	27
6.2.1 Porometría	27
6.2.2 Área Foliar	28
6.2.3 Área foliar específica	29
6.3 Minerales	30
6.3.1 Nitrógeno en hojas	30
6.3.2 Fósforo en hojas	31
6.3.3 Potasio en hojas	32
6.3.4 Calcio en hojas	33
6.3.5 Magnesio en hojas	34
6.3.6 Sodio en hojas	35

6.3.7 Hierro en hojas.....	36
6.3.8 Zinc en hojas	37
6.3.9 Cobre en hojas	38
6.3.10 Manganeso en hojas	39
6.3.11 Yodo en hojas	40
6.3.12 Nitrógeno en frutos	41
6.3.13 Fósforo en hojas.....	42
6.3.14 Potasio en frutos	43
6.3.15 Calcio en frutos.....	44
6.3.16 Magnesio en frutos.....	45
6.3.17 Sodio en frutos.....	46
6.3.18 Hierro en frutos.....	47
6.3.19 Zinc en frutos	48
6.3.20 Cobre en frutos	49
6.3.21 Manganeso en frutos	50
6.3.22 Yodo en frutos.....	51
6.4 Producción.....	52
6.4.1 Rendimientos	52
6.4.2 Numero de frutos.....	53
6.5 Calidad de fruto.....	54
6.5.1 Firmeza	54
6.5.2 2da Firmeza (vida de anaquel)	55
6.5.3 pH.....	56
6.5.4 Solidos solubles totales (SST) °Brix	57
6.5.5 CE	58
VII. Discusión	60
7.1 Crecimiento.....	60
7.2 Morfometría.....	61
7.3 Elementos.....	62
7.4 Calidad de fruto.....	63
VIII. Conclusión	65
IX. BIBLIOGRAFIA.....	66

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentraciones de la solución nutritiva (Steiner, 1961).	16
Cuadro 2. Tratamientos evaluados en el experimento.	17

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Número de foliolos en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	23
Figura 2. Altura en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	24
Figura 3. Diámetro de tallo en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	25
Figura 4. Biomasa fresca en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	26
Figura 5. Biomasa seca en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	27
Figura 6. Porometría en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	28
Figura 7. Área foliar en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	29
Figura 8. Área foliar específica en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	30
Figura 9. Contenido de nitrógeno en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	31
Figura 10. Contenido de fósforo en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	32
Figura 11. Contenido de potasio en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	33
Figura 12. Contenido de calcio en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	34
Figura 13. Contenido de magnesio en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	35
Figura 14. Contenido de sodio en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	36
Figura 15. Contenido de hierro en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	37
Figura 16. Contenido de zinc en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	38
Figura 17. Contenido de cobre en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	39
Figura 18. Contenido de manganeso en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	40
Figura 19. Contenido de yodo en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	41
Figura 20. Contenido de nitrógeno en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	42

Figura 21. Contenido de fósforo en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	43
Figura 22. Contenido de potasio en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	44
Figura 23. Contenido de calcio en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	45
Figura 24. Contenido de magnesio en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	46
Figura 25. Contenido de sodio en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	47
Figura 26. Contenido de hierro en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	48
Figura 27. Contenido de zinc en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	49
Figura 28. Contenido de cobre en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	50
Figura 29. Contenido de manganeso en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	51
Figura 30. Contenido de yodo en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	52
Figura 31. Rendimiento en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	53
Figura 32. Número de frutos en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	54
Figura 33. Firmeza en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	55
Figura 34. Vida de anaquel de fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	56
Figura 35. pH del fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales. .	57
Figura 36. ° Brix en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.	58
Figura 37. CE en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales. .	59

RESUMEN

El yodo es un elemento perteneciente al grupo de los halógenos que tiene la capacidad de ganar o perder electrones, cuenta con 5 estados de oxidación. En algunas especies el yodo es un elemento esencial, por ejemplo, en algas marinas y algunos mamíferos, pero no en las plantas terrestres, en estas es un elemento benéfico o también considerado como bioestimulante. Algunos hallazgos han evidenciado que este puede tener efectos sobre el metabolismo antioxidante, induciendo un incremento en la tolerancia al estrés, que puede ser biótico o abiótico. El estrés salino afecta la fisiología y la bioquímica vegetal, además compromete su subsistencia, así como su productividad, este tipo de estrés afecta muchas partes del planeta, por lo cual las plantas han desarrollado mecanismos de tolerancia. Por ello el objetivo de esta investigación es evaluar el efecto benéfico del yodo sobre el crecimiento, morfometría y contenido de minerales y antioxidantes en plantas de tomate cultivadas bajo condiciones de invernadero y sometidas a estrés por salinidad con 100 mM de NaCl en la variedad Rio Fuego por medio de aplicaciones foliares de yodato (KIO_3) cada 15 días a 100 μ M. Los resultados obtenidos fueron que en el rendimiento y el número de frutos por planta se presentó un incremento del 23% con la aplicación de yodato bajo condiciones de estrés por salinidad, sin embargo, en el crecimiento no se pudo evitar la pérdida de biomasa, respecto a la concentración de minerales en hojas hubo un mayor contenido de nitrógeno, hierro y sodio, y una reducción de nitrógeno y magnesio en fruto en el tratamiento sometido a estrés con yodato. Bajo condiciones normales no se encontraron diferencias de crecimiento entre los tratamientos, aunque si se presentó un aumento del contenido de nitrógeno, calcio y yodo en hojas, una reducción del área foliar y sólidos solubles totales con la aplicación de yodato. En cuanto al contenido de minerales en fruto hubo un aumento de nitrógeno, cobre, sodio y yodo. Por otro lado, hubo una reducción de calcio. Además, se mostró un incremento en el parámetro de firmeza y mayor vida de anaquel en los tratamientos con aplicaciones de yodato.

Palabras Clave: Yodo, Tomate, Biofortificación, Salinidad, Estrés.

I. INTRODUCCIÓN

El elemento yodo (I), pertenece al grupo VII de los halógenos, es un sólido, cristalino, de color negro azulado que ocupa el lugar número 61 en orden de abundancia en la corteza terrestre, lo que representa el 0.4 % de la masa de la tierra y recibe su nombre por su vapor de color violeta (Stanbury y Dunn; 2003). Se encuentra en el agua de mar, en la tierra y en las rocas. También está presente en algas y otros productos marinos como pescados, mariscos y ciertos vegetales (Berro, 2008). Además, las algas marinas son los organismos vivos que más I acumulan del planeta y las denominadas algas pardas llegan a concentrar hasta 70,000 veces la media del I disuelto en el mar.

El yodo es un micronutriente esencial para el desarrollo de mamíferos, relacionado principalmente con la producción de hormonas tiroideas, sin embargo, en años recientes se han ido dilucidando otras funciones como el desarrollo cognitivo fetal, la reducción en la incidencia de cáncer, entre otras. Debido al ciclo biogeoquímico de este elemento, la distribución en los distintos suelos alrededor del globo terráqueo es bastante heterogénea e irregular, teniendo como consecuencia un bajo contenido en las principales especies vegetales de consumo y por lo tanto una ingesta humana deficiente. Se ha establecido que se deben consumir alrededor de 150 μg de I al día. Numerosas alternativas se han empleado para mitigar tal déficit nutrimental, y entre las más recientes y eficientes se encuentra la biofortificación, en donde se ha logrado producir hortalizas y otras especies vegetales con cantidades adecuadas de yodo para abastecer el consumo óptimo diario mediante la aplicación exógena de diferentes formas de yodo tanto orgánico como inorgánico. Sin embargo, de modo más reciente se ha prestado particular atención al efecto de las aplicaciones exógenas de yodo sobre el metabolismo vegetal. Teniendo la primicia, que dicho elemento no es considerado a la fecha esencial en las plantas, pero se le han atribuido efectos benéficos sobre todo lo relacionado con el balance oxido-reductor (Venturi, 2011). Diversos trabajos han evidenciado que la aplicación exógena de yodo propicia un incremento en la biomasa y producción vegetal, así

como también se ha encontrado que a concentraciones bajas se promueve un incremento en los antioxidantes (Blasco-Leon, 2010), (Medrano-Macías *et al.*, 2016), (Smoleń *et al.*, 2019) lo que lleva a un incremento en la tolerancia al estrés como lo analizado por (Leyva *et al.*, 2011) donde encontraron un incremento en la tolerancia al estrés por salinidad en plantas de lechuga cultivadas en hidroponía, de modo similar (Gupta *et al.*, 2015) encontraron un incremento a la tolerancia al estrés por metales pesados en plantas de *Glycina max*. El interés científico del presente trabajo de investigación es buscar nueva evidencia del uso del yodo como inductor a la tolerancia al estrés abiótico por salinidad, debido a que este es uno de los estreses más ampliamente distribuido alrededor del mundo, afectando a 110 millones de hectáreas en zonas áridas y semiárida, provocando pérdidas en la producción y calidad de los frutos. Se eligió el cultivo de tomate por ser una de las especies hortícolas de mayor importancia económica y de consumo para el mundo y para México. Los objetivos que persiguió dicho proyecto fue evidenciar adicionalmente a la acumulación del yodo en los frutos de tomate con fines de biofortificación, un incremento a la tolerancia al estrés por salinidad desde la perspectiva de crecimiento, morfometría, producción y calidad de fruto.

II. OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del yodo sobre el crecimiento, la morfometría, el contenido de elementos esenciales, producción y calidad del fruto en plantas de tomate cultivadas bajo condiciones de invernadero sometidas a estrés por salinidad.

2.1 Objetivos específicos

- a) Evaluar el crecimiento de las partes vegetativas de las plantas de tomate tratadas con yodo y sometidas a estrés por salinidad.
- b) Evaluar variables morfométricas de las plantas de tomate tratadas con yodo y sometidas a estrés por salinidad.
- c) Analizar el contenido de elementos esenciales en hojas y frutos de las plantas de tomate.
- d) Evaluar la producción y calidad del fruto de las plantas tratadas con yodo y sometidas a estrés por salinidad.

III. HIPÓTESIS

La aplicación de yodo en plantas de tomate sometidas a estrés por salinidad tendrá un efecto positivo sobre el crecimiento, morfometría, producción y la calidad de fruto.

IV. REVISION DE LITERATURA

4.1 El yodo como elemento

El yodo o iodo es un elemento químico de número atómico 53 situado en el grupo de los halógenos (grupo 17) de la tabla periódica de los elementos. Su símbolo es I. Este átomo puede encontrarse en forma molecular como yodo diatómico, químicamente el yodo es el halógeno menos reactivo y electronegativo (Beyer, L., & Herrero, 2000). Además, el yodo es el más pesado entre los halógenos estables y el único que es sólido a temperatura ambiente. Se sublima fácilmente para generar un particular gas púrpura. Por sí mismo, tiene características de un metal, pero reacciona fácilmente con la mayoría de los otros elementos dando lugar a los correspondientes yoduros. El yodo da lugar a una rica familia de compuestos siendo capaz de aparecer en los estados de oxidación -1 , 0 , $+1$, $+3$, $+5$, $+6$ y $+7$ (Kaiho, 2014; Küpper *et al.*, 2011)

El yodo (iodine según la IUPAC) fue descubierto en 1811 por el químico francés Bernard Courtois cuando investigaba los restos acidificados de algas calcinadas. Advirtió su característico vapor púrpura y su precipitación en cristales oscuros sobre una superficie fría (Rosenfeld, 2000). Sus observaciones fueron continuadas por Gay-Laussac quien sugirió el nombre "iode", de la palabra griega $\iota\omicron\epsilon\iota\delta\acute{\eta}\varsigma$ (violeta), debido al vapor característico y por Davy, quien notó la similitud del yodo con el cloro (Courtois B, 1813; Gay-Lussac J, 1813).

Aunque la concentración del yodo en el agua de mar es baja (0.05 mg/L), las algas captan enzimáticamente el yodo y lo concentran en un factor de 10^3 - 10^4 . La mayor parte es acumulada como yoduro, triyoduro y yodato. El propio Courtois fue el primero en fabricar tanto yodo de alta calidad como sus sales a partir de 1822. Hoy en día, la principal producción de yodo se encuentra en Chile y Japón. La producción industrial en Chile utiliza roca caliche, que contiene entre un 0.02 % - 1 % de yodo, el cual se extrae como yodato de sodio. Por otro lado, la producción en China y

Japón, se basa en la extracción de soluciones de salmuera ricas en yodo seguido por su oxidación con cloro (Kaiho, 2014; Kaiho T, 2017).

El yodo está fuertemente enriquecido en los suelos cercanos a la costa, sin embargo, la principal zona de influencia marina se extiende generalmente hasta 50-80 km tierra adentro y las fuentes terrestres de yodo volatilizado, procedentes de humedales, suelos y plantas, son también un aspecto importante de su ciclo geoquímico global. El yodo en los suelos está fuertemente ligado y los factores de transferencia del suelo a las plantas son generalmente pequeños, por lo que la absorción de yodo a través del sistema radicular de las plantas es limitada. Es probable que la absorción del yodo atmosférico por las partes aéreas de las plantas sea un proceso esencial y, junto con el yodo depositado en la superficie de las plantas, es una fuente importante para los animales de pastoreo (Fuge & Johnson, 2015).

4.2 El yodo en plantas

El yodo se encuentra naturalmente presente en algunos alimentos, pero en cantidades pequeñas, este no es suficiente para el consumo humano, una problemática es que las personas que no reciben suficiente yodo no pueden producir cantidades suficientes de la hormona tiroidea. Además, las mujeres embarazadas requieren alrededor de un 50% más de yodo que las demás mujeres para administrar suficiente yodo a su bebé. En la actualidad la forma más general de consumir yodo es por medio de la sal de mesa, esta es la mejor forma de controlar la carencia de yodo. Pero solo la consume el 70% de la población mundial, que se estima que el 30% de la población mundial se encuentra afectada por la deficiencia de este elemento.

Por lo tanto, se deben introducir en la dieta fuentes nuevas o adicionales de este elemento, dado que las plantas generalmente contienen cantidades bajas de I, los enfoques de biofortificación han sido últimamente un área de investigación

importante, con el fin de producir alimentos con suficiente contenido de I (Jerše *et al.*, 2018).

No se considera al yodo como un elemento esencial para las plantas terrestres, aunque diversos estudios demostraron que estas absorben y acumulan yodo (Mackowiak & Grossl, 1999; Zhu, Huang, Hu, & Liu, 2003). Esta aparente no esencialidad explica por qué el yodo no se contempla en los programas de fertilización mineral de los cultivos, ello a pesar de que se ha demostrado que el aporte de sales inorgánicas de yodo permite elevar la tolerancia al estrés en las plantas (Gupta *et al.*, 2015; Leyva *et al.*, 2011). El no incluir fertilizantes con yodo para los cultivos, ocasiona que el contenido de este elemento en los alimentos vegetales y animales dependa exclusivamente de la disponibilidad natural del elemento en el suelo y en el agua. Por tal razón, hasta la fecha, la principal fuente de yodo para la mayoría de la población mundial es el aporte de sales inorgánicas (yoduro y yodato de potasio: KI y KIO₃) en la sal de mesa, agregando de 20 a 40 mg de yodo por kg de sal siguiendo los lineamientos de OMS/ UNICEF/ International Council for the Control of Iodine Deficiency Disorders (FAO, 2009; OMS, 2007; Zimmermann, 2009).

El yodo cae en el rango de micronutriente benéfico debido a que se han evidenciado efectos positivos cuando este elemento es aplicado en forma exógeno a bajas concentraciones, pero ocurre toxicidad al aplicar en las plantas más allá de ciertas concentraciones (Caffagni *et al.*, 2011; Landini *et al.*, 2012). Estos umbrales de beneficio y de toxicidad son variables y dependen de la especie (Kabata-Pendias, 2011). Ya que se han reportado efectos tóxicos para concentraciones entre 0.5 y 1.0 mg L kg⁻¹ para plantas cultivadas en solución nutritiva (Kabata-Pendias, A., & Pendias, 2001).

Por lo cual se ha propuesto la biofortificación de cultivos con yodo para mejorar la nutrición humana y conseguir una ingesta adecuada de yodo de los alimentos, ya sea como complemento o como alternativa a las fuentes inorgánicas de yodo como la sal de mesa (Li *et al.*, 2017; Medrano-Macías *et al.*, 2016), ya que el consumo de yodo en forma orgánica se considera más adecuado (Weng *et al.*, 2014). La

capacidad antioxidante se considera muy importante en la dieta del ser humano ya que está ligada a la disminución del riesgo de padecer arteriosclerosis cardiovascular (Bazzano *et al.*, 2002; Joshipura *et al.*, 1999), cáncer (Smith-Warner *et al.*, 2003), trastornos degenerativos oculares (Chasan-Taber *et al.*, 1999; Cho *et al.*, 2004) y otras enfermedades neurodegenerativas y crónicas, como el Alzheimer y Parkinson, que ocurren con frecuencia en ciudades industrializadas.

Además, las hortalizas biofortificadas con yodo mediante pulverizaciones foliares (Comandini *et al.*, 2013) mostraron una alta estabilidad del yodo durante diferentes procedimientos de cocción doméstica. Por el contrario, el yodo agregado como sal de mesa yodada al agua de cocción de vegetales no biofortificados estuvo sujeto a pérdidas sustanciales durante el proceso de ebullición.

En general, el efecto del yodo es positivo en el crecimiento de las plantas. Se han obtenido buenos resultados con respecto a la biofortificación cuando se aplica en forma de rociado en hojas con KI a 0.5 kg ha^{-1} . Con concentraciones más altas, la respuesta es variable: negativa, neutra o positiva, dependiendo de la especie de planta (Medrano-Macías *et al.*, 2016).

La biofortificación con yodo en la lechuga mantecosa (*Lactuca sativa*) mediante pulverizaciones foliares fue investigada en ensayos de campo, centrándose en evaluar la influencia del tiempo y el método de aplicación. Las concentraciones de I en las partes comestibles de la planta aumentaron cuando las soluciones de yoduro de potasio (KI) y yodato de potasio (KIO_3) se rociaron a dosis de hasta $0.25 \text{ kg I ha}^{-1}$ en diferentes fechas cercanas a la cosecha (Lawson *et al.*, 2016).

Por otro lado, la reducción de la biomasa no sólo depende de la forma y de la dosis aplicada sino también de la especie vegetal utilizada, ya que no todas las plantas reaccionan de la misma forma ante la presencia de I y su efecto parece ser ampliamente dependiente de la naturaleza de los cultivos (Blasco-Leon, 2010). Además, se cree que el I no es fácilmente móvil en el floema. Sin embargo, se ha demostrado que las concentraciones de tubérculos, frutas y semillas pueden incrementarse a niveles nutricionalmente significativos (White & Broadley, 2009).

Se han realizado numerosos estudios sobre la aplicación de yodo en varias especies de plantas con el propósito de obtener cultivos biofortificados. Los resultados reportados en la literatura son variables de acuerdo con la concentración aplicada, la forma química usada y el sistema de producción adoptado. Una visión general se presenta en la absorción, transporte y la volatilización de yodo en las plantas, las concentraciones y formas químicas de yodo que se utilizan en diferentes sistemas de producción (Medrano-Macías *et al.*, 2016).

Se demostró que la movilidad del yodo en el floema es muy limitada, por lo tanto, sólo las hojas en contacto directo con la pulverización foliar tendrían mayores concentraciones de yodo (Humphrey *et al.*, 2019); por lo que se acumula en mayor cantidad en las hojas que en los frutos y semillas. Sin embargo, en plantas de lechuga tratadas con yodo rociando las hojas (Smoleń *et al.*, 2016), encontraron evidencia de transporte de yodo de las hojas a las raíces. En las plantas de trigo, incluso cuando el yodo se aplicó por aspersion foliar, la movilidad de las hojas a los granos (denominado el factor de translocación) fue muy baja (0.2 a 1.1%), pero este valor parece ser acumulativo, es decir, el yodo se mueve desde las hojas al grano cada vez que se aplica (Hurtevent *et al.*, 2013). Los factores observados de translocación de rábano, la papa y el frijol están en un rango de 0.8-2.6%, 0.1 a 2.3% y 0.1 a 2.6%, respectivamente (Henner *et al.*, 2013). Por otro lado, el factor de transferencia de yodo (ITF) se refiere al elemento que es absorbido por la raíz, y se define como la relación de la concentración de yodo en los tejidos de las plantas a su concentración en el sustrato. El ITF es mayor en cultivos de hoja como la espinaca ($ITF \geq 2.0$), que en frutas tales como tomates y nectarinas, o granos de cereales ($0,0005 \leq ITF$) (Lawson, 2014; Shinonaga *et al.*, 2001).

La concentración de yodo encontrada normalmente en tejidos vegetales va de 0.1 a $1 \mu\text{g g}^{-1}$, pudiendo alcanzar hasta $3 \mu\text{g g}^{-1}$ ó más (Jones, 1998). En un estudio llevado a cabo por Shinonaga *et al.*, (2001) se estableció que la concentración de yodo en cereales de grano de zonas agrícolas continentales de Europa fue particularmente baja, con valores de 0.002 a $0.03 \mu\text{g g}^{-1}$, en comparación con los suelos cercanos al océano. Poco se conoce sobre la forma en que éste elemento

es acumulado en plantas terrestres, sin embargo, en una investigación realizada en plantas de calabaza se dedujo mediante un estudio con microscopia electrónica que al aplicarse yodo inorgánico y orgánico directamente al sustrato, la mayor parte del yodo se acumuló en la raíz, mientras otra pequeña porción fue transportada a las partes aéreas para almacenarse en los cloroplastos (Weng *et al.*, 2008), hecho que pudiera explicar parcialmente su carácter de inductor de tolerancia frente a algunos tipos de estrés ya que un volumen importante de la maquinaria antioxidante celular se encuentra en los cloroplastos.

También se realizó un estudio en el cultivo de melón donde se aplicó 1 mM de KI por aspersión foliar tuvo un efecto positivo en las variables de crecimiento y de intercambio de gases de las plantas de melón, pero teniendo la misma producción y también se aplicó a 2 mM de KI foliar y promovió la acumulación de antioxidantes en las hojas pero sin efecto en las variables de crecimiento, intercambio de gases y disminuyó la producción de fruto (Melgoza *et al.*, 2016).

4.3 El yodo como inductor a la tolerancia al estrés

La mayoría de los factores que inducen estrés aumentan la concentración de especies reactivas de oxígeno (ROS) a nivel celular. En consecuencia, la inducción de antioxidantes se considera una faceta importante de las respuestas de adaptación que inducen tolerancia al estrés en plantas (Gill & Tuteja, 2010). Se ha evidenciado que el yodo fue uno de los primeros antioxidantes (inorgánicos), que permitieron a los organismos resistir el estrés oxidativo una vez que la concentración atmosférica de O_2 comenzó a aumentar después del origen de la fotosíntesis oxigénica (Crockford, 2009; Küpper *et al.*, 2011; Venturi, 2011). Esta función de yodo fue probada en las algas marinas donde el elemento inactiva superóxido (O_2^-), hidroxilo (OH.), oxígeno singlete (1O_2) y peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (Küpper *et al.*, 2008). En algunos estudios, se encontró que el yodo aumentó la cantidad de

antioxidantes y permitió una mayor resistencia a ciertos tipos de estrés abiótico, tales como la salinidad y metales pesados (Gupta *et al.*, 2015; Leyva *et al.*, 2011). El tratamiento de las semillas de soja y de girasol con un apósito seco de yodo y carbonato de calcio reduce el deterioro fisiológico a alta temperatura y humedad. Semillas tratadas mostraron niveles más bajos de daño de la membrana, que se refleja en una mejor germinación y crecimiento de las plántulas (Deynée Pathak & Mukherjee, 1984). El deterioro de las semillas se asocia principalmente con el estrés oxidativo (Sun & Leopold, 1995); por lo tanto, los estudios anteriores demuestran la inducción de tolerancia por el yodo, funcionando tal vez como un antioxidante. Resultados análogos se obtuvieron mediante el tratamiento previo de las semillas de cacahuete con zinc, que conduce a la mejora en la respuesta al patógeno *Aspergillus niger* (Jajda & Thakkar, 2012). Se necesita más investigación sobre el potencial del yodo para inducir tolerancia al estrés. La adopción del uso de yodo por el sector agrícola comercial será más rápida si la aplicación del elemento se presenta a los productores y las empresas como una alternativa para mitigar los daños causados por estrés biótico y abiótico y promover el crecimiento de las plantas. La ventaja de este enfoque es que es más atractivo desde el punto de vista económico, alcanzando en paralelo el objetivo de la biofortificación de cultivos.

Una investigación en fresas en condiciones normales y de estrés salino, tuvo aplicaciones de yodo: con productos Q® y KIO₃ donde se evaluó el crecimiento, el contenido de antioxidantes, los minerales esenciales, la acumulación de yodo y la calidad del fruto, los resultados mostraron que, en condiciones de estrés, la aplicación de productos Q incrementó el ascorbato peroxidasa (APX), catalasa (CAT), contenido de glutatión (GSH) y el rendimiento en fruto, sin evitar la pérdida de biomasa; con la aplicación de KIO₃ se obtuvo un incremento en la actividad GSH y APX, así como en las concentraciones de P y K. En las hojas se evidenció un incremento en la acumulación de P, Ca, Mn y yodo con la aplicación de productos Q, y un aumento en la concentración de ácido ascórbico y yodo con los tratamientos de KIO₃. En condiciones normales en los frutos, la aplicación de productos Q incrementó la síntesis de compuestos fenólicos; además, se mostró un aumento en las concentraciones de Ca y Mn. La aplicación de KIO₃ aumentó la firmeza y el Mn.

En las hojas, la aplicación de productos Q aumentó la clorofila a, b y el calcio. En conclusión, la aplicación de yodo mejora el valor cualitativo de las fresas en condiciones normales y proporciona una mejora de la tolerancia al estrés salino (Medrano *et al.*, 2021).

Los tratamientos con yodo regulan específicamente la expresión de varios genes, en su mayoría implicados en la respuesta de defensa de la planta, lo que sugiere que el yodo puede proteger contra el estrés biótico y abiótico, además el yodo es beneficioso para la acumulación de biomasa y conduce a una floración temprana. Estos resultados sugieren la implicación funcional del yodo en la nutrición de las plantas (Kiferle *et al.*, 2021).

Una investigación fue comparar la absorción y los efectos de la aplicación de los siguientes compuestos minerales y orgánicos de yodo en plantas jóvenes de tomate: KI, ácido 5-iodosalicílico (5-ISA) y ácido 3,5-diodosalicílico (3,5-diISA). Una combinación de control adicional incluía el tratamiento con ácido salicílico (SA) solo donde todos los compuestos se introdujeron en la solución nutritiva en concentraciones, se observó que todos los compuestos de yodo aplicados modificaron las actividades APX, CAT y POX, así como las acumulaciones de glucosa, fructosa y sacarosa en las hojas de tomate como resultado se concluyó que los compuestos orgánicos de yodo, es decir, 3,5-diISA y 5-ISA, pueden ser absorbidos por las raíces de las plantas de tomate en una fase temprana de desarrollo (Halka *et al.*, 2020).

4.4 Salinidad

La salinidad es uno de los estreses abióticos más recurrentes a nivel mundial, afectando gravemente a la producción vegetal (Medrano *et al.*, 2021). En México la salinización de suelos afecta el 3.2% de su territorio, siendo este proceso una realidad cada vez más evidente, y una de las principales causas de degradación química, fundamentalmente en las zonas áridas y particularmente en los suelos bajo

riego, donde la aplicación de fertilizantes y residuos industriales han favorecido la salinidad. Se estima que 831 millones de hectáreas a nivel mundial están afectadas por sales (Mata-Fernández *et al.*, 2014).

Este fenómeno medioambiental, independientemente de las condiciones climáticas, ha acarreado procesos de degradación de los suelos, perjudicando los rendimientos de cultivos de gran interés en la economía nacional. El estrés salino provoca cambios fisiológicos y bioquímicos en el metabolismo de las plantas, que determinan su subsistencia, así como su productividad en estas condiciones, para lo cual las plantas han desarrollado mecanismos de tolerancia (Lamz & González, 2010).

El efecto de las sales en las plantas se presenta cuando son sometidas a altas concentraciones de sal, lo que puede afectar su capacidad de retención del agua y además de los efectos iónicos que ocasiona a nivel enzimático en los procesos de glicólisis, ciclo de Krebs y fotofosforilación, que son sensibles a las soluciones salinas, y dan como resultado una menor disponibilidad de energía, de nutrientes y del crecimiento de las plantas y germinación de las semillas (Mata-Fernández *et al.*, 2014). Este produce efectos positivos y negativos en las plantas de tomates, sean estas cultivadas o silvestres. La mayoría de los efectos son negativos, y se hacen sentir desde los primeros estados fenológicos de la planta. La germinación se reduce y se prolonga el tiempo de este evento. El crecimiento de las raíces disminuye y por tanto cae la capacidad de absorción de agua y nutrientes. En la parte aérea el número de frutos y su peso también son alterados adversamente. El grado de impacto de las sales en el cultivo depende del estado de desarrollo en que se encuentre el cultivo, siendo las etapas juveniles más sensibles que las etapas adultas (Goykovic Cortés & Saavedra del Real, 2007).

4.5 Tomate

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una planta originaria de la planicie costera occidental de América del Sur. Fue introducido por primera vez en Europa a mediados del siglo XVI y se comenzó a cultivar comercialmente a principios del siglo XIX, etapa en que inició la industrialización y diferenciación de las variedades para mesa e industria. En las últimas décadas, la introducción a América tropical de los cultivares mejorados en Estados Unidos y Europa, en particular de los tipos híbridos que han ido eliminando los cultivares nativos de calidad inferior. Se consume el fruto, el cual se destaca por su valor vitamínico elevado, aunque posee un valor calórico bajo. Dentro del contenido de sus nutrientes se destaca la importancia de la vitamina C (por cada 100 g que se consumen en crudo posee unos 23 mg), cuyo contenido varía con el grado de madurez, estado de cultivo, época, variedad etc. (L. Díaz, & Flor de Serrano, 2018).

Es una planta herbácea de tallo voluble y largo. Tiene un sistema radicular pivotante, profundo y poco ramificado. Sus tallos y sus ramas son de consistencia herbácea, por lo cual la planta no se sostiene por sí sola y es necesario el empleo de tutores para su sostén. Las flores se encuentran agrupadas en inflorescencia de racimo o cimas racimosas (SAGARPA, 2017).

Considerada la hortaliza número uno, cultivada tanto a cielo abierto como en invernadero (J. Flores *et al.*, 2007), teniendo en cuenta su potencial nutricional y alto valor económico (Moreno-Medina, 2013). Es una baya muy coloreada, típicamente de tonos que van del amarillento al rojo, debido a la presencia de los pigmentos licopeno y caroteno. Posee un sabor ligeramente ácido. Es de forma generalmente redonda y achatada, excepto algunas variedades de fruto alargado, como el saladette. Aunque son de diferentes tamaños, por lo general es un fruto grande (SAGARPA, 2017).

México es el principal proveedor a nivel mundial de tomate con una participación en el mercado internacional de 25.11% del valor de las exportaciones mundiales. A pesar de que durante el periodo 2003-2016 se experimentó una reducción en la

superficie sembrada, presentó un crecimiento acumulado en la producción (54.25%) y en las exportaciones en fresco (77.87%), convirtiéndolo en uno de los cultivos con mayor incremento en productividad. En el 2030, se estima un aumento en la demanda mundial de 8.92 a 11.78 MMt (un crecimiento acumulado de 32.10%), mientras que la producción nacional de tomate tiene la capacidad de incrementarse de 3.35 a 7.56 MMt, lo cual representa un crecimiento acumulado de 125.80%. Ante este escenario es factible destinar 2.06 MMt a consumo nacional y 5.50 MMt a las exportaciones (SAGARPA, 2017).

V. MATERIALES Y METODOS

5.1 Ubicación del experimento

El experimento se llevó a cabo en un invernadero tipo capilla de mediana tecnología con medida de 14 m de largo x 7 m de ancho en el Departamento de Horticultura de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, Saltillo, Coahuila, México, ubicado a 25° 21' 12.8" latitud norte y 101° 01' 51.9" longitud oeste.

5.2 Trasplante

Como material vegetal fueron utilizadas plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Rio Fuego, las cuales fueron trasplantadas a las 4 semanas posteriores a la siembra (10 Mayo 2019) en contenedores de poliestireno de 10 kg de capacidad. Como sustrato se usó peat moss + perlita en proporción 1:1.

5.3 Fertilización y Riego

Una solución nutritiva completa Steiner (Steiner, 1961) con un pH de 6.3 y una conductividad eléctrica de 2 dS/m en el tambo de solución nutritiva y en el tambo de solución nutritiva más NaCl 8 ds/m, se aplicó sistemáticamente todos los días de acuerdo a las necesidades de las plantas en riegos de 200 mL por 5 minutos, 5 veces al día emitiendo un buen drenaje. Este proveniente de dos tambos con capacidades de 200 L cada uno. Cada uno regaba la mitad de las plantas del experimento. Las aplicaciones foliares de yodato fueron cada 15 días a 39 mg por litro en los tratamientos de estrés más yodato y solución nutritiva más yodato. La aplicación foliar inicio el 25 de mayo del 2019.

Cuadro 1. Concentraciones de la solución nutritiva (Steiner, 1961).

Macronutrientes	Miliequivalentes (Meq)
KH_2PO_4	1
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	4
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$	9
KNO_3	12
K_2SO_4	7
Micronutrientes	Partes por millón (ppm)
HBO_3	0.5
MnSO_4	0.7
ZnSO_4	0.09
CuSO_4	0.02
Fe quelado	3

5.4 Tratamientos

El experimento consistió en cuatro tratamientos: control salino + solución nutritiva (NaCl), control salino + solución nutritiva más yodato de potasio (NaCl+KIO₃), control absoluto (SN, solución nutritiva), solución nutritiva más yodato de potasio en plantas sin estrés (SN+KIO₃), distribuidos bajo un diseño de experimentos completamente aleatorizado, para la aplicación de tratamientos fueron utilizados dos tambos de un tampo de 200L, uno contenía solución nutritiva más estrés salino al 100 mM de NaCl y el otro tampo solo contenía solución nutritiva. Se utilizaron 35 plantas por tratamiento, dando un total de 140 plantas. Siendo una unidad experimental una planta.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados en el experimento.

NaCl	Control salino
NaCl+KIO ₃	Estrés más yodo
SN	Control absoluto
SN+KIO ₃	Solución nutritiva más yodo

5.5 Diseño experimental

Se utilizó un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos de treinta y cinco repeticiones cada uno.

5.6 Sometimiento de plántulas a estrés

Se realizó a los 20 días posteriores al trasplante, donde se aplicó una concentración de 100 mM de cloruro de sodio (NaCl), en la solución nutritiva dirigida al sustrato, a través del sistema de riego.

5.7 Muestreo

Se realizaron tres muestreos completamente al azar. El primero se llevó a cabo a los 41 días posteriores al trasplante que fue el 21 de junio de 2019, el segundo muestreo se efectuó entre los 71 días del trasplante que fue el 21 de julio de 2019, y el tercer muestreo a los 125 días posteriores al trasplante que fue el 13 de septiembre de 2019. En el primer y segundo muestreo se evaluaron variables de crecimiento y morfometría y en el tercer muestreo las variables crecimiento, morfometría, producción, calidad de fruto y cuantificación de elementos. Se tomaron cinco plantas de cada tratamiento por muestreo, en total se evaluaron 60 plantas.

5.8 Variables evaluadas

5.9 Crecimiento

5.9.1 Número de foliolos

El número de foliolos se cuantificó contando cada lámina foliar dentro de la hoja compuesta.

5.9.2 Altura

Se midió con cinta métrica flexible desde la base del tallo hasta el ápice.

5.9.3 Diámetro del tallo

Se midió mediante el uso de un vernier manual a 10 cm sobre la base del tallo.

5.9.4 Peso fresco y seco

Las plantas se dividieron en tallo, raíz y hojas y se pesaron utilizando una balanza digital, registrando el peso fresco. Posteriormente se colocaron en un horno de secado por 76 horas a una temperatura de 76°C para luego pesarse y registrar nuevamente el peso seco expresado en gramos

5.10 Morfometría

Las variables morfométricas fueron evaluadas en las hojas jóvenes completamente expandidas orientadas hacia el este, de manera no destructiva.

5.10.1 Porometría

Se cuantificó la conductancia estomática mediante el uso de un porómetro por el haz y envés de las hojas jóvenes mayormente expandidas y con exposición solar.

5.10.2 Área foliar

El área foliar fue medida con un integrador de área foliar "Leaf area meter" de 0.1 mm² de resolución a lo largo de la lámina foliar.

5.10.3 Área foliar específica

Se tomarán 5 círculos de diámetro conocido, mediante el uso de un sacabocados de tres láminas foliares por repetición y para calcular el área de la hoja se obtuvo el producto del área de los círculos por el número de estos, y este producto se dividió entre el peso seco total de los círculos tomados, de acuerdo a la siguiente fórmula:

$AFE = (\text{área de los círculos}) (\text{número de círculos}) / \text{peso seco total de los círculos}$

5.11 Cuantificación de elementos

5.11.1 Digestión ácida

Se pesó 1 g de tejido en una balanza analítica digital marca OHAUS, el cual fue tomado de las muestras deshidratadas y después fueron colocadas en un vaso de precipitado, se le agregaron 30 mL de ácido nítrico, posteriormente fueron dispuestas en una plancha de calentamiento hasta la clarificación de la muestra. Finalmente fue aforado a 100 mL con agua desionizada y filtrado en papel Whatman #1 (AOAC, 1990).

De la extracción ácida fueron analizados mediante un espectrofotómetro de absorción Atómica (AA) marca Varian spectra fs-240 los siguientes elementos K, Ca, Mg, Mn, Fe, Zn y Cu.

5.11.2 Nitrógeno (N)

Fue determinado utilizando la técnica del micro Kjeldhal (Muller, 1961) donde se pesaron 0.05 g de tejido previamente deshidratado y digerido, la muestra se colocó en un matraz adicionándole 3 mL de mezcla digestora, una vez digerida la muestra transcurridos 30 minutos cuando la mezcla se había tornado de color verde transparente se procedió a pasar la muestra al tubo destilador agregándole 25 mL de hidróxido de sodio al 50%; posterior a ello en un vaso de precipitado se colocaron 30 mL de ácido bórico + 4 gotas de indicador mixto + la destilación, hasta haber obtenido 60 mL de solución con un color verde-celeste, al final para la titulación se realizó colocando una bureta con ácido sulfúrico 0.025N y se dejó caer gota a gota a la muestra destilada hasta obtener una coloración rosa. La determinación del contenido de N se hizo con base en los mL gastados de ácido sulfúrico.

5.11.3 Fosforo (P)

Se determinó mediante la técnica espectrofotométrica del ácido aminonaftolsulfónico (ANSA), para ello de la muestra digerida para absorción atómica se tomó 1 mL y se colocó en un tubo de ensaye, a la muestra se le adicionaron 5 mL de una solución de molibdato de amonio + 2 mL de solución ANSA, una vez agitado se dejó reposar durante 20 minutos, al final se la muestra, fue dispuesta en la celdilla para dar posterior lectura en un espectrofotómetro Uv Vis Thermo Genesys 102 a una longitud de onda de 650nm.

5.11.4 Cuantificación de Yodo (I)

Para la extracción se utilizó la técnica de cenizas alcalinas modificada por (Ujowundu, Ukoha, Agha, Nwachukwu, & Igwe, 2009), en donde se pesó 1 g del tejido vegetal seco, previamente molido y se colocaron en crisoles llevados a peso constante, posteriormente se les añadieron 2 mL de KOH 2 M y 1 mL de KNO₃ 2 M y fueron colocados en estufa a 100 °C por 2 hrs. Posteriormente los crisoles fueron puestos en mufla a una temperatura de 580°C por 3 horas. Finalmente, el yodo fue extraído con 2 mL de KOH a 2 mM. La cuantificación fue realizada mediante el uso de un Inductively coupled plasma-optical emission spectrometry (ICP-OES), marca Agilent 725. Los resultados fueron expresados en mg I por kg de tejido seco.

5.12 Producción

Se realizó el conteo de producción y peso de frutos por planta de cada tratamiento hasta llegar a la meta de producción

5.13 Calidad de fruto

5.13.1 Firmeza

Utilizando un penetrómetro se midió la firmeza de 5 frutos de cada tratamiento a los 5 días de ser cosechados.

5.13.2 Firmeza vida de anaquel

A los 15 días de ser cosechados los frutos, se midió la firmeza con el penetrómetro en 5 frutos de cada tratamiento.

5.13.3 Sólidos solubles totales

Se midieron los sólidos solubles totales (° brix) con un refractómetro en 5 frutos de cada tratamiento tomando una muestra de cada fruto.

5.13.4 pH

Se midió el pH de los frutos con un potenciómetro en 5 frutos de cada tratamiento, licuando cada tomate.

5.13.5 Conductividad eléctrica

Se midió la CE de los frutos con un potenciómetro en 5 frutos de cada tratamiento licuando cada tomate.

5.14 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron en el paquete estadístico Infostat versión 2019, previamente se realizó una prueba de medias de diferencia mínima significativa (LSD) al 0.05. ANOVA + prueba de medias.

VI. Resultados

6.1 Crecimiento

6.1.1 Numero de foliolos

Las diferencias entre algunas de las medias son estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), en el muestreo 1, el tratamiento SN posee una media significativamente mayor que los tratamientos sometidos a estrés y en los muestreos 2 y 3, los tratamientos SN y SN+KIO3 poseen una media significativamente mayor que los tratamientos sometidos a estrés (Figura 1).

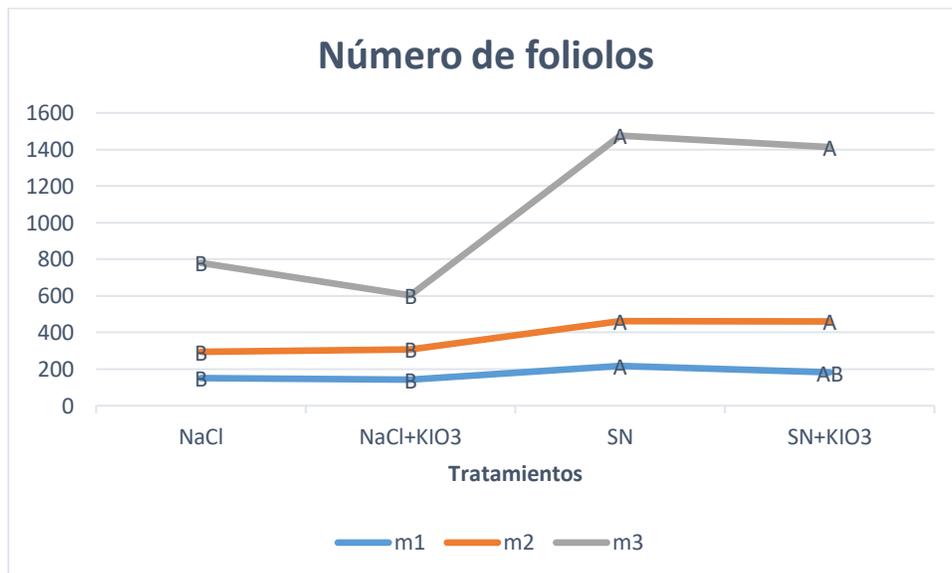


Figura 1. Número de foliolos en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.1.2 Altura

Las diferencias entre algunas de las medias son estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), en el muestreo 1, el tratamiento SN+KIO3 posee una media significativamente mayor que el tratamiento NaCl+KIO3. Mientras que en los muestreos 2 y 3, los tratamientos de control absoluto (SN) y SN+KIO3 poseen una media significante mayor que los tratamientos con estrés salino (Figura 2).

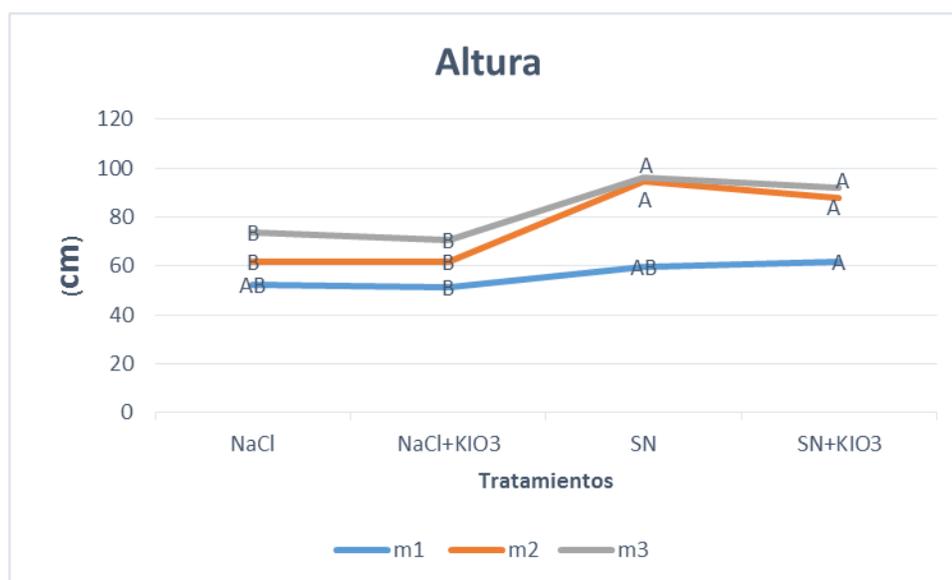


Figura 2. Altura en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.1.3 Diámetro de tallo

Las diferencias entre algunas de las medias en los muestreos 1 y 3 son estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), en el muestreo 1, el tratamiento SN posee una media significativamente mayor que el tratamiento NaCl; en el muestreo 3, los tratamientos SN y SN+KIO3 poseen una media significativamente mayor que los tratamientos sometidos a estrés (Figura. 3).

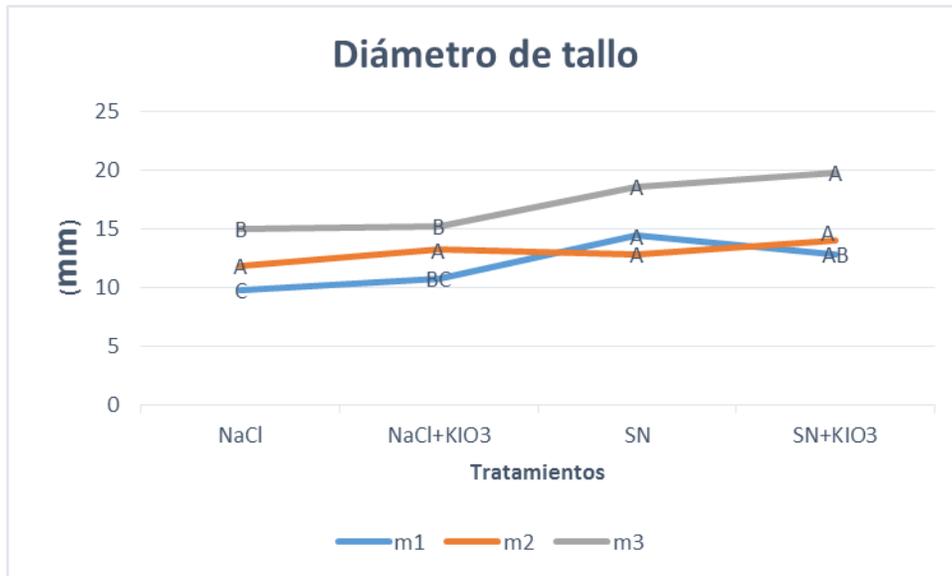


Figura 3. Diámetro de tallo en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.1.4 Biomasa fresca

En los muestreos 1 y 3 los tratamientos SN y SN+KIO3 poseen una media significativamente mayor que los tratamientos con estrés salino, y en el muestreo 2, el tratamiento SN posee una media significante mayor que el tratamiento NaCl. (Figura 4)

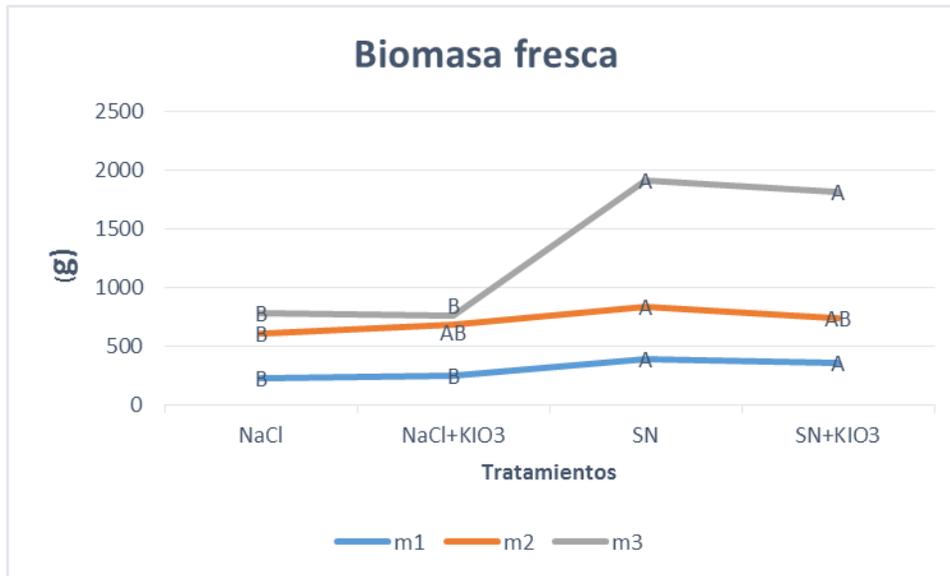


Figura 4. Biomasa fresca en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.1.5 Biomasa seca

Las diferencias entre algunas de las medias son estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), en los muestreos 1 y 3, los tratamientos SN y SN+KIO3 poseen una media significativamente mayor que los tratamientos sometidos a estrés, mientras que en el tratamiento 2, el tratamiento SN posee una media significativamente mayor que el tratamiento NaCl (Figura 5).

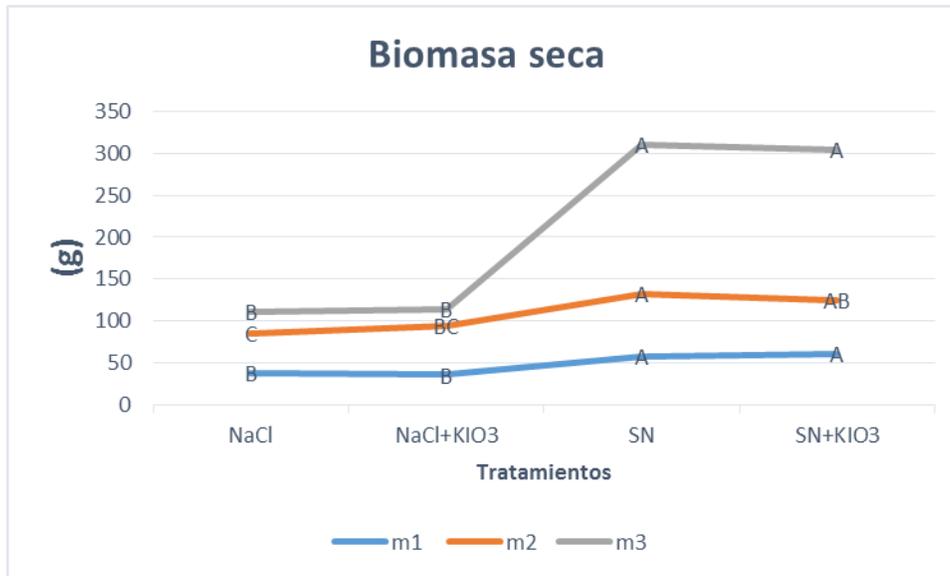


Figura 5. Biomasa seca en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.2 Morfometría

6.2.1 Porometría

En el muestreo 1 hay diferencias entre algunas de las medias estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), el tratamiento SN tiene una media significativamente mayor que el tratamiento con SN+KIO3, bajo condiciones normales se obtiene una mayor porometría que bajo sometimiento a estrés. El muestreo 2 y 3 no hay diferencias entre tratamientos ($P \geq 0.05$). (Figura 6)

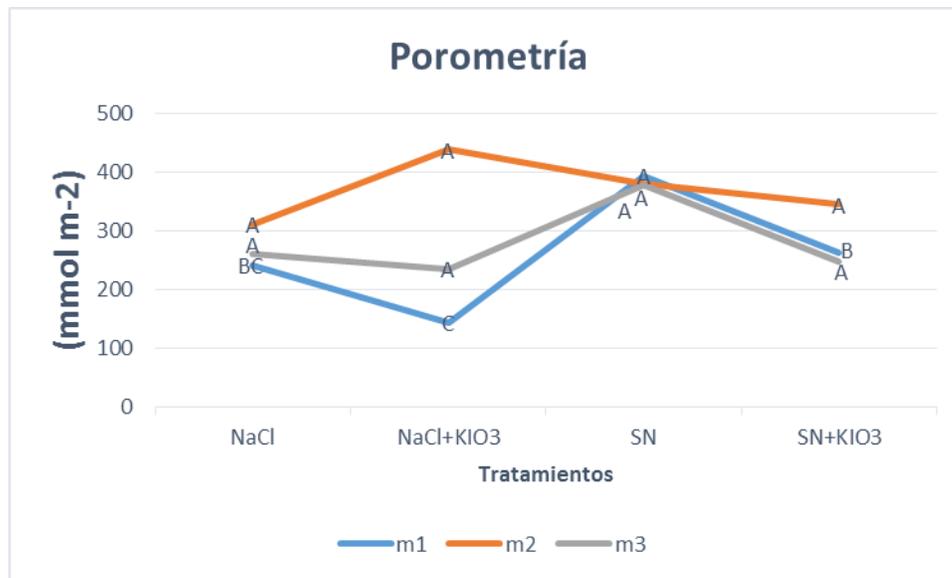


Figura 6. Porometría en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.2.2 Área Foliar

Estadísticamente no hay diferencias entre tratamientos en los muestreos 1 y 2 ($P \geq 0.05$). Por otro lado, en el muestreo 3, las diferencias entre algunas de las medias son estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), el tratamiento SN tiene una media significativamente mayor que los demás tratamientos (Figura 7).

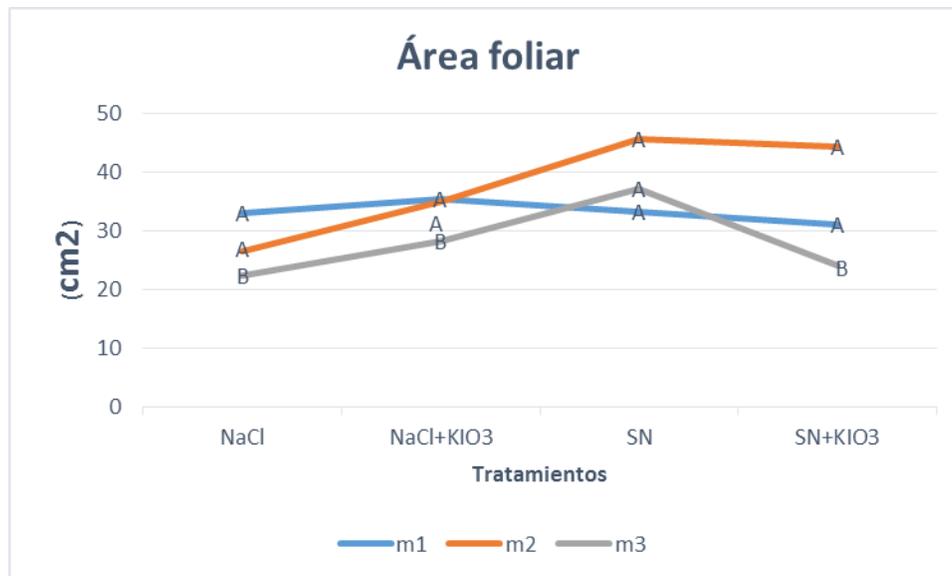


Figura 7. Área foliar en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.2.3 Área foliar específica

Las medias en los muestreos 1 y 3 son estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$), en el muestreo 1, se presentó una mayor área foliar en las plantas tratadas con yodato a comparación de su control salino; por otro lado en el muestreo 3, las plantas tratadas con yodato tienen un incremento de área a comparación de sus testigos. En el muestreo 2, estadísticamente no hay diferencias entre tratamientos ($P \geq 0.05$). En el área foliar se presentó una mayor área foliar en las plantas tratadas (Figura 8).

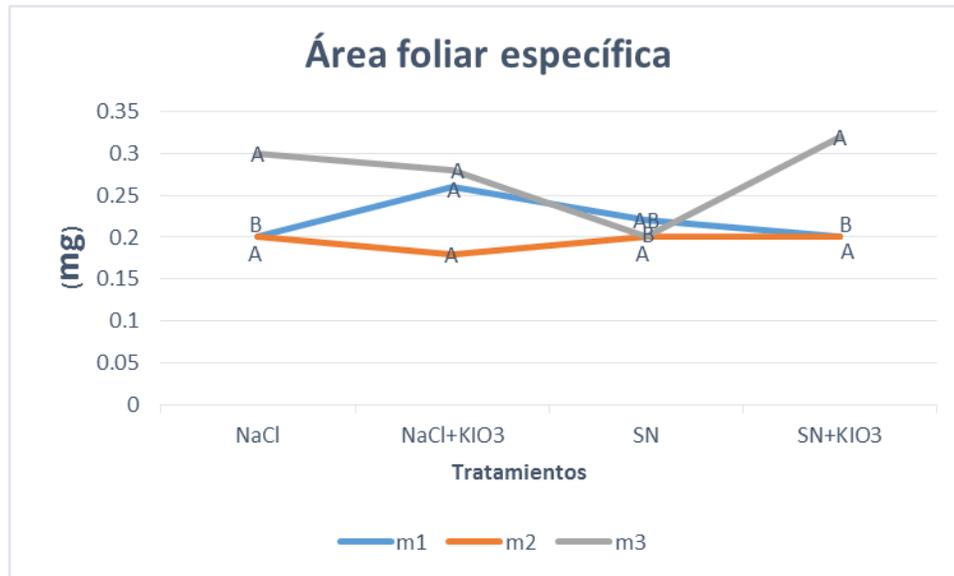


Figura 8. Área foliar específica en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3 Minerales

6.3.1 Nitrógeno en hojas

El análisis de varianza muestra que si hay diferencia significativa entre tratamientos ($P \leq 0.05$). Los tratamientos más altos en concentración de nitrógeno son los sometidos a estrés, pero los tratamientos con yodato son más altos que sus testigos. (Figura 9)

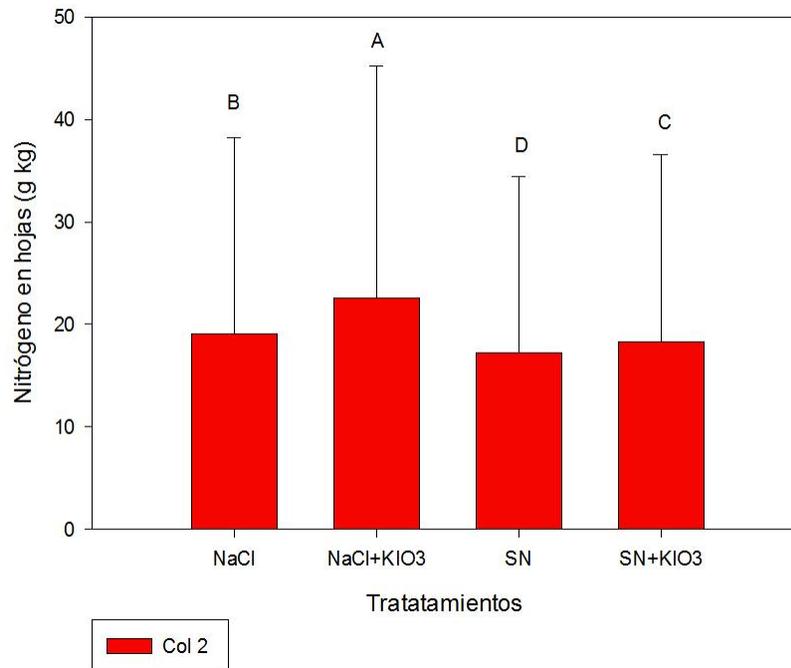


Figura 9. Contenido de nitrógeno en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.2 Fósforo en hojas

En la figura 10 se muestran las medias de concentración en hojas, en donde las estadísticas evidenció que no hay diferencias entre tratamientos incluyendo entre tratamientos con y sin estrés. El rango de contenido de fosforo es de .4 al 1% 4 a 10 g/kg.

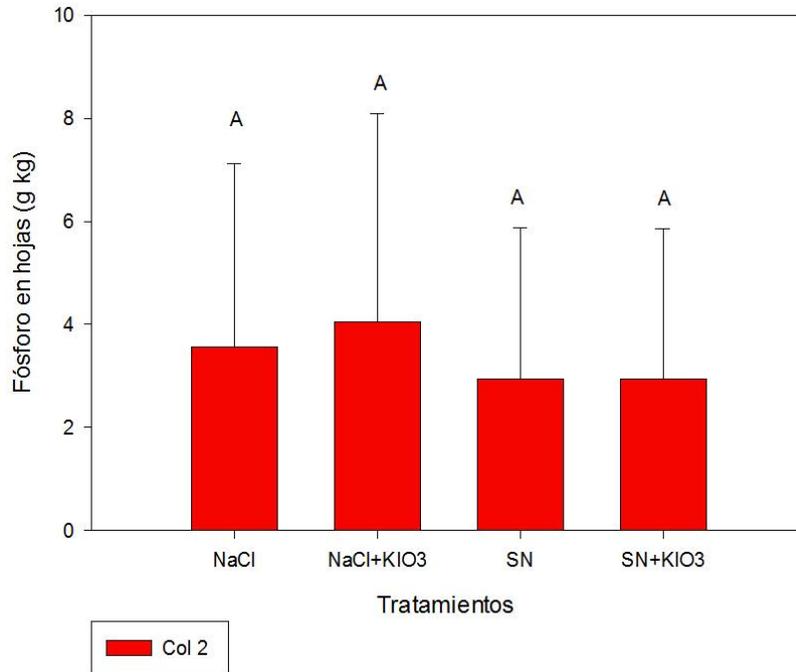


Figura 10. Contenido de fósforo en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.3 Potasio en hojas

Las diferencias entre las medias no son estadísticamente significativas ($P \geq 0.05$). (Figura 11).

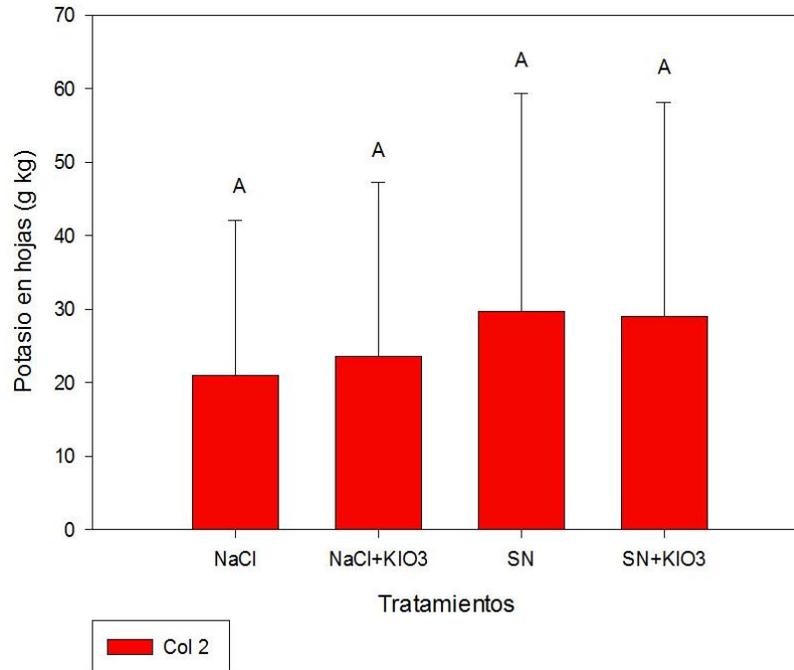


Figura 11. Contenido de potasio en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.4 Calcio en hojas

Si hay diferencia significativa ($P \leq 0.05$), por lo tanto tenemos que el tratamiento que destaca es SN+KIO3, tiene una media significativamente mayor que control absoluto. Se incrementó un 19.58% mientras que en los tratamientos sometidos a estrés no se encuentran diferencias. Su rango de contenido de calcio es de 20-30 g/kg y obtuvimos un contenido de 31.60-50.08 g/kg. (Figura 12)

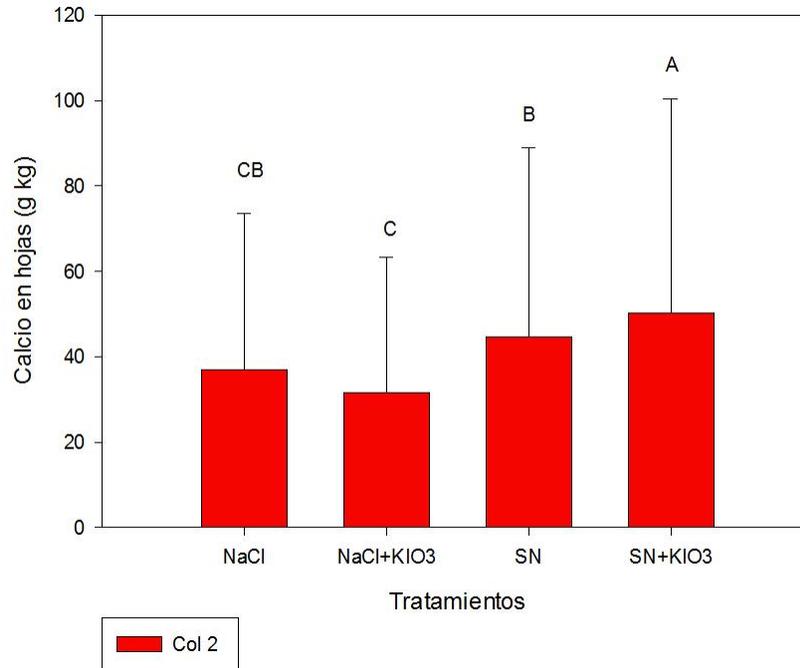


Figura 12. Contenido de calcio en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.5 Magnesio en hojas

Como se puede ver en la figura 13, no hay condiciones significativas entre tratamientos ($P \geq 0.05$). Aun así, se puede observar que los tratamientos con mayor contenido son los de condiciones normales numéricamente. (Figura 13)

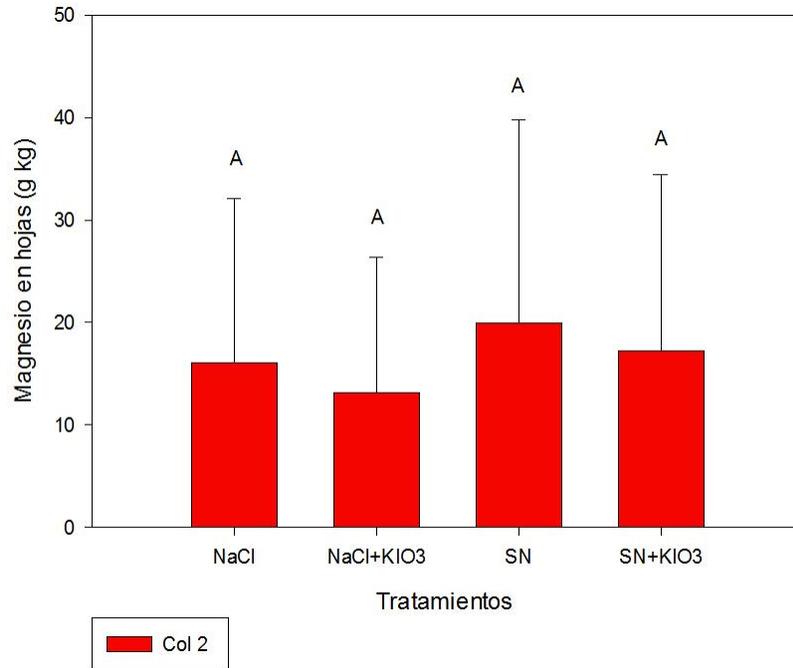


Figura 13. Contenido de magnesio en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.6 Sodio en hojas

En la gráfica 14 se puede mostrar que si hay diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Las plantas sometidas a estrés por salinidad, encontramos mayor contenido de sodio, sin embargo no hubo diferencia con sus testigos, al igual que los tratamientos en condiciones normales. (Figura 14)

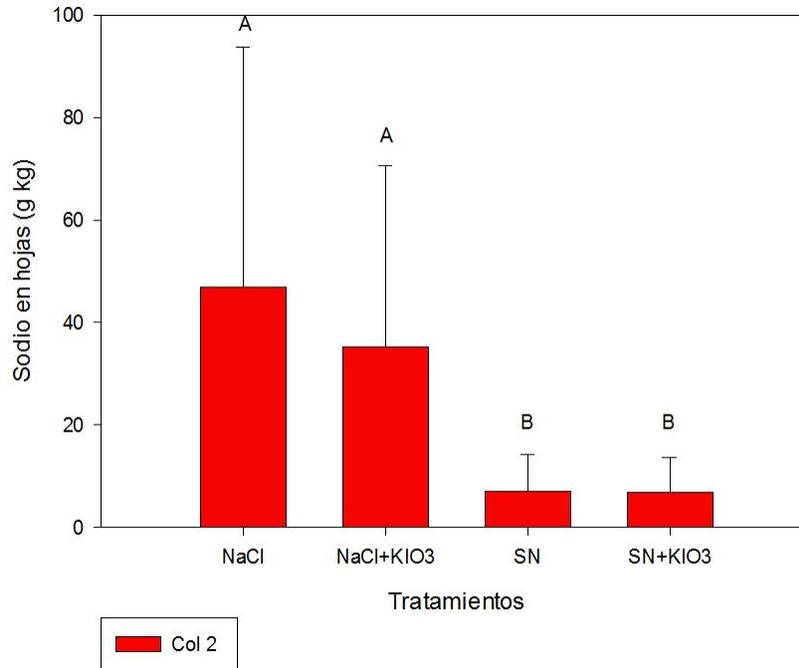


Figura 14. Contenido de sodio en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.7 Hierro en hojas

Las diferencias entre algunas de las medias son estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Se puede observar que hay un incremento de hierro del 90.69% en la concentración de control salino a diferencia del control absoluto. El rango de hierro se concentra entre 60-300 ppm y obtuvimos un rango en el experimento de 100.86-192.34 ppm (Figura 15)

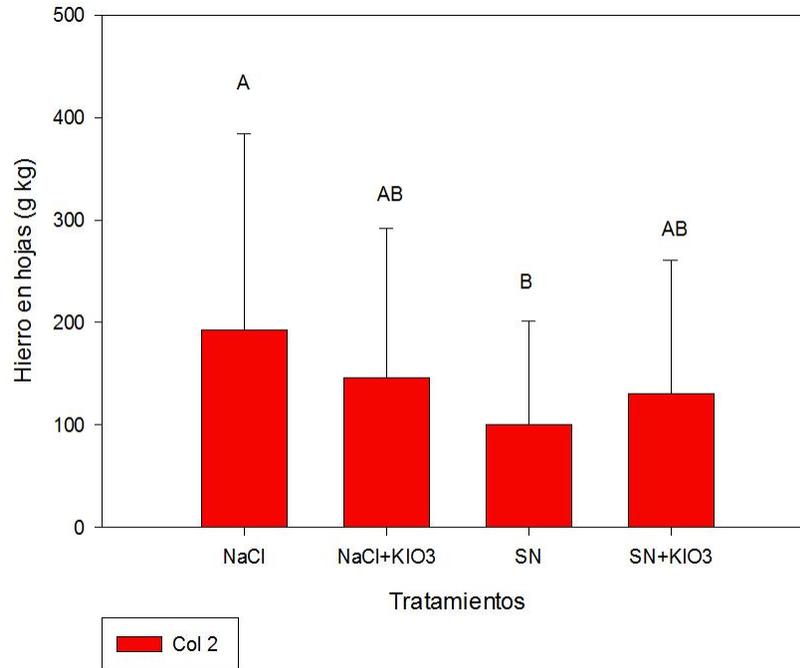


Figura 15. Contenido de hierro en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.8 Zinc en hojas

Estadísticamente no hay diferencia alguna entre tratamientos ($P \geq 0.05$). El rango de contenido de Zinc en plantas de tomate es de 15-50 ppm y obtuvimos en el experimento 41.50-51.60 ppm (Figura 16)

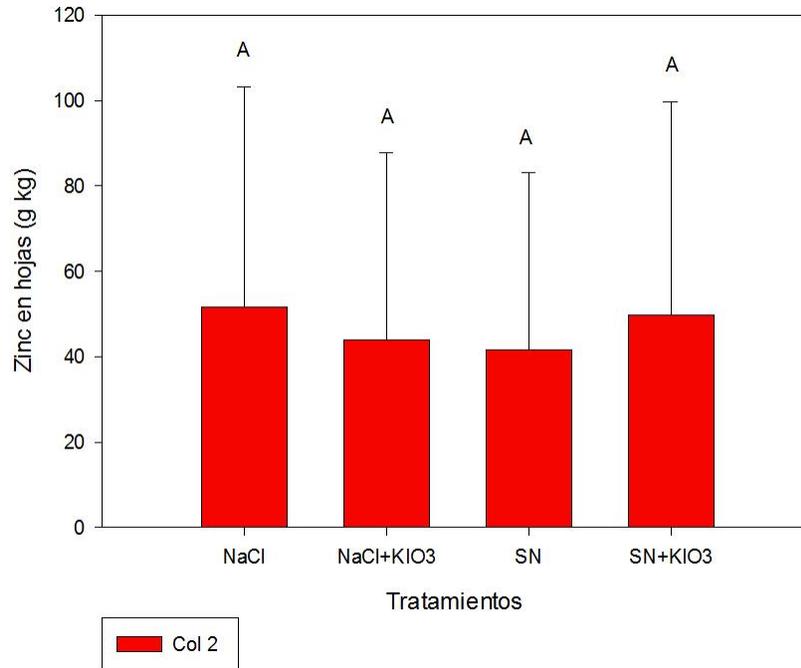


Figura 16. Contenido de zinc en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.9 Cobre en hojas

Se puede observar en la figura 17 que si hay diferencia significativa ($P \leq 0.05$). Los tratamientos bajo condiciones salinas y SN+KIO3 poseen una media significativamente mayor que el tratamiento control absoluto. Los tratamientos con yodato son los más altos en contenido de cobre. (Figura 17)

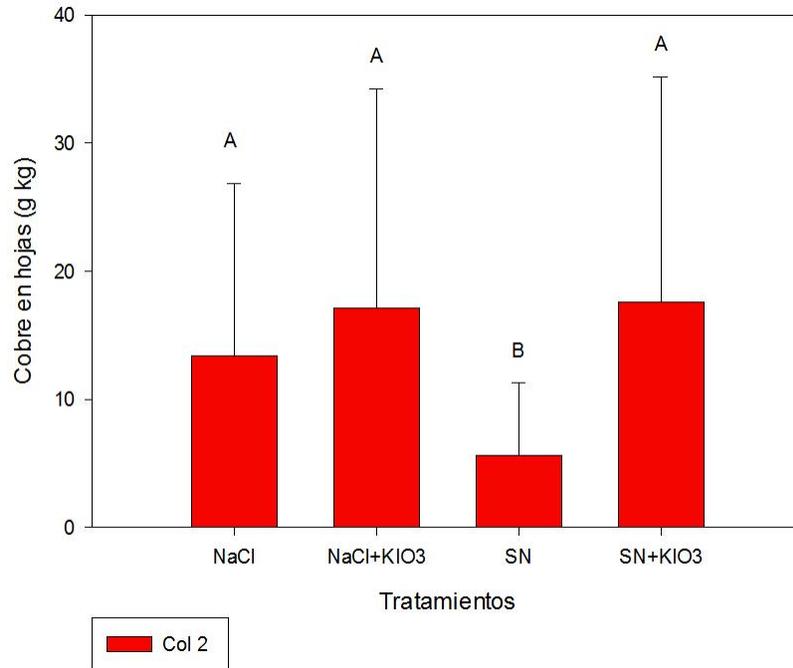


Figura 17. Contenido de cobre en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.10 Manganeso en hojas

En la figura 18 se observan que las medias son iguales entre tratamientos, el rango aceptable es de 50-250 ppm y tenemos en el experimento entre 180.81-245.23 ppm ($P \geq 0.05$). (Figura 18)

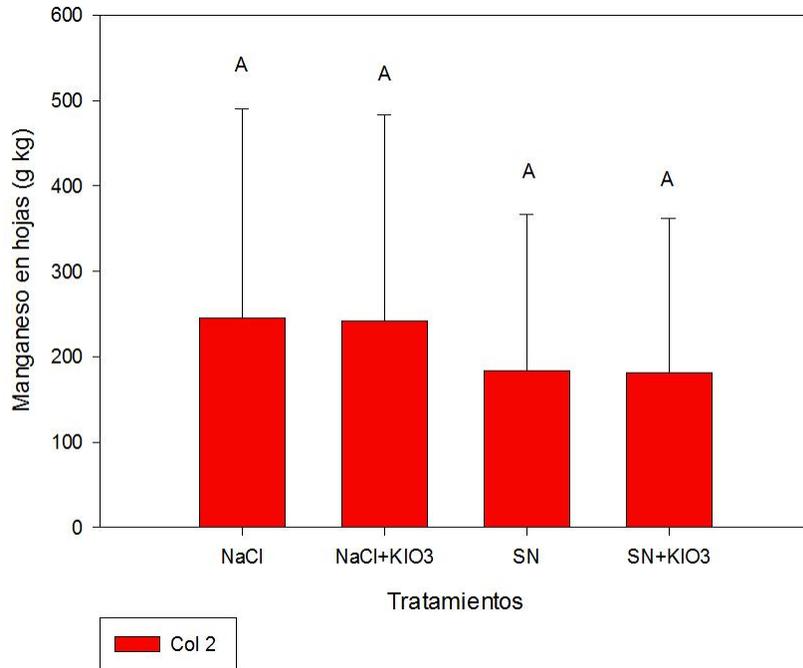


Figura 18. Contenido de manganeso en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.11 Yodo en hojas

El análisis de varianza muestra que si hay diferencia significativa entre tratamientos ($P \leq 0.05$). Se puede observar en la figura 19 que los tratamientos con yodato tienen una media mayor que los tratamientos de control salino y control absoluto. (Figura 19)

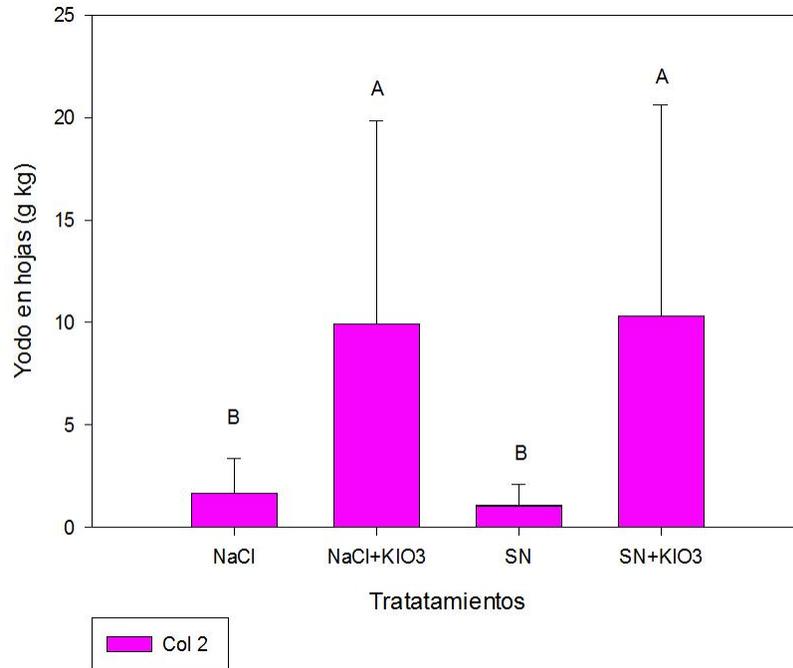


Figura 19. Contenido de yodo en hojas en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.12 Nitrógeno en frutos

Como se puede ver en la figura 19, las medias son estadísticamente diferentes entre tratamientos ($P \leq 0.05$). En los tratamientos con condiciones normales, hay un incremento de nitrógeno del 31.25% en el tratamiento con yodato a diferencia de su testigo. Sin embargo el tratamiento con mayor contenido de nitrógeno en frutos fue el de control salino. (Figura 20)

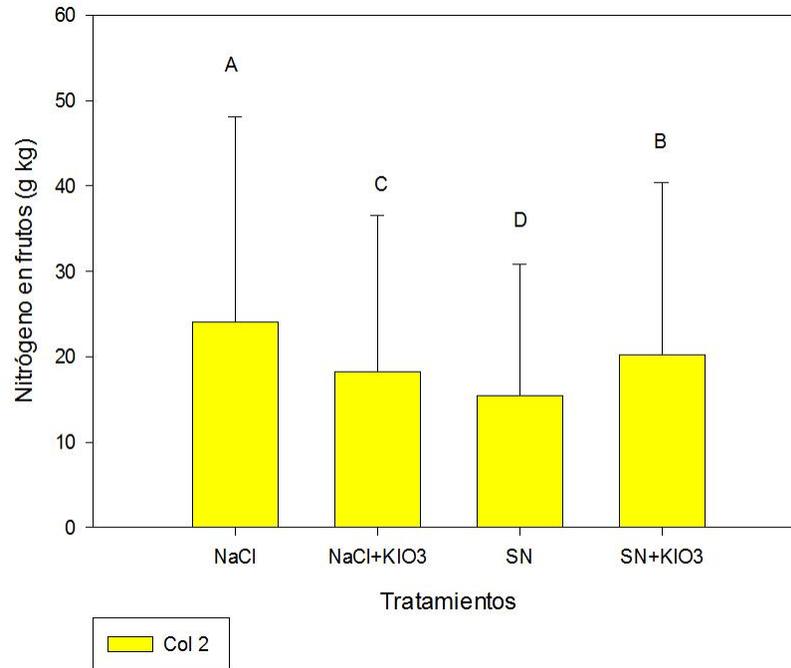


Figura 20. Contenido de nitrógeno en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.13 Fósforo en hojas

En la figura 20 se puede observar que no hay diferencias significativas entre las medias de los tratamientos incluyendo en condiciones normales y sometidas a estrés ($P \geq 0.05$). (Figura 21)

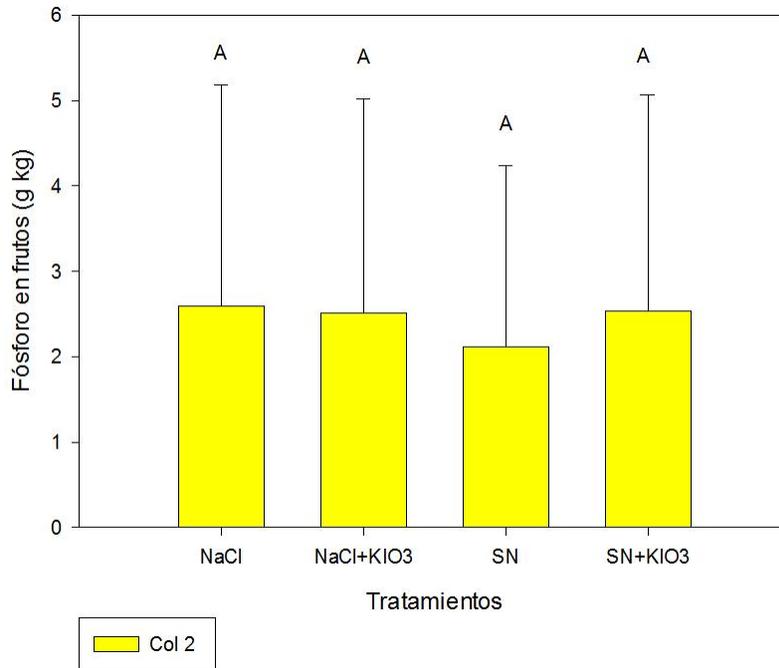


Figura 21. Contenido de fósforo en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.14 Potasio en frutos

Las medias entre los tratamientos de la figura 21 no son significativas ($P \geq 0.05$), incluyendo en condiciones normales y sometidas a estrés (Figura 22)

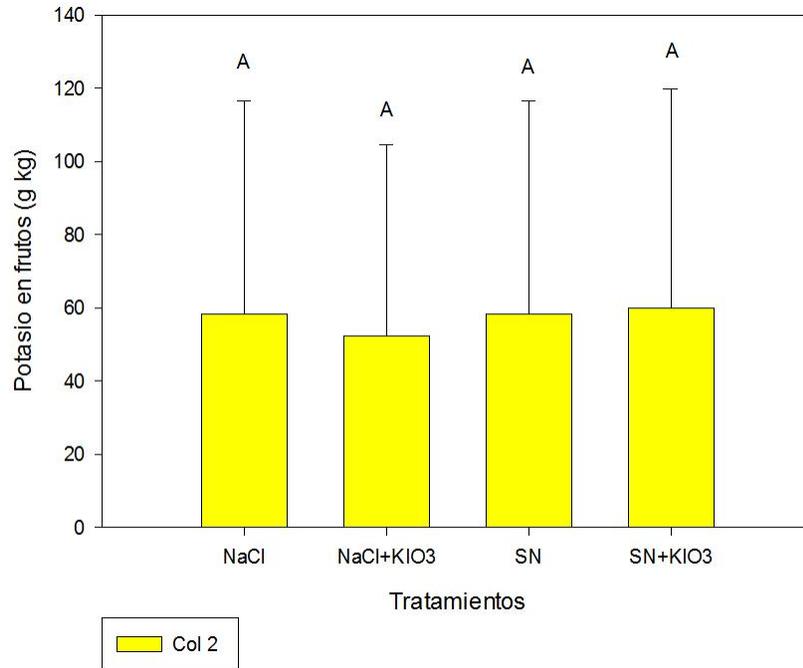


Figura 22. Contenido de potasio en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.15 Calcio en frutos

En la figura 22 se puede observar que si hay una diferencia significativa ($P \leq 0.05$). El mayor contenido de calcio se encuentra en el tratamiento de control absoluto, a comparación del tratamiento SN+KIO3 que tuvo una reducción del 35.22%. No se encontraron diferencias bajo condiciones sometidas a estrés (Figura 23)

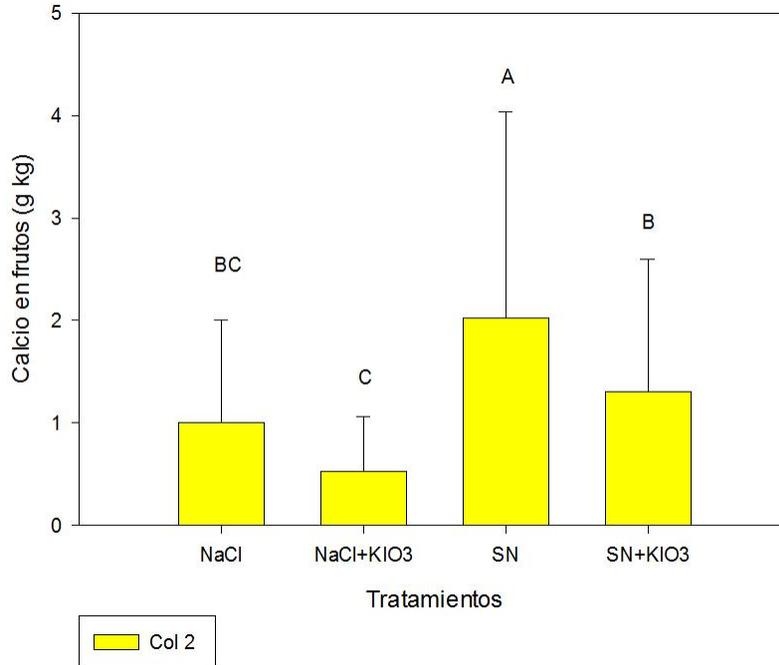


Figura 23. Contenido de calcio en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.16 Magnesio en frutos

Las diferencias entre tratamientos son significativas ($P \leq 0.05$). No hubo diferencias entre los tratamientos bajo condiciones normales. Sin embargo bajo condiciones de estrés hay una reducción de magnesio en el tratamiento NaCl+KIO3 a comparación de los demás tratamientos. (Figura 24)

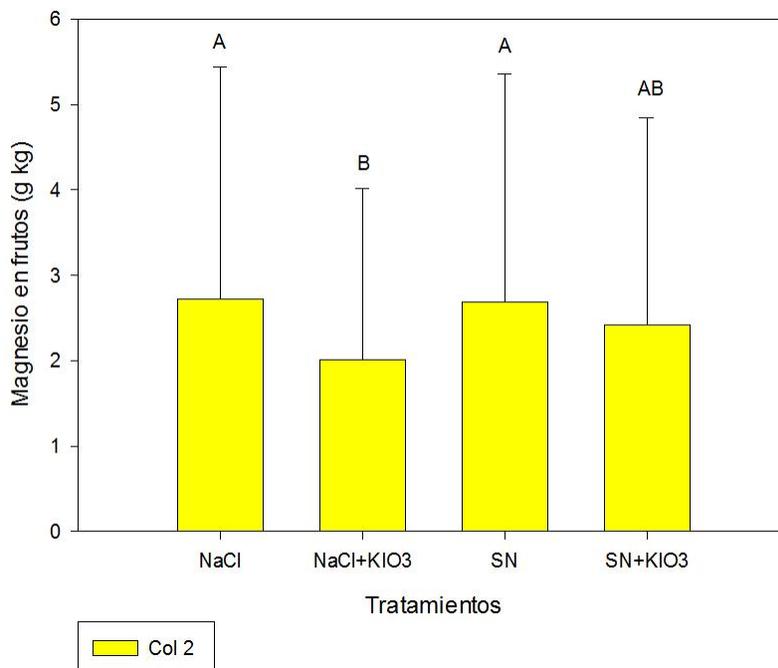


Figura 24. Contenido de magnesio en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.17 Sodio en frutos

En la figura 24 se observan que las medias son estadísticamente diferentes ($P \leq 0.05$). En estos resultados se muestra que los tratamientos sometidos a estrés y SN+KIO3 tienen una media significativamente mayor en cantidad de sodio que el tratamiento control absoluto. (Figura 25)

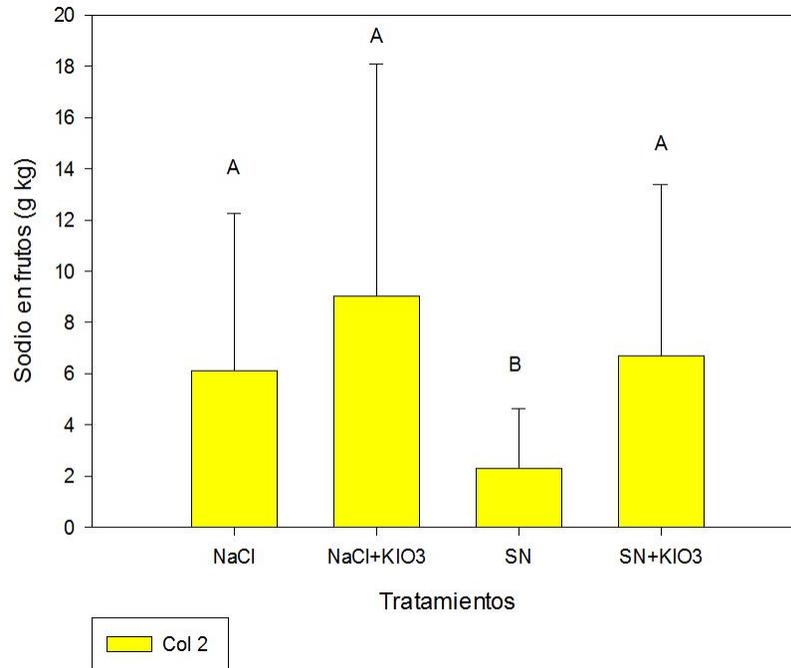


Figura 25. Contenido de sodio en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.18 Hierro en frutos

Estadísticamente no se observan diferencias entre las medias de los tratamientos ($P \geq 0.05$). Aun así se puede ver una disminución notable de Fe en los tratamientos sometidos a estrés. (Figura 26)

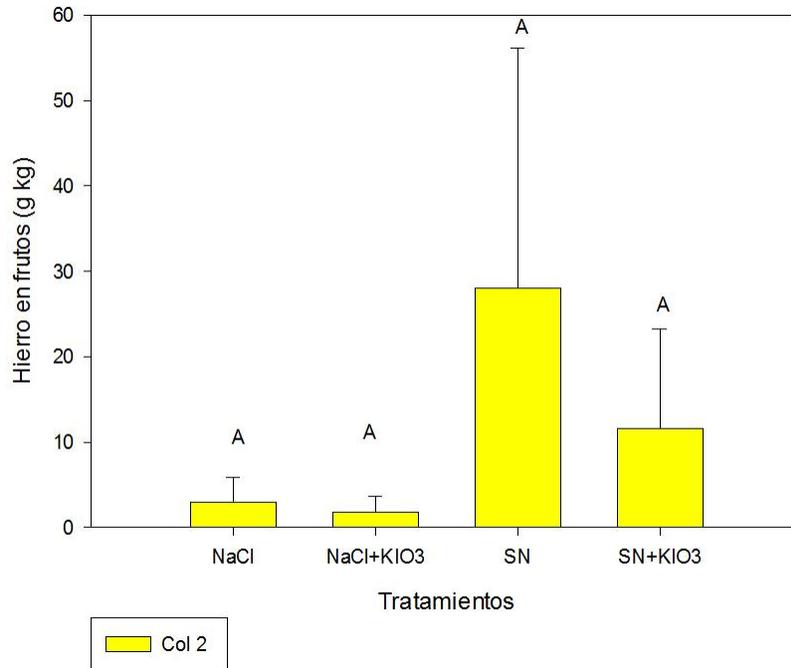


Figura 26. Contenido de hierro en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.19 Zinc en frutos

En la figura 26 las medias entre tratamientos son estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$). Se puede observar que el tratamiento control salino posee una media significativamente mayor en la concentración de Zinc que en los tratamientos en condiciones normales. (Figura 27)

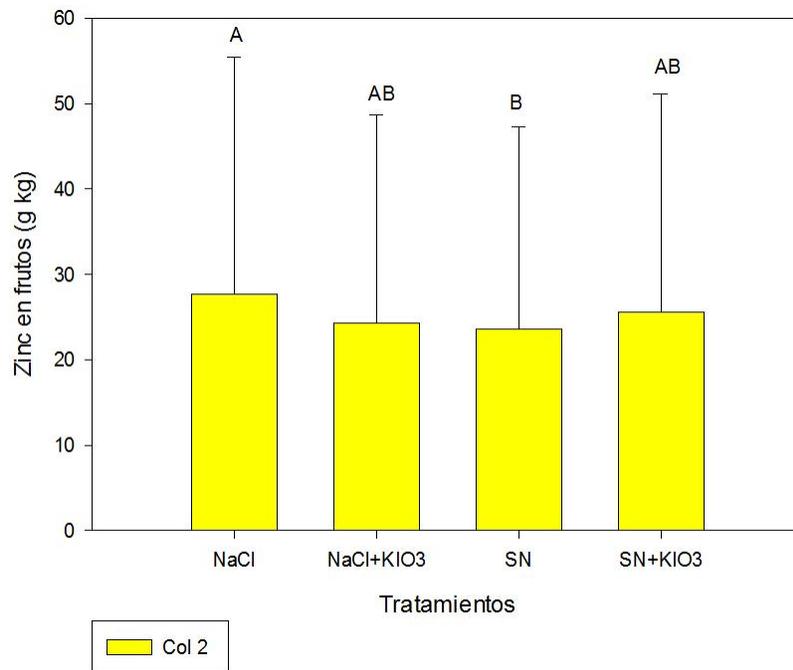


Figura 27. Contenido de zinc en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.20 Cobre en frutos

Se puede observar en la figura 27, que no hay diferencias estadísticamente entre los tratamientos ($P \geq 0.05$). (Figura 28)

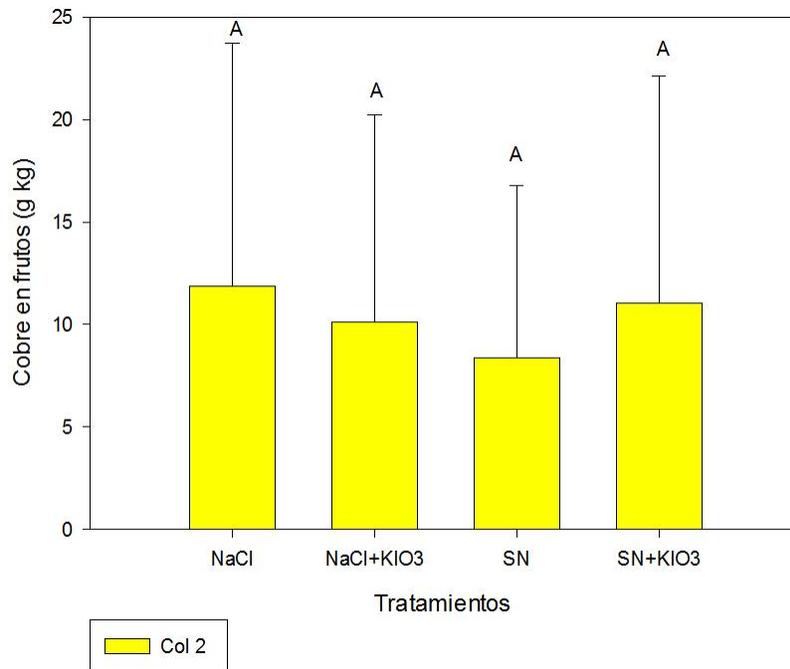


Figura 28. Contenido de cobre en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.21 Manganeso en frutos

En análisis de manganeso se observa que los tratamientos no son estadísticamente significativos, sus medias son iguales ($P \geq 0.05$). (Figura 29)

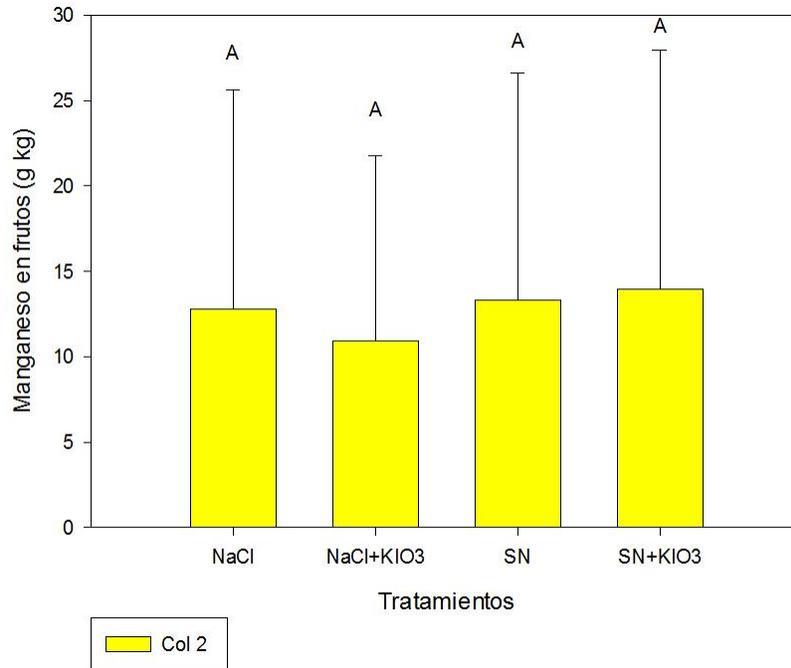


Figura 29. Contenido de manganeso en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.3.22 Yodo en frutos

El análisis de varianza demostró que las medias de los tratamientos no son iguales ($P \leq 0.05$). El tratamiento SN+KIO3 tienen una media mayor que su testigo y NaCl+KIO3. (Figura 30)

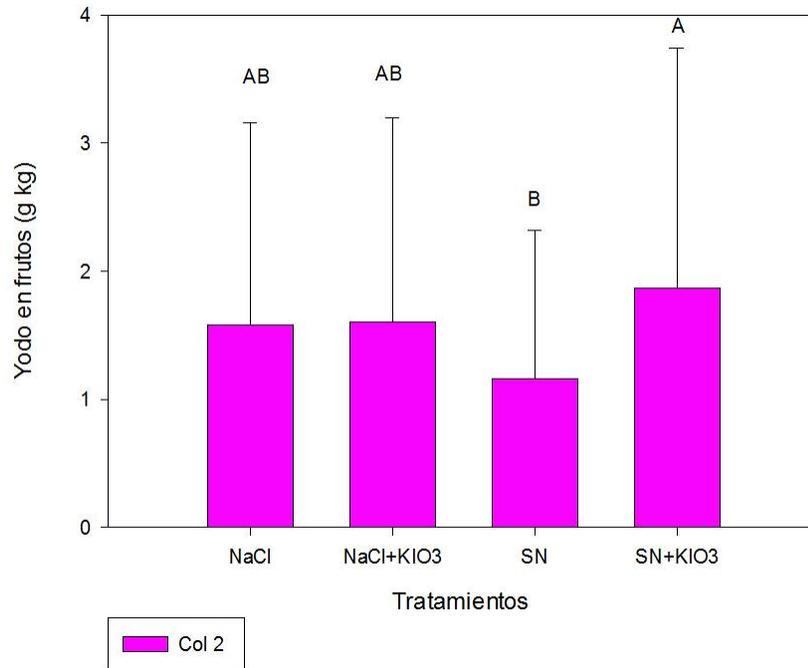


Figura 30. Contenido de yodo en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.4 Producción

6.4.1 Rendimientos

En estos resultados la figura 31 muestra que los tratamientos bajo condiciones normales se comportaron iguales, mientras que los tratamientos con estrés salino, el tratamiento con yodato es altamente significativo de su testigo, aumentando el 23% de producción. (Figura 31)

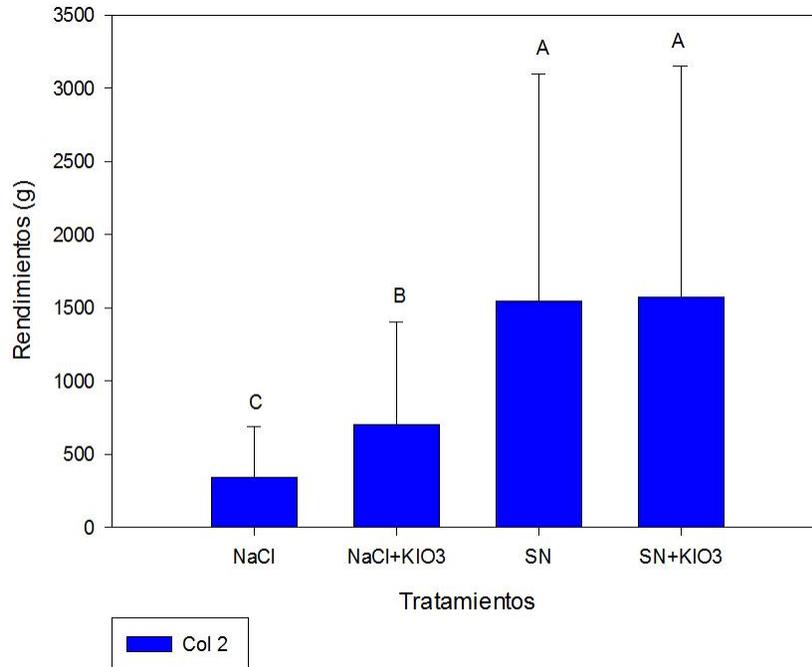


Figura 31. Rendimiento en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.4.2 Numero de frutos

El análisis de varianza demostró diferencias significativas en los tratamientos, las medias de los tratamientos no son iguales, ($P \leq 0.05$). El tratamiento NaCl+KIO3 tiene mayor número de frutos que su testigo NaCl con un aumento del 66.16% y el tratamiento SN+KIO3 tiene un aumento del 26.38% a comparación de su testigo SN. Ambos testigos con KIO3 son favorecidos en el número de frutos. (Figura 32)

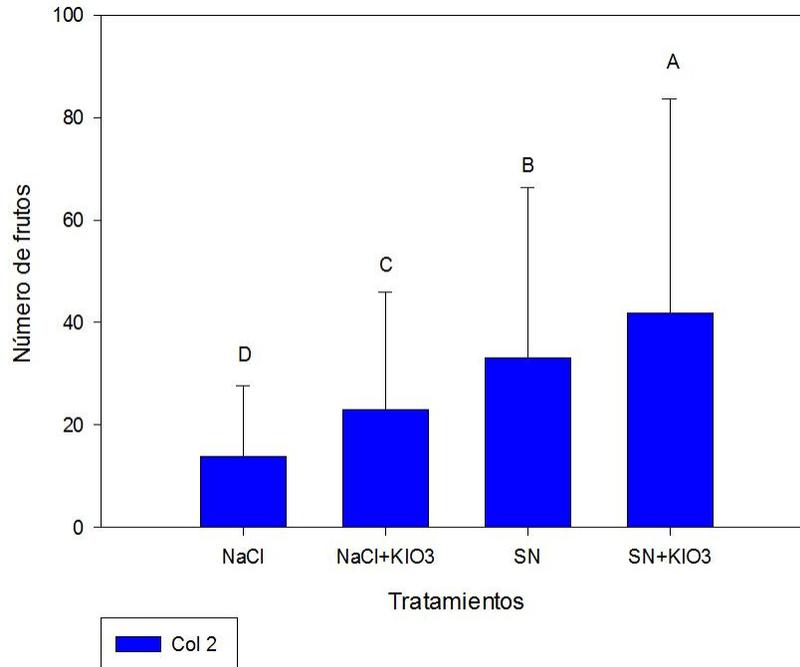


Figura 32. Número de frutos en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.5 Calidad de fruto

6.5.1 Firmeza

De acuerdo con el análisis de varianza, se rechaza la hipótesis nula y se concluye que no todas las medias de población son iguales ($P \leq 0.05$). La firmeza del fruto mostró diferencia altamente significativa en el tratamiento SN+KIO3, este tratamiento a diferencia de su testigo (tratamiento SN) incrementó el 51.6% de firmeza, el análisis también indica que no existe estadísticamente diferencia en los tratamientos NaCl, NaCl+KIO3 Y SN, pero aun así se encuentra favorable el tratamiento NaCl+KIO3 a su testigo NaCl. (Figura 33)

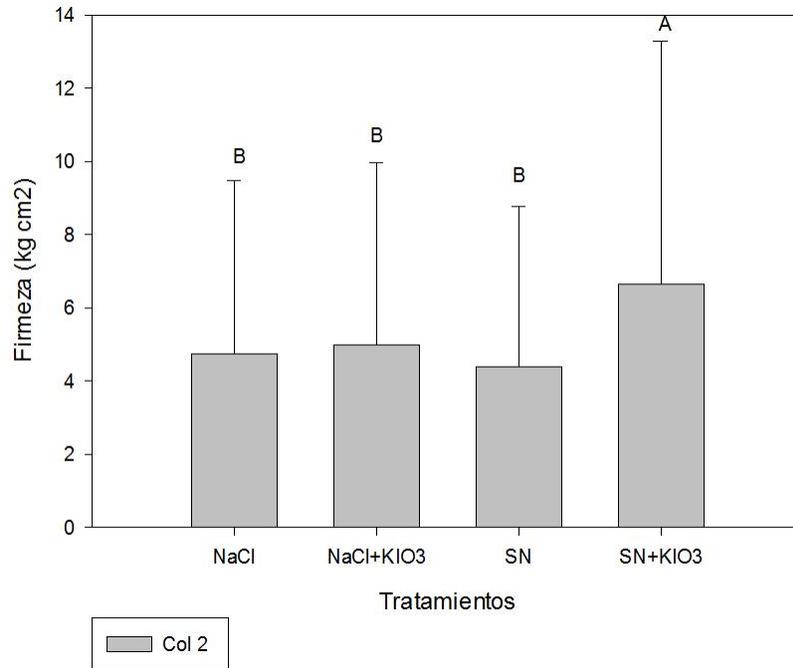


Figura 33. Firmeza en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.5.2 2da Firmeza (vida de anaquel)

Las medias son todas iguales ($P \geq 0.05$); Sin embargo el tratamiento SN+KIO3 destacó entre el tratamiento NaCl+KIO3 y el tratamiento SN, mientras que el tratamiento NaCl compartió similitudes con los demás tratamientos. Comparando SN+KIO3 con su testigo SN tuvo una mayor firmeza del 17.09 % en vida de anaquel. (Figura 34)

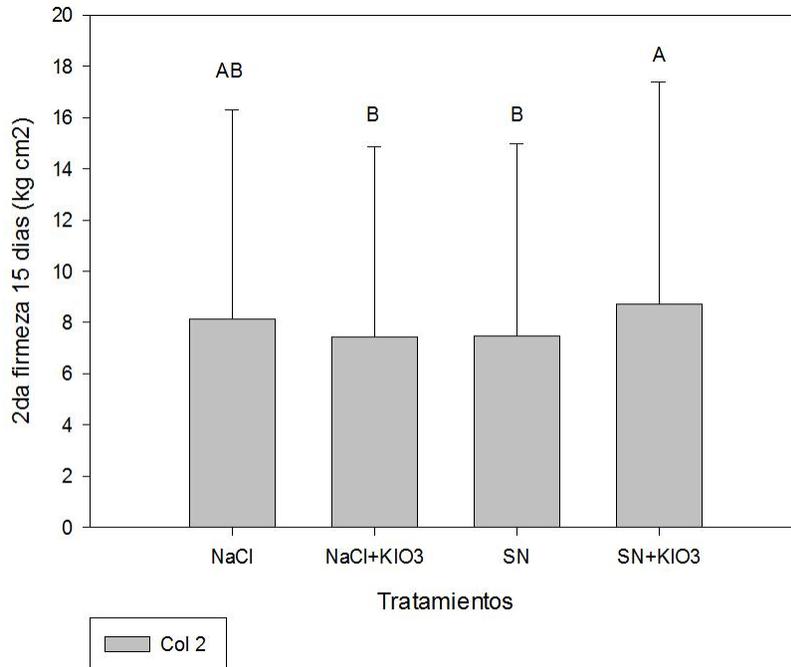


Figura 34. Vida de anaquel de fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.5.3 pH

Las medias no son todas iguales $P \leq 0.05$; pero podemos determinar que las diferencias no son altamente significativas. El tratamiento que destaca es el de SN+KIO3, aunque también comparte similitudes con el testigo SN. Sin embargo SN también comparte similitudes con los tratamientos salinos NaCl y NaCl+KIO3, se puede concluir que SN+KIO3 posee una media estadísticamente mayor que los tratamientos con estrés NaCl y NaCl+KIO3. El rango de pH de 4.0 a 5.0 es aceptable para cosecha, así que los tratamientos están dentro de él. (Figura 35)

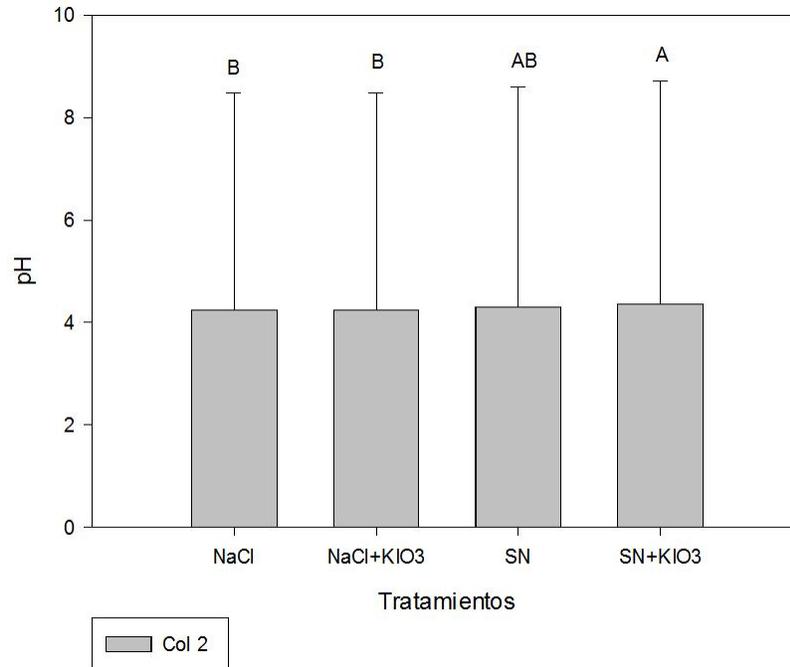


Figura 35. pH del fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.5.4 Sólidos solubles totales (SST) °Brix

Las diferencias entre algunas de las medias son estadísticamente significativas ($P \leq 0.05$); En estos resultados, la gráfica muestra que los grados Brix se redujeron bajo condiciones normales con yodato (SN+KIO3) y no hubo diferencias bajo condiciones de estrés en los tratamientos. (Figura 36)

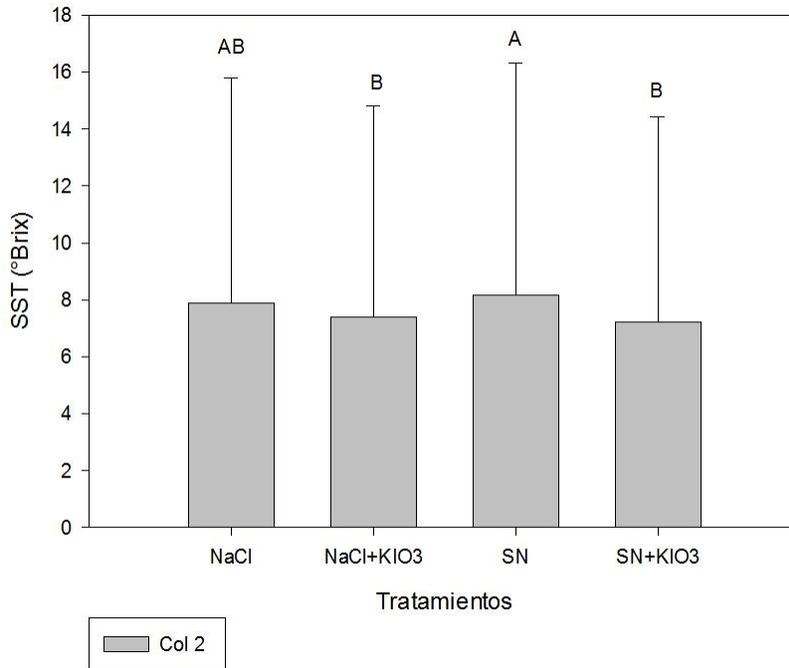


Figura 36. ° Brix en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

6.5.5 CE

Estadísticamente no hay diferencias entre tratamientos ($P \geq 0.05$). (Figura 37)

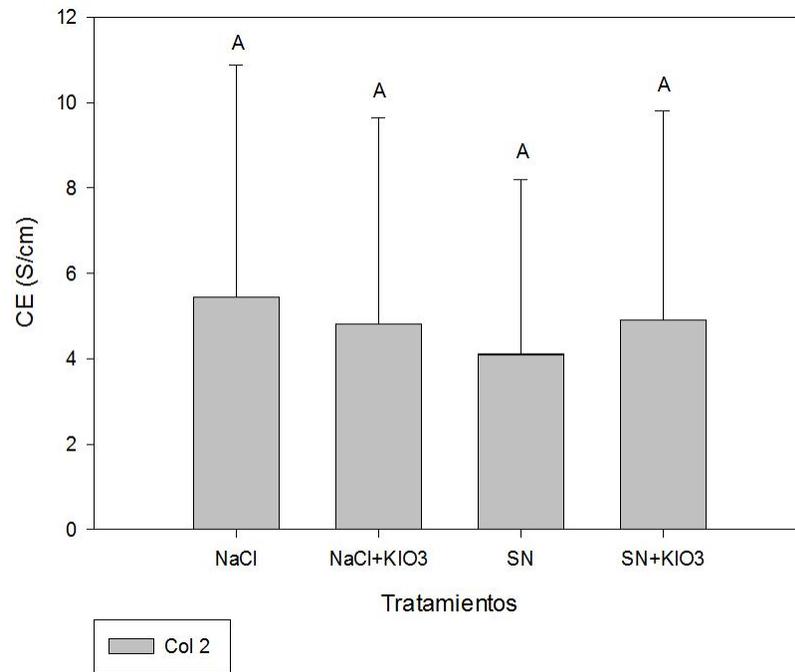


Figura 37. CE en fruto en tratamientos sometidos a estrés y en condiciones normales.

VII. Discusión

7.1 Crecimiento

Una de las principales evidencias que una planta está sometida a estrés es la pérdida de biomasa, parámetros de crecimiento y producción (Moreno F, 2009), en el presente trabajo de investigación se encontró que ninguno de los parámetros de crecimiento (foliolo, diámetro de tallo, altura, biomasa fresca y seca) en los tres muestreos fue modificado tras la aplicación de yodo bajo condiciones normales.

Sin embargo, bajo condiciones de estrés pudimos evidenciar que las plantas fueron estresadas por una reducción en la biomasa seca un 34.41% en el primer muestreo, en el segundo muestreo un 35.63% y en el tercer muestreo un 64.26%. Siendo esto una prueba de que las aplicaciones de yodo no evitaron la pérdida de biomasa. Como pudimos ver, tuvimos un menor crecimiento en los tratamientos bajo condiciones de estrés, pero tuvimos un incremento de acumulación de nitrógeno en hojas, esto se puede explicar a que el cloruro y el nitrato son aniones inorgánicos, los cuales comparten mecanismos de transporte en las membranas celulares, así como funciones de osmorregulación por lo tanto un crecimiento óptimo de las plantas requiere el suministro sincrónico de moléculas de Cl^- y NO_3^- , (Colmenero-flores *et al.*, 2019). Esto explica que el aumento de nitrógeno y cloro es probablemente por un incremento en el número de canales y este, funcionó como un estimulante para incrementar ambos iones. También se puede explicar por el efecto dilución –concentración, las concentraciones varían de acuerdo a la biomasa aérea considerada, ya que a medida que ésta aumenta se produce un efecto de dilución del nitrógeno en la planta (De Caram *et al.*, 2007). Incluso esta correlacionado el área foliar específica (AFE), la AFE es una de las principales variables que afectan el crecimiento de las plantas, por favorecer cambios en la razón de la área foliar y en la eficiencia fotosintética en el uso de nitrógeno (N) (Fiorani *et al.*, 1999), varía con la intensidad lumínica o época del año (Lee &

Heuvelink, 2003); las especies más demandantes de luz, presentan una elevada área foliar específica, además de elevadas concentraciones de N en hojas (Lusk, 2002). Así que en la medida que se incrementa esta área foliar, se incrementa el contenido de nitrógeno en hoja, y éste, se diluye conforme la planta madura a lo largo del proceso de crecimiento, producto de la acumulación de materia seca. Con esto también se justifica que en los frutos se obtuvieran una mayor concentración de nitrógeno, fósforo, potasio, hierro, cobre y manganeso ya que la biomasa se redujo considerablemente (Garc *et al.*, 2004). Aunque si tuvimos un incremento de producción de fruto bajo condiciones de estrés más yodato y un mayor número de frutos.

7.2 Morfometría

En el primer muestreo de porometría pudimos ver una reducción de la conductancia estomática en los tratamientos con yodato, una hipótesis es que la absorción de yodo en hojas es significativamente mayor que en frutos, este se acumula principalmente en los cloroplastos (Weng *et al.*, 2013). Se ha demostrado que la movilidad del yodo en el floema es muy limitada y, por lo tanto, sólo las hojas en contacto directo con la pulverización foliar tendrían mayores concentraciones de yodo (Humphrey *et al.*, 2019). Esto puede que afecte por su gran cantidad de iones acumulados en hoja que modifica su conductancia estomática y el área foliar.

El estrés salino altera las relaciones hídricas de las plantas a través del estrés osmótico e hídrico; en respuesta a esto, las plantas desarrollan el ajuste osmótico y el déficit hídrico mantiene una suficiente turgencia para permitir el crecimiento, transporte, la acumulación y compartimentación de los iones inorgánicos y solutos orgánicos en las células de las plantas superiores (Morales *et al.*, 2010), y ejercer un mayor control estomático, lo que aparentemente permite mantener un mejor balance metabólico (Morales *et al.*, 1997). La planta de tomate posee un rango de tolerancia a la salinidad muy amplio (Caro, M *et al.*, 1991). Este dato posiblemente hizo que la conductancia estomática se comportara estadísticamente igual en el segundo y tercer muestreo, confirmando lo señalado por (Tala & Shannonb 1983),

quienes encontraron una correlación positiva entre la acumulación de Na^+ y la tolerancia a la salinidad en diferentes especies de tomate, eso puede explicar que los contenidos de minerales de P, K, Mg, Fe, Zn, Cu, Mn no se vieran perjudicados bajo estas condiciones.

Se ha señalado que esta planta se ha considerado desde el punto de vista de su tolerancia a la salinidad, como moderadamente tolerante (Maas, 1986), aun así, se dan cambios en los procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento, uno de principal importancia es la limitación específica de la expansión foliar (Potters *et al.*, 2020; Shao *et al.*, 2008). Así se puede explicar la reducción de área foliar a consecuencia del estrés salino.

7.3 Elementos

En una investigación en plantas de chile morrón con aplicaciones foliares de yodato y yoduro, tuvo resultados que muestran que la aplicación de yodo incrementó en 5 % la concentración de nitrógeno en la parte aérea, además de un incremento en las concentraciones de los macro y micro minerales (C. C. Flores *et al.*, 2016). Esto es similar a nuestra investigación donde hubo un incremento de nitrógeno, calcio, cobre y sodio en la parte aérea en condiciones normales. Esto posiblemente se debe a la conversión del yodo en sus diferentes especies químicas, la movilización y el metabolismo en donde se modifican el Eh y el pH. El yodo tiene un impacto significativo en el estado redox del sistema que absorbe el elemento (Venturi, 2011); por lo que ha demostrado que el yodo tiene sinergia y antagonismo con otros elementos (Medrano-Macías *et al.*, 2016). Respecto a concentración de minerales en fruto tuvimos una reducción de calcio, magnesio y zinc con aplicaciones de yodato posiblemente por este fenómeno de antagonismo.

En los tratamientos sometidos a estrés, las plantas que fueron tratadas con yodato tuvieron una reducción de contenido de nitrógeno en los frutos a comparación de su testigo salino. Hallazgos similares realizados también con bioestimulantes inorgánicos en donde se tuvo una reducción de nitrógeno en fruto, pero no en

biomasa, esto es atribuido a que el bioestimulante afecta a las enzimas encargadas de translocar el nitrógeno de la biomasa a fruto (Sabatino *et al.*, 2019). Esto no es perjudicial ya que el consumo de hortalizas con un alto contenido de NO^{-3} supone una amenaza para la salud humana porque el NO^{-3} ingerido podría convertirse en nitrito, causando cáncer. Una hipótesis sería que el yodo en condiciones salinas bioestimula la regulación del contenido de nitrógeno en fruto en beneficio de no tener altas concentraciones de nitrato.

También se puede observar un incremento de zinc en el tratamiento control salino, esto pudiera deberse que el Zn está íntimamente relacionado con el metabolismo del N, al haber mayor concentración de nitrógeno mayor zinc, ya que ayuda a sintetizar proteínas (Kyrkby & Römheld, 2007).

7.4 Calidad de fruto

En las variables de calidad de fruto tuvimos una mayor firmeza en fruto recién cosechado y a los 15 días siguió manteniendo una mayor firmeza en condiciones normales más yodato. En una investigación en tomate, la aplicación de 5 mL L⁻¹ de yodo presentó el mayor valor de firmeza (3.26 N) con respecto al testigo (Martínez-Damián & Cano-Hernández, 2019), se ha reportado que puede inducir la disminución del proceso de respiración y síntesis de etileno en frutos de tomate cherry (Islam *et al.*, 2018), lo cual mantiene la integridad de la pared celular (Dhall *et al.*, 2016; Saure, 2014).

En la variable de pH en fruto tuvimos un aumento en condiciones normales más yodato, esto ya mencionado, posiblemente se debe a que el yodo tiene diferentes especies químicas las cuales tienen diferente efecto en la movilización y el metabolismo en donde se modifican el Eh y el pH (Venturi, 2011). Aun así, para la industria se reporta que los frutos de tomate deben tener un pH de 4.4 , mientras que para tomate en fresco éste puede variar entre 4.17 a 4.59 . En lo cual todos los tratamientos están dentro del rango.

En cuanto SST (°Brix) tuvimos una disminución en los tratamientos sometidos a estrés y con yodato, existe evidencia de que una elevada nutrición nitrogenada puede afectar los niveles de grados Brix de manera indirecta y compleja por lo que la disponibilidad del nitrógeno puede afectar la eficiencia de la fotosíntesis productora de azúcares (D. Kleinhenz *et al.*, 2012). En nuestra investigación obtuvimos concentraciones de nitrógeno en fruto mayores que en condiciones normales, por lo que posiblemente sea la causa. La mayor parte de las variedades de tomate contienen entre 4.5 y 5.5 ° Brix (Calvo *et al.*, 2008). Aun así, los frutos con tratamientos están por encima del promedio mencionado.

En los tratamientos sometidos a estrés tuvimos una conductividad eléctrica en fruto igual a los tratamientos en condiciones normales, esto posiblemente a que la planta tiene resistencia a la salinidad (Caro, M *et al.*, 1991), mediante este estrés puedes desencadenar diferentes respuestas a nivel génico, morfológico, fisiológico y bioquímico en tomate que le permite adaptarse o tolerar el estrés.

VIII. Conclusión

Se concluye en el presente trabajo que el yodo no modifica el crecimiento vegetativo, pero si mejora la producción bajo condiciones de estrés por salinidad. También se concluye que el yodo tiene un efecto sinérgico con elementos esenciales en hojas, pero no en frutos. Bajo condiciones normales hay mayor acumulación de yodo en hojas y frutos, así como mayor vida de anaquel y bajo condiciones de estrés la mayor concentración solo se ve en hojas.

IX. BIBLIOGRAFIA

- Bazzano, L. A., He, J., Ogden, L. G., Loria, C. M., Vupputuri, S., Myers, L., & Whelton, P. K. (2002). Fruit and vegetable intake and risk of cardiovascular disease in US adults: The first National Health and Nutrition Examination Survey Epidemiologic Follow-up Study. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1), 93–99. <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.93>
- Berro, B. T. (2008). Naturaleza, severidad y situación actual de los desórdenes por deficiencia de yodo. *Revista Cubana de Higiene y Epidemiología*, 46(2), 1–13.
- Beyer, L., & Herrero, V. F. (2000). (2000). Química inorgánica. Ariel. *Angewandte Chemie International Edition*, 6(11), 951–952., 4–6.
- Blasco-Leon, B. (2010). *Biofortificación con yodo en plantas de lechuga (Lactuca sativa L.): Implicaciones fisiológicas y nutricionales*.
- Caffagni, A., Arru, L., Meriggi, P., Milc, J., Perata, P., & 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. <https://doi.org/10.1080/00103624.2011.550372>
- Calvo, A. C., Rosa, Torre, C., & Ramos, C. G. (2008). 9. *Parámetros De Calidad En El Tomate Para Industria*. 157–170.
- Caro, M., Cruz, V., Cuartero, J., Estan, M. T., & Bolarin, M. C. (1991). *Salinity tolerance of normal-fruited and cherry tomato cultivars*. 249–255.
- Chasan-Taber, L., Willett, W. C., Seddon, J. M., Stampfer, M. J., Rosner, B., Colditz, G. A., ... Hankinson, S. E. (1999). A prospective study of carotenoid and vitamin A intakes and risk of cataract extraction in US women. *American Journal of Clinical Nutrition*, 70(4), 509–516. <https://doi.org/10.1093/ajcn/70.4.509>
- Cho, E., Seddon, J. M., Rosner, B., Willett, W. C., & Hankinson, S. E. (2004).

- Prospective study of intake of fruits, vegetables, vitamins, and carotenoids and risk of age-related maculopathy. *Archives of Ophthalmology*, 122(6), 883–892. <https://doi.org/10.1001/archopht.122.6.883>
- Colmenero-flores, J. M., Franco-navarro, J. D., & Cubero-font, P. (2019). *Chloride as a Beneficial Macronutrient in Higher Plants : New Roles and Regulation*. (3), 1–32.
- Comandini, P., Cerretani, L., Rinaldi, M., Cichelli, A., & Chiavaro, E. (2013). Stability of iodine during cooking: Investigation on biofortified and not fortified vegetables. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 64(7), 857–861. <https://doi.org/10.3109/09637486.2013.798270>
- Crockford, S. J. (2009). Evolutionary roots of iodine and thyroid hormones in cellcell signaling. *Integrative and Comparative Biology*, 49(2), 155–166. <https://doi.org/10.1093/icb/icp053>
- D. Kleinhenz, Matthew; R. Bumgarner, N. (2012). Using °Brix as an indicator of vegetable quality. *The Ohio State University Extension*, HYG-1651.
- De Caram, G. A., Angeloni, P., & Prause, J. (2007). Determinación de la curva de dilución de nitrógeno en diferentes fases fenológicas del girasol. *Agricultura Tecnica*, 67(2), 189–195. <https://doi.org/10.4067/s0365-28072007000200009>
- Dey(née Pathak), G., & Mukherjee, R. K. (1984). Iodine treatment of soybean and sunflower seeds for controlling deterioration. *Field Crops Research*, 9(C), 205–213. [https://doi.org/10.1016/0378-4290\(84\)90026-1](https://doi.org/10.1016/0378-4290(84)90026-1)
- Dhall, R. K., & Singh, P. (2016). *Effect of Ethephon and Ethylene Gas on Ripening and Quality of Tomato Nutrition & Food Effect of Ethephon and Ethylene Gas on Ripening and Quality of Tomato (Solanum Lycopersicum L .) during Cold Storage*. (January 2013), 1–8. <https://doi.org/10.4172/2155-9600.1000244>
- FAO. (2009). The State of Food Insecurity in the World Economic crises – impacts and lessons learned. En *Notes*.
- Fiorani, F., Schnyder, H., & Villar, R. (1999). *Control of Leaf Growth and its Role in*

Determining Variation in Plant Growth Rate from an Ecological Perspective in Plant Growth Rate from an Ecological Perspective.

- Flores, C. C., Mendoza, N. R., Mendoza, A. B., Cué, J. L. G., Campante, M. T., & García, P. S. (2016). El Yodo Aumenta El Crecimiento Y La Concentración De Minerales En Plántulas De Pimiento Morrón. *Agrociencia*, 50(6), 747–758.
- Flores, J., Ojeda, B. W., López, I., & Rojano, a I. (2007). Water Requirements for Greenhouse Tomato. *Terra Latinoamericana*, 25 (2), 127–134.
- Fuge, R., & Johnson, C. C. (2015). Iodine and human health, the role of environmental geochemistry and diet, a review. *Applied Geochemistry*, 63, 282–302. <https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2015.09.013>
- Garc, E., Enr, J. F., Carrillo, R. Q., & Hern, A. (2004). *Análisis de crecimiento , área foliar específica y concentración de nitrógeno en hojas de pasto “ mulato ” (Brachiaria híbrido , cv .) A growth analisys , specific leaf area and leaf nitrogen concentration in “ mulato ” grass (Brachiaria híbrido , cv .)*. 42(3), 447–458.
- Gill, S. S., & Tuteja, N. (2010). Reactive oxygen species and antioxidant machinery in abiotic stress tolerance in crop plants. *Plant Physiology and Biochemistry*, 48(12), 909–930. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2010.08.016>
- González, J. C. H., González, G. A., Castillo, G. A. B., García, P. S., & Estrada, J. A. E. (1998). *EFEECTO DE LA CONDICION NUTRIMENTAL DE LAS PLANTAS Y DE LA COMPOSICION , CONCENTRACION Y pH DEL FERTILIZANTE FOLIAR , SOBRE EL RENDIMIENTO Y CALIDAD EN TOMATE.*
- Goykovic Cortés, V., & Saavedra del Real, G. (2007). Algunos Efectos De La Salinidad En El Cultivo Del Tomate Y Prácticas Agronómicas De Su Manejo. *Idesia (Arica)*, 25(3), 47–58. <https://doi.org/10.4067/s0718-34292007000300006>
- Gupta, N., Bajpai, M., Majumdar, R., & Mishra, P. (2015). Response of iodine on

antioxidant levels of *Glycine max* L. Grown under Cd²⁺ stress. *Advances in Biological Research*, 9(1), 40–48.

<https://doi.org/10.5829/idosi.abr.2015.9.1.9183>

Halka, M., Smoleń, S., Ledwożyw-Smoleń, I., & Sady, W. (2020). Comparison of Effects of Potassium Iodide and Iodosalicylates on the Antioxidant Potential and Iodine Accumulation in Young Tomato Plants. *Journal of Plant Growth Regulation*, 39(1), 282–295. <https://doi.org/10.1007/s00344-019-09981-2>

Henner, P., Hurtevent, P., Thiry, Y., Levchuk, S., Yoschenko, V., & Kashparov, V. (2013). Translocation of ¹²⁵I, ⁷⁵Se and ³⁶Cl to edible parts of radish, potato and green bean following wet foliar contamination under field conditions. *Journal of Environmental Radioactivity*, 124, 171–184.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2013.05.012>

Humphrey, O. S., Young, S. D., Bailey, E. H., Crout, N. M. J., Ander, E. L., Hamilton, E. M., & Watts, M. J. (2019). Iodine uptake, storage and translocation mechanisms in spinach (*Spinacia oleracea* L.). *Environmental Geochemistry and Health*, 41(5), 2145–2156. <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00272-z>

Hurtevent, P., Thiry, Y., Levchuk, S., Yoschenko, V., Henner, P., Madoz-Escande, C., ... Kashparov, V. (2013). Translocation of ¹²⁵I, ⁷⁵Se and ³⁶Cl to Wheat edible parts following wet foliar contamination under field conditions. *Journal of Environmental Radioactivity*, 121, 43–54.

<https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2012.04.013>

Islam, M. Z., Mele, M. A., Baek, J. P., & Kang, H. (2018). *Iron , Iodine and Selenium Effects on Quality , Shelf Life and Microbial Activity of Cherry Tomatoes*. 46(2), 388–392. <https://doi.org/10.15835/nbha46211012>

Jajda, H. M., & Thakkar, V. R. (2012). Control of *Aspergillus niger* infection in varieties of *Arachis hypogaea* L. by supplementation of zinc ions during seed germination. *Archives of Phytopathology and Plant Protection*, 45(12), 1464–1478. <https://doi.org/10.1080/03235408.2012.677312>

- Jerše, A., Kacjan Maršič, N., Kroflič, A., Germ, M., Šircelj, H., & Stibilj, V. (2018). Is foliar enrichment of pea plants with iodine and selenium appropriate for production of functional food? *Food Chemistry*, 267(July 2017), 368–375. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.02.112>
- Jones, B. (1998). *plant nutrition manual, crc press, uk. 7-10 p.*
- Joshiyura, K. J., Ascherio, A., Manson, J. A. E., Stampfer, M. J., Rimm, E. B., Speizer, F. E., ... Willett, W. C. (1999). Fruit and vegetable intake in relation to risk of ischemic stroke. *Journal of the American Medical Association*, 282(13), 1233–1239. <https://doi.org/10.1001/jama.282.13.1233>
- Kabata-Pendias, A., & Pendias, H. (2001). Elementos traza en suelos y plantas. En *British Medical Journal* (Vol. 2). <https://doi.org/10.1136/bmj.2.4640.1355-a>
- Kaiho, T. (2014). Iodine Chemistry and Applications. *Iodine Chemistry and Applications*, 9781118466, 1–636. <https://doi.org/10.1002/9781118909911>
- Kaiho T. (2017). *Iodine Made Simple. CRC Press.* <https://doi.org/https://doi.org/10.1201/9781315158310>
- Kiferle, C., Martinelli, M., Salzano, A. M., Gonzali, S., Beltrami, S., Salvadori, P. A., ... Perata, P. (2021). Evidences for a Nutritional Role of Iodine in Plants. *Frontiers in Plant Science*, 12(February), 1–18. <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.616868>
- Küpper, F. C., Carpenter, L. J., McFiggans, G. B., Palmer, C. J., Waite, T. J., Boneberg, E. M., ... Feiters, M. C. (2008). Iodide accumulation provides kelp with an inorganic antioxidant impacting atmospheric chemistry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 105(19), 6954–6958. <https://doi.org/10.1073/pnas.0709959105>
- Küpper, F. C., Feiters, M. C., Olofsson, B., Kaiho, T., Yanagida, S., Zimmermann, M. B., ... Kloo, L. (2011). Commemorating two centuries of iodine research: An interdisciplinary overview of current research. *Angewandte Chemie - International Edition*, 50(49), 11598–11620.

<https://doi.org/10.1002/anie.201100028>

Lamz, A., & González, M. C. (2010). EFECTO DEL ESTRÉS POR NaCl EN EL CRECIMIENTO Y LAS RELACIONES HÍDRICAS EN PLANTAS DE TOMATE (*Solanum lycopersicum* L.) DURANTE EL PERÍODO VEGETATIVO. *Cultivos Tropicales*, 31(4), 76–81.

Landini, M., Gonzali, S., Kiferle, C., Tonacchera, M., Agretti, P., Dimida, A., ... Perata, P. (2012). Metabolic engineering of the iodine content in Arabidopsis. *Scientific Reports*, 2, 1–6. <https://doi.org/10.1038/srep00338>

Larín, M., Díaz, L., & Flor de Serrano, R. (2018). Cultivo de tomate orgánico (*Lycopersicon esculentum*). *Centro Nacional De Tecnología Agropecuaria Y Forestal*, 1–48. Recuperado de http://centa.gob.sv/docs/guias/hortalizas/Guia_Centa_Tomate_2019.pdf

Lawson. (2014). *Development and evaluation of iodine biofortification strategies for vegetables*. berlin: logos verlag berlin gmbh.

Lawson, P. G., Daum, D., Czauderna, R., & Vorsatz, C. (2016). Factors influencing the efficacy of iodine foliar sprays used for biofortifying butterhead lettuce (*Lactuca sativa*). *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 179(5), 661–669. <https://doi.org/10.1002/jpln.201600213>

LEE, J. H., & HEUVELINK, E. (2003). *Simulation of Leaf Area Development Based on Dry Matter Partitioning and Specific Leaf Area for Cut Chrysanthemum*. <https://doi.org/10.1093/aob/mcg015>

Leyva, R., Sánchez-Rodríguez, E., Ríos, J. J., Rubio-Wilhelmi, M. M., Romero, L., Ruiz, J. M., & Blasco, B. (2011). Beneficial effects of exogenous iodine in lettuce plants subjected to salinity stress. *Plant Science*, 181(2), 195–202. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2011.05.007>

Li, R., Liu, H. P., Hong, C. L., Dai, Z. X., Liu, J. W., Zhou, J., ... Weng, H. X. (2017). Iodide and iodate effects on the growth and fruit quality of strawberry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(1), 230–235.

<https://doi.org/10.1002/jsfa.7719>

Lusk, C. H. (2002). *Leaf area accumulation helps juvenile evergreen trees tolerate shade in a temperate rainforest*. 188–196. <https://doi.org/10.1007/s00442-002-0974-9>

Mackowiak, C. L., & Grossl, R. R. (1999). Iodate and iodide effects on iodine uptake and partitioning in rice (*Oryza sativa* L.) grown in solution culture. *Plant and Soil*, 212(2), 135–143. <https://doi.org/10.1023/a:1004666607330>

Martínez-damián, M. T., & Cano-hernández, R. (2019). *Effect of preharvest growth bioregulators on physicochemical quality of saladette tomato Efecto de biorreguladores del crecimiento en precosecha sobre la calidad fisicoquímica de tomate saladette*. 25(Apa 6), 29–43. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.06.013>

Mata Fernández, I., Rodríguez Gamiño, M., López Blanco, J., & Vela Correa, G. (2014). Dinámica de la salinidad en los suelos. *Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente*, 1(5), 26–35. Recuperado de http://cbs1.xoc.uam.mx/e_bios/docs/2014/05_SALINIDAD_EN_SUELOS_ESP ANOL.pdf

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. *Frontiers in Plant Science*, 7(AUG2016), 1–20. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01146>

Medrano, J., Nohemi, E., Mart, R., Alfredo, W., Mendoza, A. B., & Mart, P. (2021). Iodine Products Application. *MDPI Agronomy*, 11, 1–16.

Melgoza Gordillo, A. F., Escalante, F. B., Javier, C., Cavazos, L., & Torres, V. R. (2016). *Respuesta de las plantas de melón a las aplicaciones de yoduro de potasio * Melon plant response to applications potassium iodine Resumen Introducción*. (November), 3465–3475.

Morales, D., Dell'Amico, J., Rodríguez, P., Torrecillas, A., & Sánchez-Blanco, M. D.

- J. (2010). Morales, D., Dell'Amico, J., Rodríguez, P., Torrecillas, A., & Sánchez-Blanco, M. D. J. (2010). *Efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas en plantas de tomate (Solanum lycopersicum L.) durante el período vegetativo. Cultivos t.*
- Morales, D., Bolarín, M. C., Sánchez-blanco, M. D. J., Alarcón, J. J., Torrecillas, A., & Amico, J. M. D. (1997). *RELACIONES H ~ DRICAS EN DOS ESPECIES DE TOMATE SOMETIDAS A ESTRES SALINO*. 18(3), 36–39.
- Moreno F, L. P. (2009). *Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico . Una revisión Plant responses to water deficit stress . A review*. 27(2), 179–191.
- Moreno Medina, B. L. (2013). *OSMOTIC EFFECT OF CONDITIONING ON SEEDS OF TOMATO (Solanum lycopersicum L .)*. 3(2), 11–17.
- OMS. (2007). *evaluación de los trastornos por deficiencia de yodo y la vigilancia de su eliminación: una guía para los directores de programas. ginebra (3ª edición) pp 1-84.*
- Prasad, S., & Chetty, A. A. (2008). Nitrate-N determination in leafy vegetables: Study of the effects of cooking and freezing. *Food Chemistry*, 106(2), 772–780. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.06.005>
- Rosenfeld, L. (2000). *Discovery and Early Uses of Iodine*. 77(8).
- Sabatino, L., Ntatsi, G., Iapichino, G., D'anna, F., & De Pasqual, C. (2019). Effect of selenium enrichment and type of application on yield, functional quality and mineral composition of curly endive grown in a hydroponic system. *Agronomy*, 9(4), 1–15. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040207>
- SAGARPA. (2017). *Agrícola Nacional JITOMATE. Planeación agrícola nacional 2017-2030*, 2–20.
- Saure, M. C. (2014). *Scientia Horticulturae Why calcium deficiency is not the cause of blossom-end rot in tomato and pepper fruit – a reappraisal. Scientia Horticulturae*, 174, 151–154. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2014.05.020>

- Shinonaga, T., Gerzabek, M. H., Strebl, F., & Muramatsu, Y. (2001). Transfer of iodine from soil to cereal grains in agricultural areas of Austria. *Science of the Total Environment*, 267(1–3), 33–40. [https://doi.org/10.1016/S0048-9697\(00\)00764-6](https://doi.org/10.1016/S0048-9697(00)00764-6)
- Smith-Warner, S. A., Spiegelman, D., Yaun, S. S., Albanes, D., Beeson, W. L., Van Den Brandt, P. A., ... Hunter, D. J. (2003). Fruits, vegetables and lung cancer: A pooled analysis of cohort studies. *International Journal of Cancer*, 107(6), 1001–1011. <https://doi.org/10.1002/ijc.11490>
- Smoleń, S., Baranski, R., Ledwożyw-Smoleń, I., Skoczylas, Ł., & Sady, W. (2019). Combined biofortification of carrot with iodine and selenium. *Food Chemistry*, 300(January). <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125202>
- Smoleń, S., Kowalska, I., Czernicka, M., Halka, M., Kęska, K., & Sady, W. (2016). Iodine and selenium biofortification with additional application of salicylic acid affects yield, selected molecular parameters and chemical composition of lettuce plants (*Lactuca sativa* L. var. capitata). *Frontiers in Plant Science*, 7(OCTOBER2016), 1–16. <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.01553>
- Steiner, A. A. (1961). *Steiner, A. A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant and soil*, 15(2), 134-154.
- Sun, W. Q., & Leopold, A. C. (1995). The Maillard reaction and oxidative stress during aging of soybean seeds. *Physiologia Plantarum*, 94(1), 94–104. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1995.tb00789.x>
- Suslow, T. V, & Cantwell, M. (2006). *Recommendations for Maintaining Postharvest Quality*.
- Tala, M., & Shannonb, M. C. (1983). *Salt Tolerance in the Wild Relatives of the Cultivated Tomato : Responses of Lycopersicon esculentum , L , cheesmanii , L . peruvianum , Solanum pennellii and F1 hybrids to High Salinity*. (197 1).
- Venturi, S. (2011). Evolutionary significance of parasites. *Nature*, 123(3096), 330.

- Weng, H. X., Hong, C. L., Xia, T. H., Bao, L. T., Liu, H. P., & Li, D. W. (2013). Iodine biofortification of vegetable plants-An innovative method for iodine supplementation. *Chinese Science Bulletin*, *58*(17), 2066–2072.
<https://doi.org/10.1007/s11434-013-5709-2>
- Weng, H. X., Hong, C. L., Yan, A. L., Pan, L. H., Qin, Y. C., Bao, L. T., & Xie, L. L. (2008). Mechanism of iodine uptake by cabbage: Effects of iodine species and where it is stored. *Biological Trace Element Research*, *125*(1), 59–71.
<https://doi.org/10.1007/s12011-008-8155-2>
- Weng, H. X., Liu, H. P., Li, D. W., Ye, M., Pan, L., & Xia, T. H. (2014). An innovative approach for iodine supplementation using iodine-rich phytogetic food. *Environmental Geochemistry and Health*, *36*(4), 815–828.
<https://doi.org/10.1007/s10653-014-9597-4>
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2009). Biofortification of crops with seven mineral elements often lacking in human diets - Iron, zinc, copper, calcium, magnesium, selenium and iodine. *New Phytologist*, *182*(1), 49–84.
<https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2008.02738.x>
- Wright, M. J., & Davison, K. L. (1964). Nitrate Accumulation In Crops And Nitrate Poisoning In Animals. *Advances in Agronomy*, *16*(C), 197–247.
[https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(08\)60025-5](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(08)60025-5)
- Zhu, Y. G., Huang, Y. Z., Hu, Y., & Liu, Y. X. (2003). Iodine uptake by spinach (*Spinacia oleracea* L.) plants grown in solution culture: Effects of iodine species and solution concentrations. *Environment International*, *29*(1), 33–37.
[https://doi.org/10.1016/S0160-4120\(02\)00129-0](https://doi.org/10.1016/S0160-4120(02)00129-0)
- Zimmermann, M. B. (2009). Iodine deficiency. *Endocrine Reviews*, *30*(4), 376–408.
<https://doi.org/10.1210/er.2009-0011>

