

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Impacto Del Yodo Sobre Antioxidantes En Plantas De Tomate (*Solanum lycopersicum* Var. Rio Fuego) Sometidas A Estrés Por Salinidad

Por:

BIAANI FERNANDA HERRERA CASTELLANOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México.

Marzo 2022

DECLARACIÓN DE NO PLAGIO

El autor quien es el responsable directo, jura bajo protesta de decir la verdad que no se incurrió un 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 prestados 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.

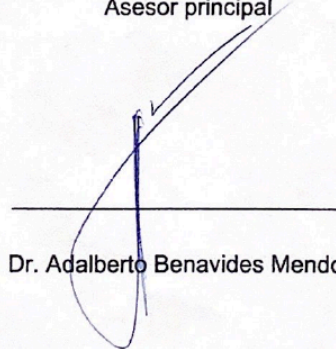
Por lo anterior nos responsabilizamos de las consecuencias de cualquier tipo de plagio en caso de existir y declaramos que este trabajo es original.

Pasante



Biaani Fernanda Herrera Castellanos

Asesor principal



Dr. Adalberto Benavides Mendoza

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Impacto del yodo sobre antioxidantes en plantas de Tomate (*Solanum lycopersicum* Var. Rio Fuego) sometidas a estrés por salinidad

Por:

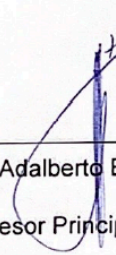
BIAANI FERNANDA HERRERA CASTELLANOS

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



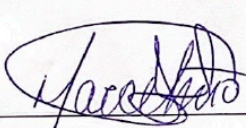
Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Asesor Principal Interno



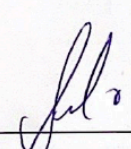
Dra. Julia Medrano Macías

Asesor Principal Externo



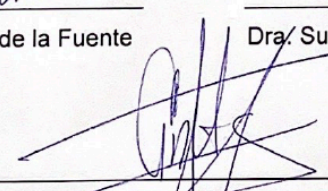
Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente

Coasesor

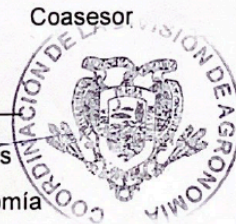


Dra. Susana González Morales

Coasesor



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



Saltillo, Coahuila, México

Marzo 2022

AGRADECIMIENTOS

A mi Alma Terra Mater

UAAAN: Universidad Agraria Antonio Narro

Por los mejores años de mi vida, por brindarme todos los conocimientos que necesito dentro de mi carrera, y sobre todo por mostrarme quien soy y el camino que debo seguir.

A mis asesores:

***Dra. Julia R. Medrano Macías** Por el apoyo, la paciencia y los conocimientos que me brindo para hacer este trabajo posible y hacerme saber de lo que soy capaz.*

***Dr. Adalberto Benavidez Mendoza** Por su colaboración en este trabajo de investigación y por los conocimientos que me brindo en sus clases que fue lo que me motivo a realizar dicho trabajo.*

A Dios:

Por mostrarme que en los momentos mas difíciles se puede salir adelante.

A mi compañero de Tesis y mejor amigo:

José Elesban García Fuentes Gracias a tu apoyo y amistad que fue una de las cosas que hizo posible este trabajo.

A mis amigos de Universidad:

Cada uno impacto en mi vida de diferente manera, gracias por todo: Zaida Lizeth Ramírez Guajardo, Alejandra J. Vázquez López, Monserrath Montiel Anastacio, Sandra C. Cabral Ramírez, Elsa Carolina Landeros, Diego Ulises Balbuena Jaime, Luis Yair Terrazas Vega, Roberto Carlos Calderón Hernández, Oscar Omar Nava Zamora, Juan de Dios Vargas Rendón, André Pérez P., Mauricio Sánchez Sandoval, Gamaliel Sánchez Manzano

DEDICATORIA

A mis Padres:

Dra. Tania S. Castellanos Salvador Todos mis logros te los dedico a ti, me formaste como persona y me diste el amor que necesitaba, siempre te amare incondicionalmente y te necesitare a mi lado.

Dr. Jesús Fernando Herrera Zúñiga Este gran paso en mi vida no sería posible sin ti, me has brindado apoyo, comprensión y amor para cumplir hoy un sueño mas, te amo papá.

A Fernando Corona Velasco:

Mi persona mas incondicional en la vida, amor este trabajo te lo dedico a ti, ya que sin ti no hubiera sido posible, gracias por hacerme una mejor persona y tener Fe en mí.

A mis Hermanas:

Belequí M. Herrera Castellanos A pesar de la distancia te llevo presente cada día de mi vida.

Mirsha A. Gómez Herrera Por ser lo que siempre necesitaba

Mayte C. Coronado Castillo Por siempre estar en los momentos mas difíciles y darme fuerzas.

A mis Tíos:

Gracias a cada uno que aportaron grandes cosas en mi vida y en mi carrera lo que me permitió ser quien soy ahora.

A mis abuelos:

Por ser mis segundos padres y darme el apoyo y amor para cumplir cada sueño que me proponga.

En especial quiero dedicar este trabajo a mi abuelo el Sr Fidel de Jesús Herrera Rojo (†), quien estuvo orgulloso y creyó en mí hasta el fin de sus días.

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE CONTENIDO	VIII
ÍNDICE DE CUADROS	XI
ÍNDICE DE FIGURAS	XII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
I.INTRODUCCIÓN.....	1
II.OBJETIVO GENERAL.....	3
2.1OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
III.HIPÓTESIS	3
V.MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
5.1. SITIO EXPERIMENTAL.	13
5.2.DISEÑO EXPERIMENTAL.....	13
5.3.TRASPLANTE.	14
5.4.FERTILIZACIÓN Y RIEGO.	14
5.5.TRATAMIENTOS.	15
5.6.MUESTREO.	15
5.7.PRODUCCIÓN	15
5.8.BIOMASA FRESCA Y SECA	16
5.9.CUANTIFICACIÓN DE YODO (I).....	16
5.10. EXTRACCIÓN DE BIOMOLÉCULAS	16
5.11.ANALISIS ENZIMÁTICOS.	17
5.11.1.Catalasa.....	17
5.11.2.Glutation Peroxidasa.....	17
5.11.3.Ascorbato Peroxidasa.....	18
5.11.4.Superóxido dismutasa.....	18

5.12.ANALISIS NO ENZIMÁTICOS.....	19
5.12.1Potencial antioxidante.....	19
5.12.2.Lycopeno.	19
5.12.3.Acido Ascórbico.	20
5.12.4.Glutatión Reducido.	20
5.12.5. Proteínas Totales.....	21
5.12.6. Fenoles Totales.	21
VI. RESULTADOS.....	22
6.1 RENDIMIENTO EN FRUTOS	22
6.1.2 NÚMERO DE FRUTOS	23
6.2 BIOMASA FRESCA.....	24
6.3 BIOMASA SECA	25
6.4 CUANTIFICACIÓN DE YODO EN HOJAS	26
6.5 CUANTIFICACIÓN DE YODO EN FRUTO.....	27
6.6 ANÁLISIS ENZIMÁTICOS.	28
6.6.1 Catalasa en Hoja	28
6.6.2 Catalasa en Fruto	29
6.6.3 Glutatión Peroxidasa en Hoja.	30
6.6.4 Glutatión Peroxidasa en Fruto.	31
6.6.5 Ascorbato Peroxidasa en Hoja.....	32
6.6.6 Ascorbato Peroxidasa en Fruto.....	33
6.6.7 Superóxido Dismutasa en Hojas.....	34
6.6.8 Superóxido Dismutasa en Fruto.....	35
6.7 ANÁLISIS NO ENZIMÁTICOS.	36
6.7.1Potencial Antioxidante en Hoja.	36
6.7.2 Potencial Antioxidante en Fruto.	37
6.7.3 Lycopeno en Fruto.....	38
6.7.4 Acido Ascórbico en Hoja.....	39
6.7.5 Acido Ascórbico en Fruto.....	40
6.7.6 Glutatión Reducido en Hoja.	41
6.7.7 Glutatión Reducido en Fruto.....	42

6.7.8 <i>Proteínas Totales en Hoja</i>	43
6.7.9 <i>Proteínas Totales en Fruto</i>	44
6.7.10 <i>Fenoles Totales en Hoja</i>	45
VII.DISCUSIÓN	46
7.1 PRODUCCIÓN	46
7.2 ANTIOXIDANTES	46
VIII.CONCLUSIÓN	50
IX.BIBLIOGRAFIA	51

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO 1. CRITERIOS EPIDEMIOLÓGICOS PARA EVALUAR EL APORTE ALIMENTARIO DE YODO BASADOS EN LAS CONCENTRACIONES MEDIANAS DE YODO EN ORINA DE DISTINTOS GRUPOS DESTINATARIOS. (ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD, 2014)	7
CUADRO 2. CONCENTRACIONES DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA SEGÚN (STEINER, 1961).....	14
CUADRO 3. TRATAMIENTOS EVALUADOS EN EL EXPERIMENTO	15

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. RENDIMIENTOS CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD.	22
FIGURA 2. <i>NÚMERO DE FRUTOS CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD.</i>	23
FIGURA 3. BIOMASA FRESCA CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD.	24
FIGURA 4. BIOMASA SECA CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD.	25
FIGURA 5. CONTENIDO DE YODO EN HOJAS EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD.	26
FIGURA 6. CONTENIDO DE YODO EN FRUTO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD.	27
FIGURA 7. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA CATALASA CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN HOJA DE TOMATE.	28
FIGURA 8. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA CATALASA CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN FRUTO DE TOMATE.	29
FIGURA 9. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA GLUTATIÓN PEROXIDASA CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN HOJA DE TOMATE.	30
FIGURA 10. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA GLUTATIÓN PEROXIDASA CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN FRUTO DE TOMATE.	31
FIGURA 11. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA ASCORBATO PEROXIDASA CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN HOJA DE TOMATE.	32
FIGURA 12. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA ASCORBATO PEROXIDASA CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN FRUTO DE TOMATE.	33
FIGURA 13. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA SUPERÓXIDO DISMUTASA CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN HOJA DE TOMATE.	34
FIGURA 14. ACTIVIDAD DE LA ENZIMA SUPERÓXIDO DISMUTASA CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN FRUTO DE TOMATE.	35

FIGURA 15. POTENCIAL ANTIOXIDANTE CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN HOJA DE TOMATE	36
FIGURA 16. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN FRUTO DE TOMATE.	37
FIGURA 17. CONTENIDO DE LICOPENO CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN FRUTO DE TOMATE.	38
FIGURA 18. CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN HOJA DE TOMATE.	39
FIGURA 19. CONTENIDO DE ÁCIDO ASCÓRBICO CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN FRUTO DE TOMATE.	40
FIGURA 20. CONTENIDO DE GLUTATIÓN REDUCIDO CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN HOJA DE TOMATE.....	41
FIGURA 21. CONTENIDO DE GLUTATIÓN REDUCIDO CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN FRUTO DE TOMATE.	42
FIGURA 22. CONTENIDO DE PROTEÍNAS TOTALES CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN HOJA DE TOMATE.....	43
FIGURA 23. CONTENIDO DE PROTEÍNAS TOTALES CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN FRUTO DE TOMATE.	44
FIGURA 24. CONTENIDO DE FENOLES TOTALES CON APLICACIÓN DE YODO EN TRATAMIENTOS CON Y SIN ESTRÉS DE SALINIDAD EN HOJA DE TOMATE.	45

RESUMEN

El yodo (I) no está considerado dentro de los 17 elementos esenciales para las plantas, sin embargo, en algunos estudios se ha demostrado que el yodo aumentaba la cantidad de antioxidantes y permitía una mayor resistencia a ciertos tipos de estrés abiótico como la salinidad y los metales pesados. El objetivo de la presente investigación fue brindar conocimiento dentro de este tema que ha sido poco explorado, buscando beneficiar a productores con la aplicación de yodo en el campo. Se utilizó como modelo biológico plantas de tomate, las cuales son de las hortalizas más consumidas en México y a la vez tratando de combatir uno del estrés abiótico más recurrente a nivel mundial, la alta salinidad. A nivel global, una superficie de aproximadamente 800 millones de hectáreas presenta algún grado de salinidad. En México se considera que un 10 % del área irrigada está afectada por salinidad y de ésta el 64 % se localiza en el norte del país.

Para llegar a este objetivo se experimentó con plantas de tomate, sometidas a estrés por salinidad con 100 mM (5845 mg/L) de NaCl y realizando aplicaciones con yodo (KIO_3) cada 15 días de manera foliar, utilizando una dosis de 100 μM (39 mg/L), bajo un diseño experimental completamente al azar. Se realizó el trasplante el día 10 de mayo del 2019, y un muestreo foliar y del fruto de cada tratamiento al finalizar el ciclo, con las cuales se analizaron los antioxidantes enzimáticos como SOD, CAT, APX y GPX y no enzimáticos como GSH, ASC y fenoles totales. Los resultados obtenidos mostraron que el yodato (KIO_3) incrementó la actividad de la superóxido dismutasa en hojas, el glutatión en frutos y de igual manera aumentó la actividad de la glutatión peroxidasa, tanto en hojas como en frutos, mientras que el glutatión en hojas sufrió una reducción de 7.81 mg a 2.81 mg cuando se le aplicó el yodato en comparación con el testigo, mientras que el ácido ascórbico incrementó su concentración cuando se le fue aplicado yodo bajo condiciones de estrés, siendo incluso igual que el ácido ascórbico encontrado en plantas sin estrés. La aplicación de yodo no evitó que se redujera la biomasa de las plantas, pero sí evitó la disminución en el rendimiento del fruto.

Palabras Clave: Antioxidantes Enzimáticos, Antioxidantes No Enzimáticos, Yodato, Biomasa, Estrés Abiótico.

ABSTRACT

The Iodine (I) is not considered among the 17 essential elements for plants, nevertheless some studies have shown that iodine increased the antioxidants content and allowed greater resistance to certain types of abiotic stress such as salinity and heavy metals, the objective of this research was to provide knowledge within this topic that has been little explored seeking to benefit producers with iodine application in the field. It was used as a biological model tomato plant, which are among the most consumed vegetables in Mexico and at once time trying to combat one of the most recurrent abiotic stresses worldwide, high salinity. Globally, an area of approximately 897 million hectares has some degree of salinity. In Mexico it is considered that 10% of the irrigated area is affected by salinity and of this 64% is located in the north of the country.

To reach this goal we experimented with tomato plants, subjecting them to salinity stress 10 mM (5845 mg/L) NaCl and making applications with iodine (KIO₃) every 15 days in a foliar way, using a dose of 100 µM (39 mg/L), under a completely at random experimental design, at the end of the cycle of these plants, was carried a foliar and fruit sampling of each treatment was carried out, with which the enzymatic antioxidants were analyzed as SOD, CAT, APX and GPX, and not enzymatics as GSH, ASC and total phenols. The results showed that iodate (KIO₃) increased superoxide dismutase in leaves, Gluthation in fruits and in the same way increase Gluthation Peroxidasa in both leaves and fruits, while Gluthation in leaves suffered a reduction when iodized from 7.81 mg to 2.81 mg compared to the witness, while ascorbic acid increased its concentration when iodine was applied under stress conditions being even the same as the ascorbic acid found in plants without stress. The application of iodine did not prevent the biomass from being reduced, but the yield of the fruit.

Keywords: Enzymatic antioxidants, Antioxidants non-enzymatic, iodate, biomass, abiotic stress.

I.INTRODUCCIÓN

El yodo es un componente natural del planeta tierra, un elemento de la tabla periódica, el cual es un halógeno. El yodo está repartido de manera muy irregular en el ambiente de la Tierra, siendo el océano el reservorio mas grande de yodo y los organismos que habitan en el océano son los mas ricos en este elemento, partiendo de ahí su distribución, variando según la distancia que se tenga desde el océano, siendo los lugares más alejados del océano, las áreas con menos yodo. (Fuge, 1996; Venturi, 2011)

Las especies predominantes de yodo son tres; el yoduro, el yodato y el yodo orgánico. El yodo es considerado un elemento traza para los seres humanos, es decir que a pesar de ser necesario en cantidades pequeñas es indispensable para llevar a cabo actividades metabólicas importantes y para prevenir diversas enfermedades, por ellos se recomienda según la OMS un consumo diario de 90 y 200 μg día. (Organización Mundial de la Salud, 2014; Zimmermann & Andersson, 2012)

Sin embargo, la sociedad desde años pasados ha presentado altas deficiencias de yodo en el cuerpo siendo una prioridad para el sector de la salud buscar una alternativa para abastecer esta cantidad de yodo al cuerpo humano, un ejemplo fue a través de sal de mesa. Sin embargo, esta alternativa presentó varios problemas y la deficiencia de yodo en la población continuó.

En la busca de una alternativa se encontró la biofortificación de las plantas, la cual consiste en la incorporación de nutrientes esenciales o benéficos (en el caso del yodo) en las plantas a un bajo costo.

La biofortificación exitosa con yodo, según han comprobado diversas investigaciones, depende tanto de la concentración como de la forma existente del elemento en el medio (Y.-G. Zhu et al., 2002).

Además de que dicha biofortificación da resultados extras como la modificación de los antioxidantes y posiblemente una tolerancia a diferentes tipos de estrés.

Dentro de las hortalizas que logran almacenar yodo se encuentra el tomate, el cual es rico en licopeno, vitamina C y A y flavonoides. Actualmente estos compuestos son considerados como “antioxidantes”.

En algunos estudios, se descubrió que el yodo aumentaba la cantidad de antioxidantes y permitía una mayor resistencia a ciertos tipos de estrés abiótico, como la salinidad y los metales pesados. (N. Gupta et al., 2015a; Leyva et al., 2011).

Aplicaciones de yodo han mostrado efectos mixtos sobre el potencial antioxidante en varias especies de cultivos, dependiendo de las fuentes de yodo, la concentración y tipo de aplicación (Santiago E., 2019).

Dentro del presente trabajo de investigación se buscó evidencia sobre el efecto del yodo sobre los antioxidantes en el cultivo de tomate,. Además de lograr observar si dicho elemento brinda resistencia al estrés por salinidad, el cual es un problema grave, afectando a 800 millones de hectáreas en el planeta.

II.OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto del yodo sobre el contenido de antioxidantes y biomasa en plantas de tomate sometidas a estrés por salinidad.

2.1Objetivos específicos

2.1.1) Analizar el impacto sobre la producción y biomasa de plantas de tomate sometidas a estrés por salinidad y tratadas con yodo.

2.1.2) Evaluar el contenido de antioxidantes enzimáticos en hojas y frutos de plantas de tomate tratadas con yodo y sometidas a estrés por salinidad.

2.1.3) Evaluar el efecto del yodo sobre el contenido de antioxidantes no enzimáticos en hojas y frutos de tomate sometidos a estrés por salinidad.

III.HIPÓTESIS

La aplicación de yodo en plantas de tomate cultivadas bajo condiciones de invernadero modificará el contenido de antioxidantes enzimáticos y no enzimáticos, sin tener efecto negativo sobre el crecimiento.

IV. REVISIÓN DE LITERATURA

El yodo es un elemento traza, no metálico, perteneciente a los halógenos, cuyo número atómico es 53 y su masa atómica relativa es 126,904 g/mol, es el más pesado de los halógenos, su descubridor fue Bernard Courtois en 1811, fue clasificado por el químico francés Gay-Lussac quien lo bautizó con el nombre con que se conoce, aunque registros históricos reconocen que esto también se le atribuye a Sir Humphry Davy, quien lo hizo de forma simultánea: iode en francés y iodine en inglés.

El elemento yodo fue aislado por primera vez de las cenizas de algas marinas hace dos siglos por Courtois en el contexto de la búsqueda de materias primas para explosivos (principalmente nitrato de potasio) durante las Guerras Napoleónicas (Rosenfeld, 2000).

La química del yodo, como la de los otros halógenos, se ve dominada por la facilidad con la que el átomo adquiere un electrón para formar el ion yoduro, I^- , o un solo enlace covalente $-I$, y por la formación, con elementos más electronegativos, de compuestos en que el estado de oxidación formal del yodo es +1, +3, +5 o +7. El yodo es más electropositivo que los otros halógenos y sus propiedades se modulan por: la debilidad relativa de los enlaces covalentes entre el yodo y elementos más electropositivos.

El único isótopo estable del yodo es el 127 (53 protones, 74 neutrones). De los 22 isótopos artificiales (masas entre 117 y 139), el más importante es el ^{131}I , con una vida media de 8 días; se utiliza mucho en el trabajo con trazadores radiactivos y ciertos procedimientos de radioterapia.

El yodo un componente natural del ambiente de la tierra (Antonyak y Panas, 2018). Sin embargo, su distribución en la tierra es desigual y variable primeramente los océanos son los reservorios más grandes de yodo biodisponible en el planeta; a partir de ahí, el elemento se distribuye en la atmósfera y las áreas terrestres (Fuge, 1996; Venturi, 2011)

El segundo reservorio más importante de yodo es el suelo, que tiene un contenido más alto que el material principal como resultado de la actividad de los organismos vivos (Muramatsu & Yoshida, 1999)

Las especies predominantes de yodo en el medio ambiente son I^- (yoduro), IO_3^- (yodato), y yodo orgánico. Pequeñas porciones de I_2 (yodo molecular) y HIO (Ácido hipoyodoso), existen más en la atmósfera, hidrosfera, suelos, además de los anteriores pero sus vidas son muy cortas. La prevalencia de yoduro o yodato en suelos y aguas es altamente dependiente sobre el pH y el estado redox del medio circundante.

El yoduro es la forma inorgánica más común de yodo en aguas dulces, mientras que yodato es más frecuente en aguas oceánicas.

Sin embargo, la reducción del yodato a través de procesos fotoquímicos lleva a la formación de yoduro en las capas superficiales de agua de mar y en aguas costeras.

El ciclo del yodo dentro de nuestra tierra comienza en la hidrosfera que, como dijimos, es el almacén mas grande de yodo, desde ahí llega a la atmosfera a través de su volatilización en forma de yoduro de metilo (CH_3I), esta forma gases y aerosoles que se dirigen a las áreas terrestres, incorporándose a los ecosistemas a través de absorción y precipitación. A través de nuevos procesos en los cuales hay participación microbiana el yodo reingresa a los océanos (Romarís-Hortas et al., 2011).

Por ello, se puede concluir que aquellos organismos que habitan en el mar son ricos en yodo, como son los mariscos y las algas, al contrario de las frutas y verduras que se producen en la tierra, en las cuales su contenido de yodo es bajo.

Una de las fuentes mas importantes de yodo dentro de los océanos son las algas. Las especies de algas marinas de algas marrones, como *Laminaria digitata*, son los acumuladores de yodo vivos conocidos más efectivos, con concentraciones tisulares que a menudo superan los 50 mM. (F.C Küpper, 1998)

En las regiones costeras, los Laminariales son un importante contribuyente al flujo de yodo del océano a la atmósfera a través de la producción de halocarburos volátiles. Además de los yodocarburos, el óxido de yodo (IO) también es detectable en la atmósfera sobre los lechos de algas marinas, lo que proporciona precursores para los núcleos de condensación de nubes. (Küpper et al., 2008)

El yodo es omnipresente en la biosfera y es requerido para muchos procesos de vida de diferentes grupos de organismos que habitan en la tierra.

A lo largo de la historia y de la evolución la naturaleza se ha encargado sola de proveernos los micronutrientes y macronutrientes que necesitamos como seres vivos, tanto a mamíferos como a las plantas para poder desarrollarnos en nuestros entornos.

El 99% de la masa del cuerpo humano consiste en tan sólo 6 elementos: oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno, calcio y fósforo. Sin embargo, hay muchísimos más elementos que, aunque su cantidad sea mínima son necesarios y de suma importancia para el cuerpo humano como son el cobre, Zinc, Selenio, Molibdeno, Flúor, Cloro, Yodo, Manganeso, Cobalto, Hierro que se necesitan en un 0.70%.

Dentro de todos estos el que en este momento nos importa es el yodo, a pesar de ser necesario para el cuerpo humano, la identidad, la especiación y la importancia biológica del yodo bioacumulado ha permanecido enigmática durante dos siglos, siendo poca la información de este elemento enfocada a este tema.

Debido a esto a la deficiencia de yodo es uno de los mayores problemas de salud en la sociedad del mundo actual, particularmente afectando más a embarazadas y niños (Terry Berro, 2008) .

¿Cómo podría desaparecer este déficit de yodo en el cuerpo?, si la mayoría de la sociedad ni si quiera sabe que deben ingerir yodo para mantener un estado estable de vitalidad, y aunque lo supieran la cantidad de yodo que hay en muchos de los alimentos que se consumen diariamente es menos de la mitad de lo que un humano promedio debe consumir.

El requerimiento diario de yodo, según las Asignaciones Dietéticas Recomendadas (Organización Mundial de la Salud, 2014), se encuentra entre 90 y 200 $\mu\text{g día}^{-1}$, ver Cuadro 1. Los alimentos contienen diferentes cantidades de yodo, estas cantidades varían según su origen ya que aquellos alimentos que se encuentren mas cercanos a zonas marítimas serán más ricos en yodo que aquellos que su distancia sea mayor. Sin embargo, como se mencionó antes dichos alimentos no contienen la cantidad suficiente para satisfacer la necesidad del cuerpo humano.

Cuadro 1. Criterios epidemiológicos para evaluar el aporte alimentario de yodo basados en las concentraciones medianas de yodo en orina de distintos grupos destinatarios. (Organización Mundial de la Salud, 2014)

Concentración mediana de yodo en orina (µg/L)	Ingesta de yodo	Estado nutricional de yodo
Niños en edad escolar (mayores de 6 años)^b		
<20	Insuficiente	Carencia grave de yodo
20-49	Insuficiente	Carencia moderada de yodo
50-99	Insuficiente	Carencia leve de yodo
100-199	Suficiente	Nutrición correcta con respecto al yodo
200-299	Valor superior a las necesidades	En estos grupos de población puede existir un riesgo leve de ingesta de yodo superior a la necesaria
≥300	Excesiva ^c	Riesgo de sufrir problemas de salud (hipertiroidismo inducido por el yodo, tiroiditis autoinmune)

^a Fuente: referencias (2, 12).

^b Se aplica a personas adultas, pero no a embarazadas ni a madres lactantes.

^c El término "excesiva" se refiere a una cantidad superior a la necesaria para prevenir y controlar la carencia de yodo.

Concentración mediana de yodo en orina (µg/L)	Ingesta de yodo	Estado nutricional de yodo
Embarazadas		
<150	Insuficiente	
150-249	Suficiente	
250-499	Valor superior a las necesidades	
≥500	Excesiva ^c	
Madres lactantes^d y menores de 2 años		
<100	Insuficiente	
≥100	Suficiente	

^c El término "excesiva" se refiere a una cantidad superior a la necesaria para prevenir y controlar la carencia de yodo.

^d Aunque las madres lactantes presentan las mismas necesidades que las embarazadas, la concentración urinaria mediana de yodo es más baja debido a que el yodo se excreta a través de la leche materna (6).

Se ha tratado de minimizar al máximo el déficit de yodo en el cuerpo humano a través de la incorporación de yodo a la sal de mesa, sin embargo, a pesar del esfuerzo esta acción no llega a mitigar las deficiencias de yodo en la sociedad debido a que el yodo al ser un elemento algo inestable se llegaba a perder dentro de la sal debido a que

este se volatiliza. También se busco incorporar el yodo dentro del agua potable, sin embargo, debido al temor de que el ser humano pueda llegar a un punto de intoxicación por yodo no se ha implementado.

En una alternativa por incrementar la cantidad de yodo en los alimentos se encontró con la biofortificación, la cual se definió como el proceso que incrementa la concentración de elementos esenciales biodisponibles, en las plantas de cultivo a través de la intervención agronómica o la selección genética (White & Broadley, 2005).

La biofortificación es una de las técnicas más prometedoras de esta década, no sólo por su gran efectividad incorporando micronutrientes del suelo a los vegetales destinados al consumo humano, sino también por el bajo coste que conlleva su aplicación.

A pesar de la efectividad que hasta el momento han demostrado los programas de biofortificación para aumentar el consumo de este elemento en seres humanos a través de la dieta vegetal, ninguno de estos trabajos ha estudiado el efecto de la biofortificación sobre la calidad nutricional, y en especial la capacidad antioxidante, máxime cuando existen evidencias de que una aplicación excesiva de nutrientes puede dar lugar a afectos fitotóxicos para las plantas y por lo tanto puede afectar a esta característica nutricional.

Distintas investigaciones han comprobado que la absorción del yodo por parte de los vegetales depende tanto de la concentración como de la forma existente del medio. (Zhu et al., 2002)

Parte de los estudios realizados sobre la respuesta de aplicaciones de yodo se han hecho en cultivos como la lechuga (Blasco et al., 2008), melón (Melgoza et al., 2016), tomate, papa (Caffagni et al., 2011) y cultivos básicos (Gupta et al., 2015a).

El tomate rojo mexicano es una de las hortalizas que generan más divisas para el país, ya que cerca de 30% de la producción nacional se exporta, principalmente a los Estados Unidos de Norteamérica (EUA), por lo que su cultivo depende significativamente del comportamiento del mercado internacional.

Además de ser una de las hortalizas más exportadas es una de las más consumidas en México, así que si se busca un implemento en el consumo del yodo, ¿porqué no hacerlo mediante el tomate? El tomate también es una hortaliza rica en licopeno, vitamina C y A y flavonoides.

Actualmente estos compuestos son considerados como “antioxidantes”, ya que se encuentran asociados con la prevención de enfermedades de tipo carcinogénicas y cardiovasculares (Juroszek et al., 2009; Toor & Savage, 2005)

Los principales grupos de antioxidantes de los organismos fotosintéticos son compuestos orgánicos tales como ascorbato, isoprenoides, ácidos grasos y fenoles.

El sistema de defensa antioxidante está constituido por un grupo de sustancias que, al estar presente en concentraciones bajas con respecto al sustrato oxidable, retrasan o previenen significativamente la oxidación de este. Como sustrato oxidable se pueden considerar casi todas las moléculas orgánicas o inorgánicas que se encuentran en las células vivas, como proteínas, lípidos, hidratos de carbono y las moléculas de ADN.

La capacidad antioxidante se considera muy importante en la dieta del ser humano ya que esta ligada a la disminución del riesgo de padecer diferentes enfermedades. Dichas patologías parecen estar relacionadas con la aparición del estrés oxidativo generado por las especies reactivas del oxígeno (ROS), los cuales provocan daños en numerosos componentes celulares como lípidos, proteínas y ADN, y que pueden ser originados por procesos celulares normales o por condiciones ambientales a las que estamos expuestos (Blasco et al., 2010).

Por lo tanto, la actividad antioxidante de los compuestos fitoquímicos como carotenoides, vitamina C y E, antocianinas y compuestos fenólicos pueden ayudar a explicar la relación entre el consumo de frutas y verduras y la disminución del riesgo de padecer trastornos crónicos. (Connor et al., 2005).

La acción del antioxidante funciona como un sacrificio de su propia integridad molecular para evitar alteraciones de moléculas -lípidos, proteínas, ADN, etc.

Estos pueden inhibir o retardar la oxidación de dos formas: captando radicales libres, en cuyo caso se denominan antioxidantes primarios, o por mecanismos que no estén

relacionados con la captación de radicales libres, en cuyo caso se conocen como antioxidantes secundarios.

Los antioxidantes primarios incluyen compuestos fenólicos, y se destruyen durante el período de inducción. Los antioxidantes secundarios operan a través de cierto número de mecanismos, incluyendo su unión a metales pesados, captación del oxígeno, conversión de hidroperóxidos a especies no radicales, absorción de radiación UV o desactivación del oxígeno singlete (Yun, 2001).

Las plantas producen bajos niveles de especies reactivas de oxígeno (ROS), que forman parte de la comunicación química celular básica; Sin embargo, diferentes tipos de estrés pueden llevar a una sobreexpresión de ROS que puede dañar las macromoléculas esenciales para el crecimiento y desarrollo de las plantas. El yodo es vital para la salud humana y los programas de biofortificación de yodo ayudan a mejorar la ingesta humana a través del consumo de plantas. Se ha demostrado que este proceso de biofortificación influye en la capacidad antioxidante de las plantas de lechuga, lo que sugiere que el metabolismo oxidativo de la planta puede verse afectado. (Blasco et al., 2010)

Aplicaciones de yodo han mostrado efectos mixtos sobre el potencial antioxidante en varias especies de cultivos, dependiendo de las fuentes de yodo, la concentración y tipo de aplicación.

Se ha demostrado que la aplicación del yodo influye en la capacidad antioxidante de las plantas de lechuga, esto sugiere que el metabolismo oxidativo de las plantas puede verse afectado. Los resultados en esta investigación demuestran que el estrés oxidativo varía y depende de la forma del yodo aplicado. La aplicación de yoduro produce una reducción en la actividad de superóxido dismutasa (SOD) y un aumento en las actividades de la enzima catalasa (CAT) y L-galactono deshidrogenasa y en la actividad de compuestos antioxidantes como el ascorbato (AA) y el glutatión. Por otra parte, el yodato dio como resultado un aumento en las actividades de SOD, ascorbato peroxidasa y CAT, las principales enzimas involucradas en la desintoxicación de ROS. (Blasco et al., 2010)

De acuerdo a los resultados de dicha investigación se concluyó que la capacidad del IO_3^- para inducir el sistema antioxidante indica que la aplicación de esta forma de yodo puede ser una estrategia eficaz para mejorar la respuesta de las plantas a diferentes tipos de estrés (Blasco et al., 2010).

En otro trabajo de investigación se estudió la concentración de yodo en las raíces y las hojas comestibles y su influencia en la calidad nutricional a través de un análisis de la capacidad antioxidante. Los resultados mostraron que el yodo en forma de yoduro (I^-) no redujo la biomasa en las plantas tratadas con respecto a las plantas de control y causaron una acumulación foliar de este elemento que garantiza la viabilidad de este tipo de programas. Además, de que las plantas tratadas muestran un aumento significativo en los compuestos antioxidantes después de la aplicación de yodo. (Blasco et al., 2008)

De igual manera la aplicación foliar de yodo, como KI, en plántulas de pimiento morrón mejora la absorción de minerales, la cantidad y actividad de antioxidantes y el vigor de la plántula. Por lo tanto, la inclusión de yodo en la producción de almácigos permite obtener material vegetal de mejor calidad al trasplante (Cortés-Flores et al., 2016).

También se puede agregar que el yodo además de generar un impacto en los antioxidantes, lo genera en las características fisicoquímicas, puesto que en un estudio realizado en la Universidad de Chapingo sobre la aplicación de biorreguladores en tomate observando su efecto sobre indicadores de calidad fisicoquímicas, encontraron que los mejores resultados se obtuvieron con la aplicación de yodo, el cual permitió un incremento en la brillantez y tonalidad de color, manteniendo sin cambios la pureza de color, de igual manera sobre la concentración de sólidos solubles totales (Martínez-Damián et al., 2018)

Así se puede decir que, en algunos estudios, se descubrió que el yodo aumentaba la cantidad de antioxidantes y permitía una mayor resistencia a ciertos tipos de estrés abiótico, como la salinidad y los metales pesados (Gupta et al., 2015; Leyva et al., 2011)

La salinidad es uno de los estreses abióticos con más incidencia a escala global, ya que limita severamente la productividad de los cultivos (Zhu et al., 2001). Actualmente, se estima que se pierden anualmente 250-500 mil hectáreas destinadas a producción agrícola, fenómeno que se agrava día a día por una fertilización excesiva y el uso de aguas de riego con alto contenido en sales (Munns & Tester, 2008).

Se estima que aproximadamente 831 millones de hectáreas a nivel mundial están afectadas por sales (Mata-Fernández et al., 2014), en México el proceso de salinización afecta el 3.2% de su territorio, principalmente en los estados de Sonora, Sinaloa, Tamaulipas, San Luis Potosí, Chiapas, Nuevo León, Oaxaca, Veracruz y Zacatecas.

Varias son las causas vinculadas a estos procesos de salinización, entre las cuales es posible citar un excesivo empleo de fertilizantes, uso de agua de mala calidad por el exceso de sales, mal drenaje y tala de vegetación arbórea (Tanwar, 2003).

Y ¿Cómo afecta la salinidad de los suelos a los cultivos?, teniendo un efecto negativo en estos, ya que en estas condiciones el potencial osmótico del suelo supera al del sistema de las plantas limitando así la entrada del agua en la raíz, además de ello la salinidad trae consigo otros problemas como: absorción limitada de los nutrimentos, afecta la translocación y el reciclado de iones en la planta, el exceso de ciertos iones puede provocar toxicidad en las plantas, acumulación de Cl, Na y B en distintas partes de las plantas, como las semillas, los tallos y las hojas, se producen una serie de modificaciones debido a las variaciones de pH, que afectan a la disponibilidad de los nutrimentos (Padilla Arzaluz, 2017).

Dentro de estos cultivos, hablando en específico sobre el tomate, la salinidad afecta de diversas maneras. La mayoría de los efectos son adversos. Por ejemplo, el porcentaje de germinación disminuye y se prolonga el tiempo en el cual las semillas llevan a cabo este proceso. A nivel de raíces, éstas alcanzan una menor longitud de modo que el volumen de suelo que prospectan es menor.

El cultivo del tomate en áreas con problemas de salinidad provoca en las plantas un sinnúmero de efectos fisiológicos, morfológicos y bioquímicos, tales como disminución

de la fotosíntesis, los tallos alcanzan una menor altura, las hojas se reducen en número y presentan desecación en sus bordes de modo que hay menos producción de fotoasimilados. El número y peso de los frutos también se afectan negativamente de manera que su rendimiento comercial disminuye, de igual manera la salinidad puede mejorar la calidad de los frutos en términos organolépticos y biológicos, al presentar éstos un mayor contenido de compuestos solubles, concentración de ácidos y licopeno (Goykovic V & Saavedra G, 2007).

Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo de investigación fue evaluar el efecto del yodo, el cual mencionamos según investigaciones a influido como un mecanismo de biofortificación en las plantas, en este caso será aplicado específicamente en el cultivo del tomate por ser una de las hortalizas de mayor consumo en México, estando sometidas a estrés por salinidad, tratando de observar el impacto tanto en los antioxidantes como en la biomasa y producción de dicho cultivo.

V.MATERIALES Y MÉTODOS

5.1. Sitio Experimental.

El presente trabajo experimental se realizó en las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en el Departamento de Horticultura, en un invernadero tipo capilla de medidas 7 metros de ancho x 14 metros de largo de mediana tecnología, ubicado en la colonia Buenavista al sur de la ciudad de Saltillo, Coahuila en las coordenadas geográficas de 25° 21' 19" latitud N, y 101° 01' 49" longitud W a una altitud de 1777 metros sobre el nivel del mar.

5.2.Diseño Experimental.

Se utilizo un diseño completamente al azar con cuatro tratamientos de 35 repeticiones cada uno, siendo una planta una unidad experimental.

5.3. Trasplante.

Como material vegetal se usaron plántulas de tomate (*Solanum lycopersicum*) la variedad Rio fuego; se realizó el trasplante el día 10 de mayo del 2019, trasplantando 140 plantas en total, en contenedores de poliestireno de 10 kg de capacidad, como sustrato se uso peat moss + perlita en proporción 1:1.

5.4. Fertilización y Riego.

Se aplicó una solución nutritiva completa Steiner (Steiner 1961), mediante dos tambos de 200 litros cada uno, con pH de 6.3 y CE de 2 ds/m en el tambo de solución nutritiva y CE de 8 ds/m en el tambo de solución nutritiva + NaCl, cada tambo regaba la mitad de las plantas.

Se aplicaba sistemáticamente todos los días en base al crecimiento de las plantas, en riegos del 200 ml por planta durante 5 minutos, 5 veces al día, drenando correctamente.

Cuadro 2. Concentraciones de la solución nutritiva según (Steiner, 1961)

Macronutrientes	Miliequivalentes (Meq)
KH ₂ PO ₄	1
MgSO ₄ .7H ₂ O	4
Ca(NO ₃) ₂ .4H ₂ O	9
KNO ₃	12
K ₂ SO 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

5.5.Tratamientos.

Se evaluaron 4 tratamientos con un total de 35 repeticiones por tratamiento, estando distribuidos bajo un diseño de experimentos aleatorizados, los cuales consistían en:

Cuadro 3. Tratamientos evaluados en el experimento

TRATAMIENTOS

1)Testigo

2)KIO₃

3)NaCl

4)NaCl+ KIO₃

Se realizaban aplicaciones de yodo (KIO₃) cada 15 días de manera foliar, a plantas con y sin estrés por salinidad, a una dosis de 39 mg/l, los testigos, solamente se les aplicaba agua y a través del riego la solución nutritiva, el estrés por salinidad se obtenía aplicando una solución de NaCl que estaba a una concentración de 100 mM y de igual manera estaba dirigido al sustrato a través del riego.

5.6.Muestreo.

Se realizó un muestreo completamente al azar, cuando la planta se encontraba en plena producción, a los 125 días posteriores al trasplante, dentro del muestreo se tomaron las hojas y frutos de cinco plantas de cada tratamiento para el análisis de las variables bioquímicas.

5.7.Producción

Se realizó el conteo y peso de frutos producidos por las plantas de cada tratamiento en todo el ciclo de 125 días.

5.8. Biomasa fresca y seca

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.

5.9. Cuantificación de Yodo (I)

Para la extracción se utilizó la técnica de cenizas alcalinas modificada por (Ujowundu et al., 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.

5.10. Extracción de biomoléculas

El tejido vegetal liofilizado se maceró con mortero de mano y se pesaron 100 mg de este tejido pulverizado, posteriormente fue pasado a tubo para centrifuga más 10 mg de polivinil pirrolidona, se le añadieron 2 mL de 0.1 M de buffer de fosfatos pH 7.2 y fue sonicado por 10 min., posteriormente se sometió a microcentrifugación a 12000 rpm por 10 min a 4°C, el sobrenadante se recolectó y filtró con una membrana de nylon (Ramos et al. 2010). Finalmente se diluyó en una proporción 1:15 con buffer de fosfatos.

5.11.Analisis Enzimáticos.

5.11.1.Catalasa.

Se realizó midiendo dos tiempos de reacción, tiempo 0 (T0) y tiempo 1 (T1). La mezcla de reacción para el blanco se elaboró tomando 0.1 mL de extracto de biomoléculas, 1 mL de buffer de fosfatos (pH 7.2) y 0.4 ml de H₂SO₄ (al 5%) y la mezcla para el T0 se preparó agregando 0.1 ml de extracto de biomoléculas, después se añadieron 0.4 mL de H₂SO₄ (al 5%), al final 1mL de H₂O₂ 100 mM.

Para T1 se preparó agregando 0.1mL de extracto de biomoléculas, en seguida 1mL de H₂O₂ y finalmente los 0.4 mL de H₂SO₄ al 5% fueron aplicados después de 1 minuto de reacción entre el extracto de biomoléculas y el H₂O₂. La reacción se efectuó a una temperatura de 20 pc bajo agitación constante. Finalmente se tomó la lectura del consumo del H₂O₂ a 270 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis). La actividad enzimática se determinó a partir de extrapolar las absorbancias en la ecuación de la recta de H₂O₂. La actividad catalasa se expresó como (mM H₂O₂ min⁻¹/proteínas totales) (Cansev et al., 2011)

5.11.2.Glutation Peroxidasa.

Se realizó con el método establecido por Xue et al. (2001) usando H₂O₂ como sustrato. Se colocaron 0.2 mL del extracto de biomoléculas en un tubo de ensaye más 0.4 ml de glutatión reducido (0.1 M) y 0.2 ml de Na₂HPO₄ (0.067 M). Esta mezcla fue precalentada en baño de agua (IKA ® HB 10 basic) a 25°C durante 5 minutos. Posteriormente se le añadieron 0.2 mL de H₂O₂ 1.3 mM para iniciar la reacción catalítica. Después de 10 min se añadió 1 mL de ácido tricloro acético (al 1%) para detener la reacción. Esta mezcla de reacción fue puesta en baño de hielo por 30 min. A continuación, se centrifugó a 3000 rpm por 10 min. Del sobrenadante se tomaron 0.48 mL y se colocaron en un tubo de ensaye, se agregaron 2.2 mL de Na₂HPO₄

(0.32 M) y 0.32 ml de una solución 1 mM del colorante ácido 5,5 ditio-bis-2-nitro benzoico (DTNB). Se tomaron lecturas en el espectrofotómetro UV-VIS a 412 nm. La actividad enzimática GPX se determinó a partir de extrapolar las absorbancias en la ecuación de la recta de glutatión reducido. La actividad GPX fue expresada en unidades de (M GSH min⁻¹/proteínas totales).

5.11.3.Ascorbato Peroxidasa.

La medición de la actividad enzimática ascorbato peroxidasa se llevó a cabo de acuerdo a lo establecido por Nakano y Asada (1987). Se agregaron 100 µL de extracto enzimático, 500 µL de ascorbato (10 mg L⁻¹), y se adicionaron 1 mL de H₂O₂ (100 mM), se midió inmediatamente la absorbancia a una longitud de onda de 266 nm en un espectrofotómetro (Thermo Scientific GENESYS 10S UV-Vis) para el tiempo 0, después de un minuto la misma muestra se vuelve a leer y este será el tiempo 1. Se preparó una curva de calibración con ascorbato, y las unidades de la actividad (UI) fueron expresadas en (PPM de ascorbato min⁻¹/ proteínas totales.)

5.11.4.Superóxido dismutasa.

La determinación de la actividad enzimática del superóxido dismutasa se llevó a cabo utilizando el kit SOD Cayman 706002®. Una mezcla de 20 µL de extracto de biomoléculas, 200 µL de detector de radicales (sal de tetrazolio) y 20 µL de solución de xantina oxidasa se colocó en una micro placa. La micro placa se cubrió con una cubierta transparente (kit), se agitó durante 10 segundos y luego se incubó a 26 ° C durante 30 minutos. Luego se midió la absorbancia a una longitud de 450 nm utilizando un lector de placas. El principio de la prueba se basa en el uso de una sal de tetrazolio para la detección de radicales superóxidos generados por la xantina oxidasa y la hipoxantina. Una unidad de SOD se define como la cantidad de enzima necesaria para

exhibir un 50% de dismutación del radical superóxido. La actividad SOD se expresó sobre U/g de proteína totales, a partir de la ecuación descrita por el kit comercial.

5.12. Analisis No Enzimáticos.

5.12.1 Potencial antioxidante

Para la determinación del potencial antioxidante se prepararon los reactivos utilizando una solución de 2,2- difenil 1 picrilhidrazil (DPPH), la cual fue preparada a una concentración de 2.53 mM, este se agrego a un matraz de 10 mL y fue aforado con metanol. Posteriormente se preparo la solución de Trolox a una concentración de 2.5 mM, este se agrego a un matraz de 50 mL y fue aforado con metanol.

Lectura de muestras.

Se procedió a preparar las muestras para la lectura en microplaca: se tomaron 50 µl de cada una sin dilución, se colocaron en la placa y se agregaron 50 µl de la solución DPPH, la cual fue preparada a partir de la solución madre dejándola a una concentración 0.5 mM (se tomaron 2000 µl y se colocaron en una matraz para después aforarlo a 10 mL con metanol) se dejó reposar 15 min y se realizó su lectura en microplaca a 530 nm. Las unidades fueron expresadas en miliequivalentes de trolox (TEAC)

5.12.2. Licopeno.

Se ha empleado el siguiente procedimiento para la preparación de muestras de acuerdo a la técnica reportada por Bunghez et al., (2011):

Se pesaron 100 mg del tejido seco y macerado del fruto y se colocaron en tubos de 2 mL, después de esto se agregó 1.5 mL hexano a cada tubo, se homogenizaron en

vórtex por 30 seg, posteriormente se sonicaron por 5 min y centrifugaron a 4 °C por 10 min a 10000 rpm.

Para extraer el sobrenadante se utilizaron jeringas desechables, para el filtrado se utilizaron pirinolas para posteriormente ser colocado en tubos de 2 mL. Se cuantificó espectrofotométricamente a 472 nm (reportado en la literatura). Las unidades fueron expresadas en g kg⁻¹.

5.12.3. Acido Ascórbico.

Para la extracción del ascorbato se pesaron 200 mg de las hojas liofilizadas y se les agregó 1 mL de solución agua:acetona en una proporción 1:1 (Yu & Dahlgren, 2000). Se sometió a vórtex por 30 s, posteriormente se sonificó por 5 min, finalmente se sometió a ultracentrifugación a 4 °C a 12500 rpm por 10 min, se extrajo el sobrenadante. La cuantificación fue llevada a cabo mediante el uso del cromatógrafo de líquidos de alta resolución (HPLC) Thermo Spectra system P4000®, bajo las siguientes condiciones: longitud de onda 230 nm, fase móvil NaH₂PO₄ 50 mM pH 2.8, flujo de 1.0 mL/min, la columna utilizada fue una aquasil C-18 a una temperatura de 60 °C. Las unidades fueron reportadas en g kg⁻¹.

5.12.4. Glutación Reducido.

El glutatión se cuantificó siguiendo la técnica espectrofotométrica establecida por Xue et al. (2001), mediante la reacción con ácido 5,5 ditio-bis-2 nitro benzoico (DTNB).

En un tubo para centrífuga se colocaron 0.48 mL del extracto, 2.2 mL de fosfato dibásico de sodio (Na₂HPO₄ a 0.32 M) y 0.32 mL del colorante DTNB a 1 mM. Se mezcló y se leyó en un espectrofotómetro UV-VIS a 412 nm. Los valores se reportaron en g kg⁻¹.

5.12.5. Proteínas Totales.

Para la cuantificación de las proteínas totales se tomaron 100 μL del extracto de biomoléculas y se le agregó 1 mL del reactivo de Bradford, se mezcló y se dejó reaccionar durante 2 minutos, finalmente se leyó la absorbancia a 595 nm en el espectrofotómetro, utilizando como estándar de proteínas BSA (Bradford, 1976). Las unidades se reportaron en g Kg^{-1} .

5.12.6. Fenoles Totales.

Para la extracción de compuestos fenólicos totales se tomaron 200 mg de muestra liofilizada y macerada y se le agregó 1 ml de solución agua-acetona 1:1, se centrifugó a 10000 rpm a 4°C durante 10 min y se extrajo el sobrenadante para iniciar la reacción; utilizando el reactivo Folin-Ciocalteu (Rivero et al., 2001) se colocó en un tubo de ensayo 50 μL del extracto, 200 μL del reactivo Folin-Ciocalteu 1 M, 500 μL de Na_2CO_3 al 20% (P/V) y 5 ml de agua destilada, como se resume en el cuadro 4. Posteriormente se dejó incubar a 45°C durante 30 minutos. Las muestras fueron leídas con el espectrofotómetro a una longitud de onda de 750 nm y se registraron los resultados, los cuales fueron extrapolados con una curva de calibración de ácido gálico realizada previamente. Las unidades se reportaron en g kg^{-1} .

VI. RESULTADOS

6.1 Rendimiento en Frutos

La Figura 1 nos muestra que las plantas tratadas con KIO_3 , bajo condiciones normales, produjeron el mismo rendimiento de frutos que el testigo absoluto (SN), mientras que en las plantas sometidas a estrés por salinidad, la aplicación de yodo aumentó 0.23 veces el rendimiento en comparación con su testigo.

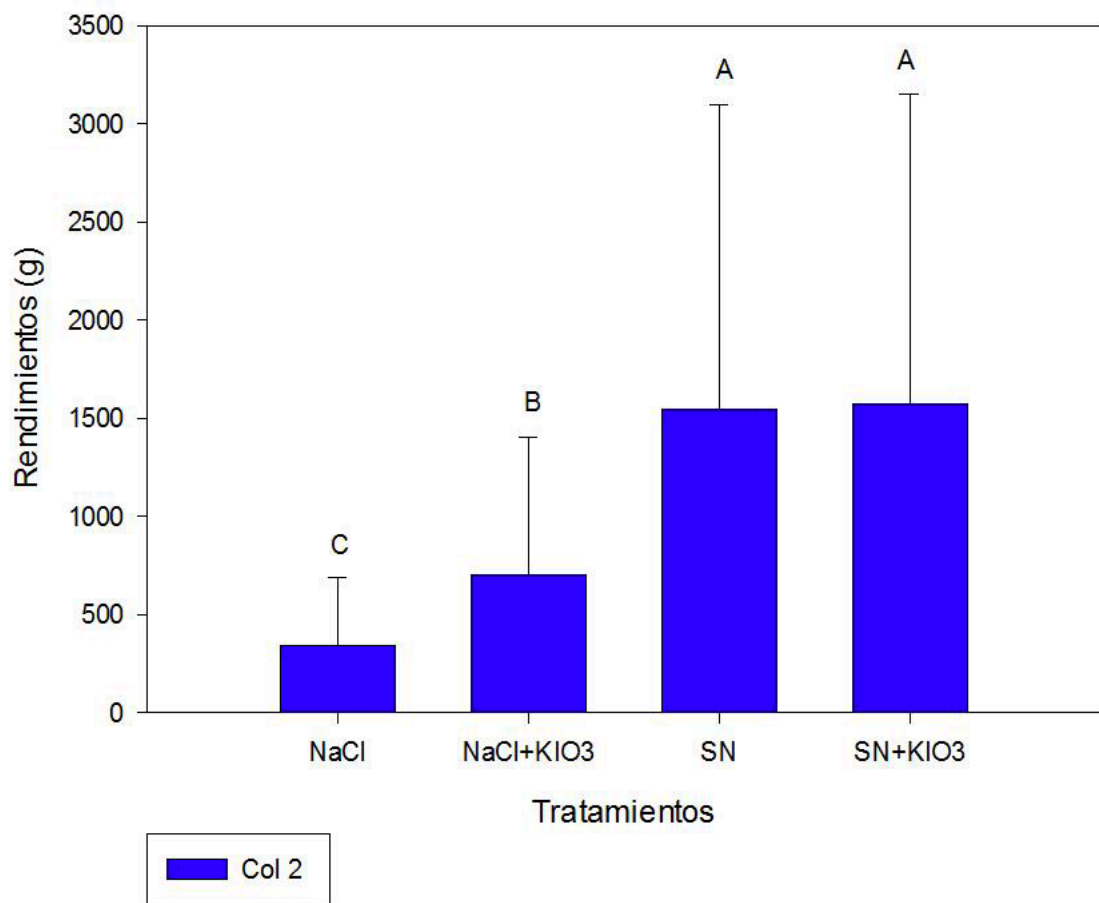


Figura 1. Rendimientos con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad.

6.1.2 Número de frutos

En la Figura 2 se observa que la aplicación de yodo favoreció el número de frutos producidos tanto en condiciones normales, como bajo estrés salino, siendo este último 0.66 veces mayor a su testigo, y en el tratamiento bajo condiciones normales aumentó 0.26 veces en comparación a su testigo.

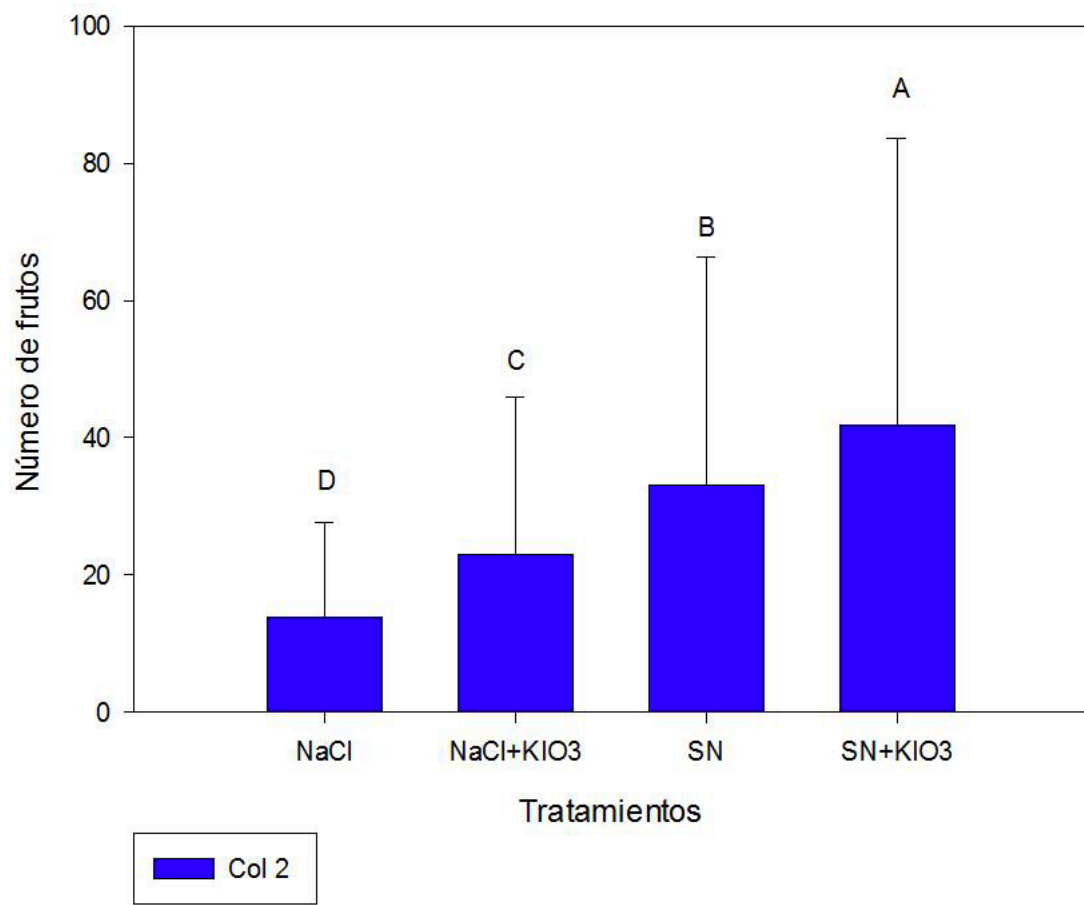


Figura 2. Número de frutos con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad.

6.2 Biomasa fresca

En la Figura 3 se observa que el tratamiento con yodo bajo condiciones normales no modificó la biomasa fresca de las plantas, siendo igual a su testigo; por su parte, las plantas sometidas a estrés por salinidad sin aplicación de yodo redujeron su biomasa 0.59 veces en comparación a su testigo y las plantas sometidas a estrés y con tratamiento con yodo redujeron su biomasa 0.58 veces en comparación a las plantas bajo condiciones normales.

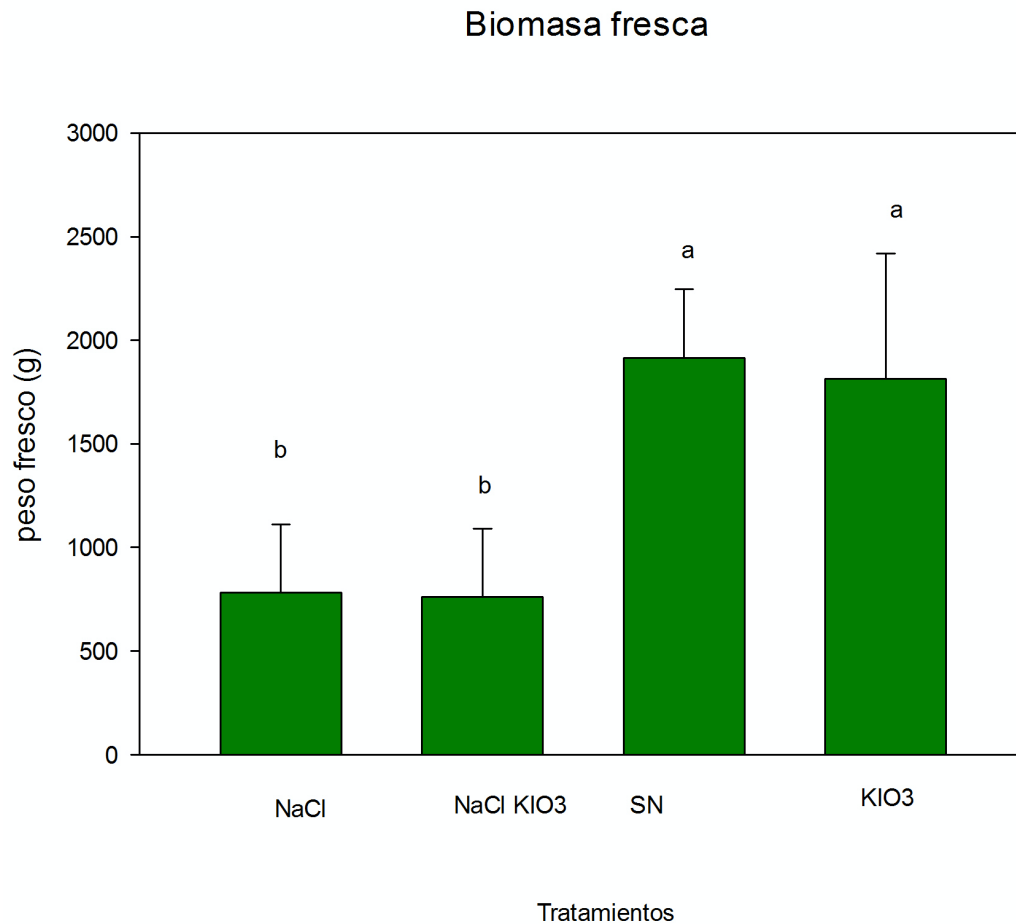


Figura 3. Biomasa fresca con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad.

6.3 Biomasa seca

La Figura 4 muestra que el tratamiento con yodo no modificó la biomasa seca bajo condiciones normales, siendo igual a su testigo. Las plantas sometidas a estrés por salinidad sin tratamiento con yodo redujeron su biomasa 0.64 veces en comparación a su testigo y las plantas sometidas a estrés y con tratamiento con yodo redujeron su biomasa 0.62 veces en comparación a las plantas bajo condiciones normales.

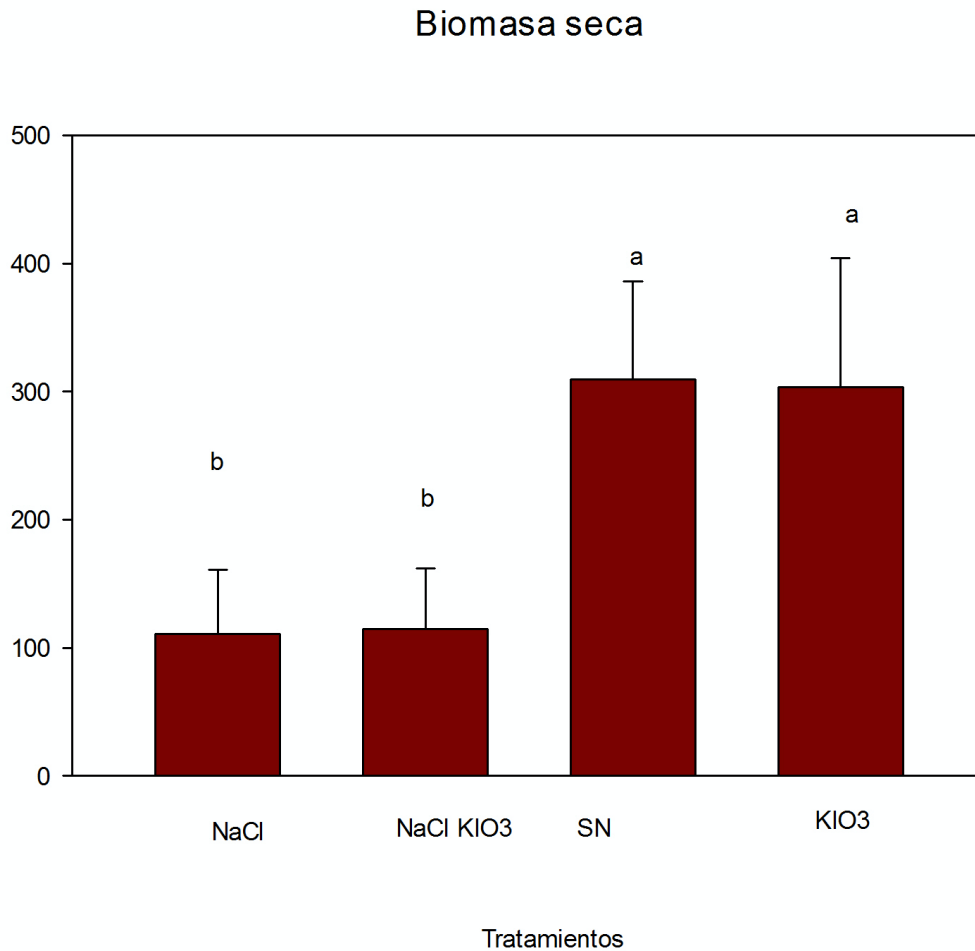


Figura 4. Biomasa seca con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad.

6.4 Cuantificación de Yodo en Hojas

En la Figura 5 se muestra que las aplicaciones de yodo aumentaron significativamente el contenido del mismo en hojas, en el tratamiento sometido a estrés con salinidad aumentó 4.8 veces en comparación con su testigo, y en las plantas que se encontraban en condiciones normales aumento 8.7 veces en comparación con su testigo.

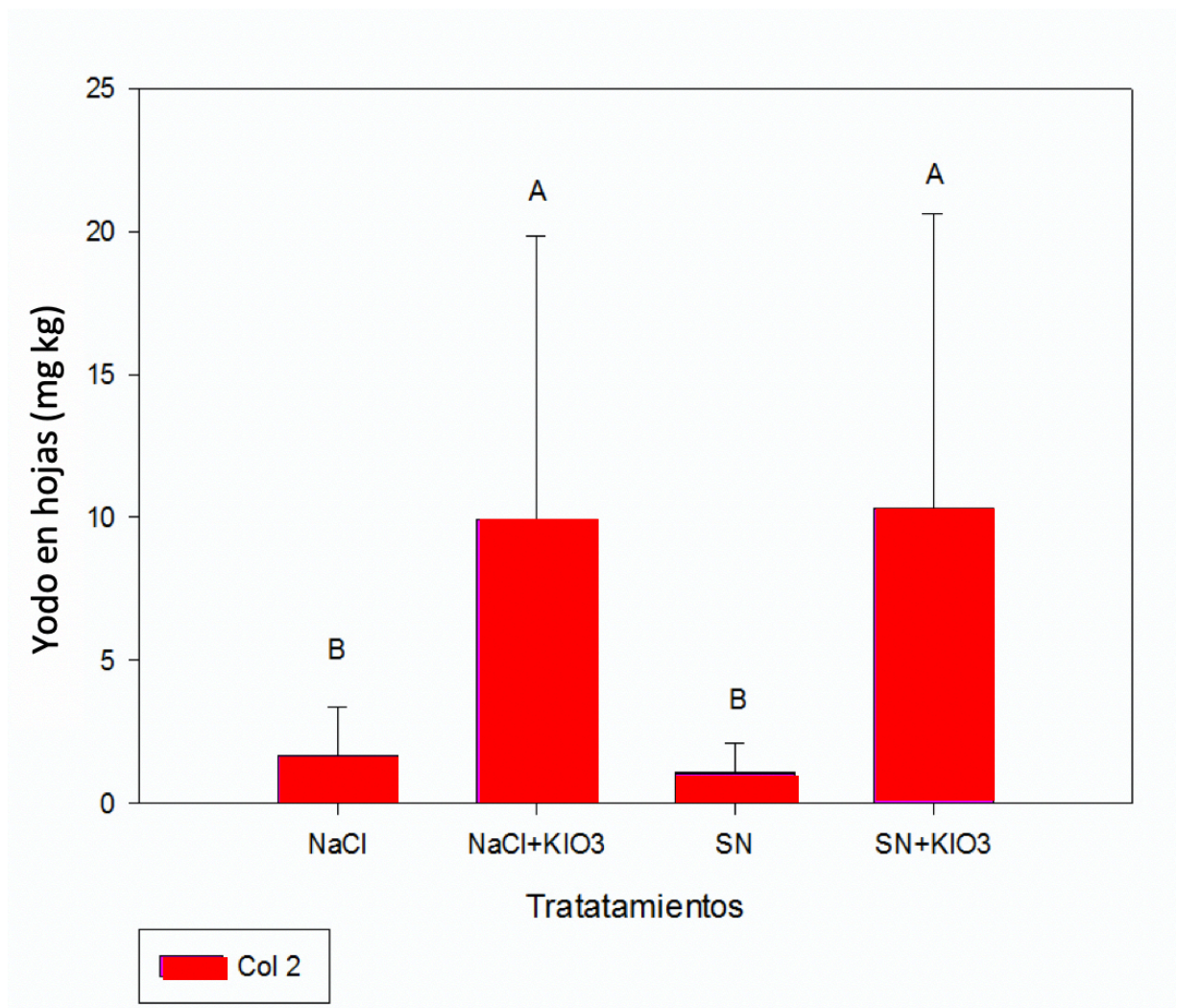


Figura 5. Contenido de yodo en hojas en tratamientos con y sin estrés de salinidad.

6.5 Cuantificación de Yodo en Fruto

En la Figura 6 se muestra que la aplicación de yodo aumentó el contenido de este elemento bajo condiciones normales, aumentando 0.61 veces en comparación con su testigo.

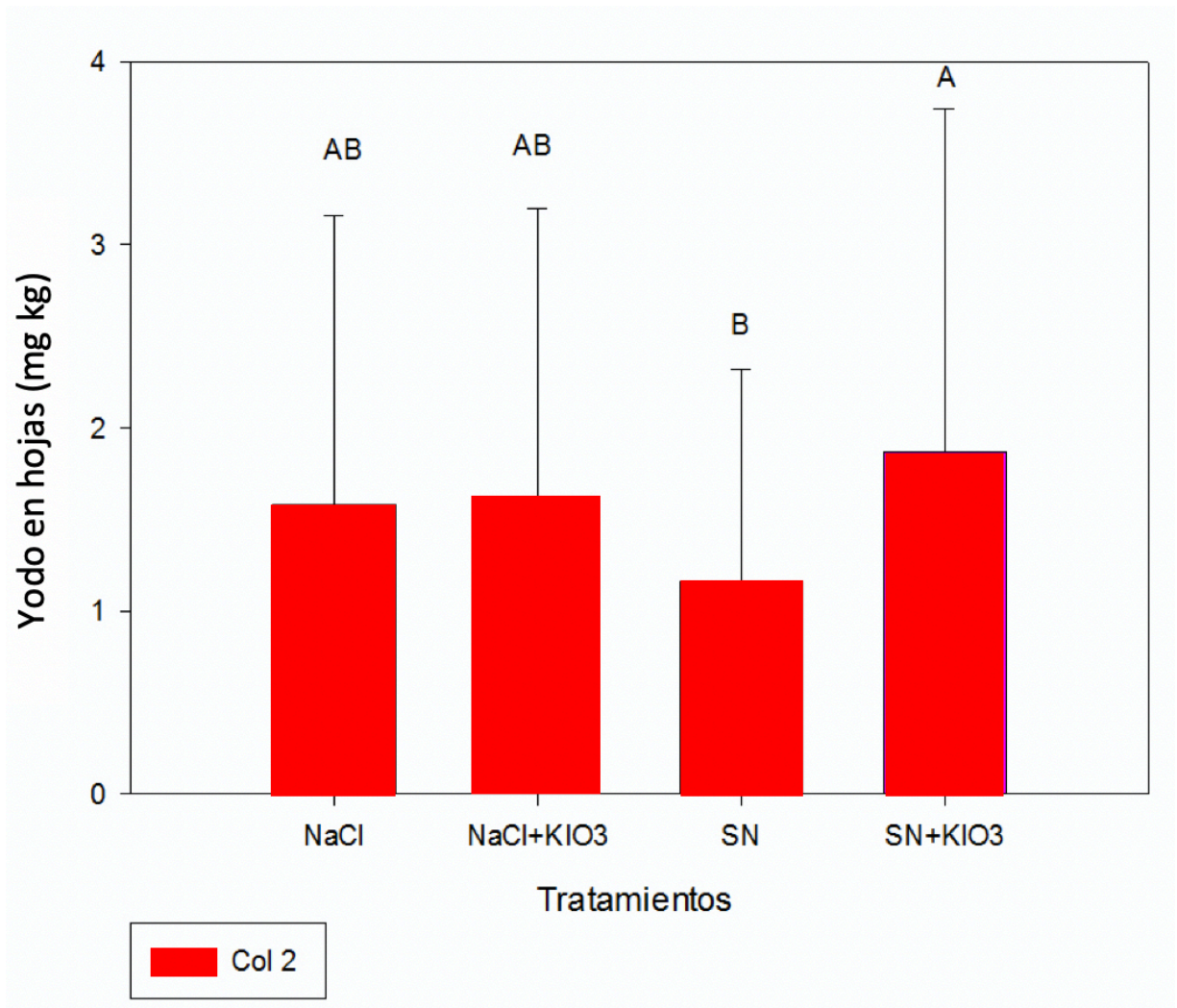


Figura 6. Contenido de yodo en fruto en tratamientos con y sin estrés de salinidad.

6.6 Análisis Enzimáticos.

6.6.1 Catalasa en Hoja

La aplicación de yodo bajo condiciones normales así como en condiciones de estrés por salinidad no modificó la actividad de la enzima catalasa, esto se logra observar en la Figura 7.

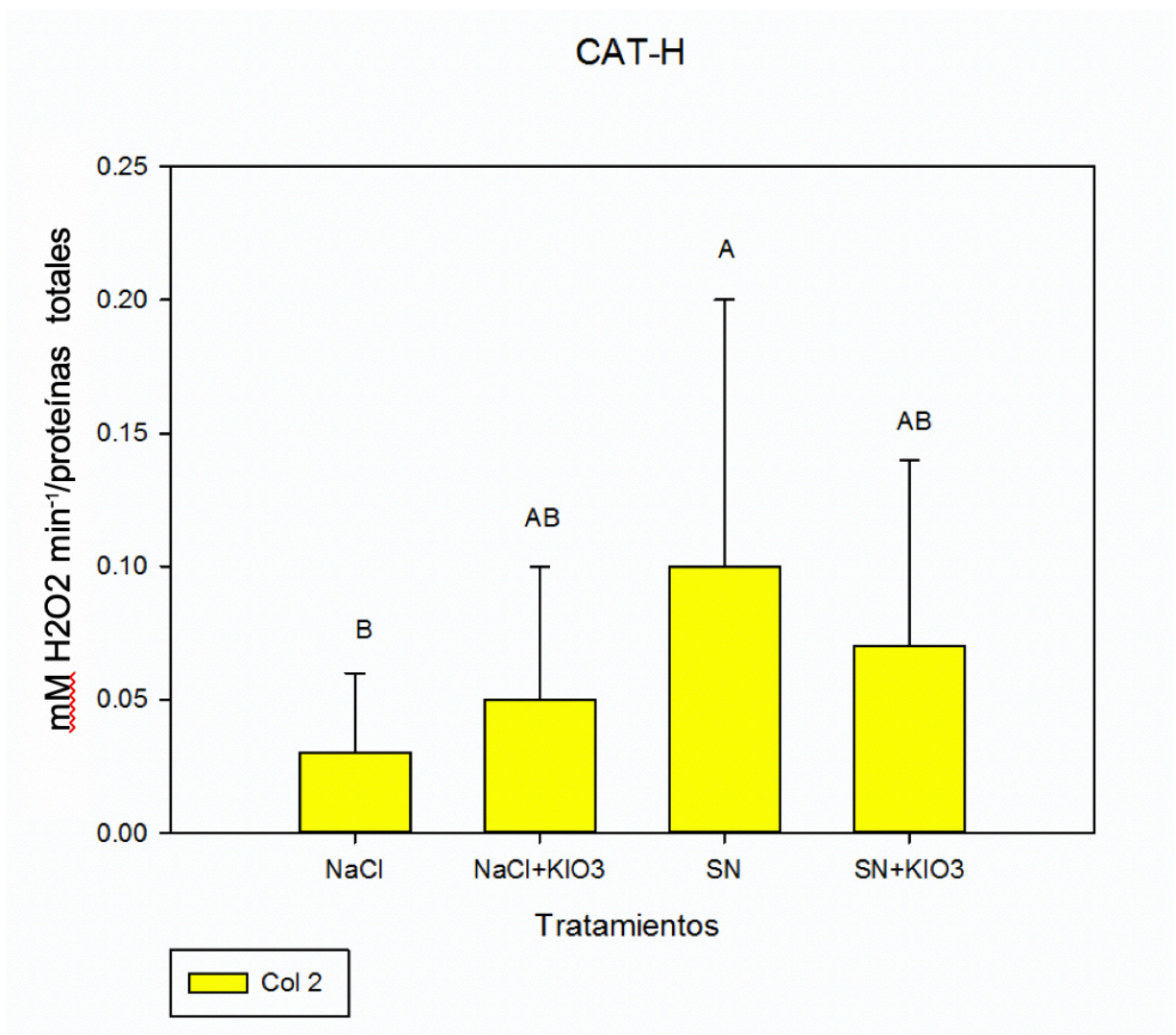


Figura 7. Actividad de la enzima catalasa con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en hoja de tomate.

6.6.2 Catalasa en Fruto

La Figura 8 muestra que no hubo diferencias estadísticamente significativas en ningún tratamiento sobre la actividad enzimática de la Catalasa en fruto.

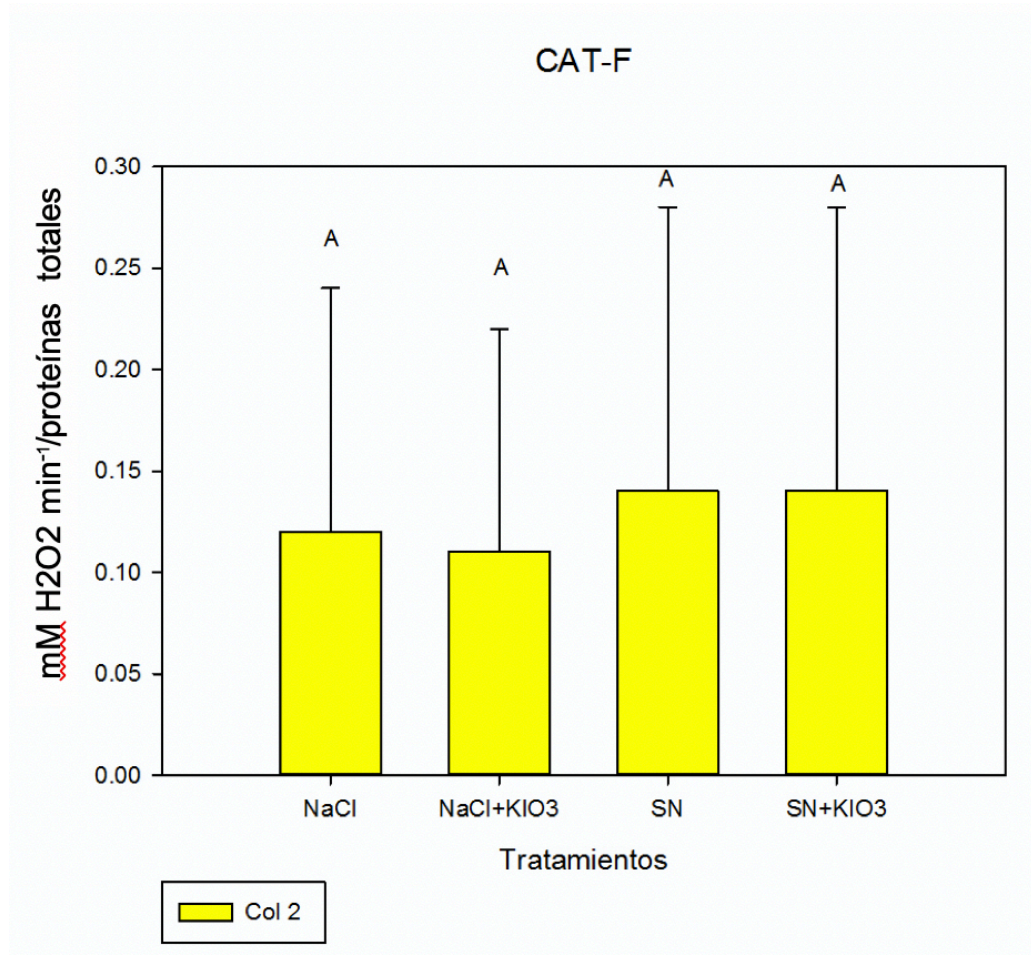


Figura 8. Actividad de la enzima catalasa con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en fruto de tomate.

6.6.3 Glutación Peroxidasa en Hoja.

Como se puede ver en la Figura 9 la actividad de la enzima glutatión peroxidasa en hoja mostró un aumento de 1.4 veces en comparación con el testigo, en el tratamiento de la aplicación de yodo bajo condiciones normales.

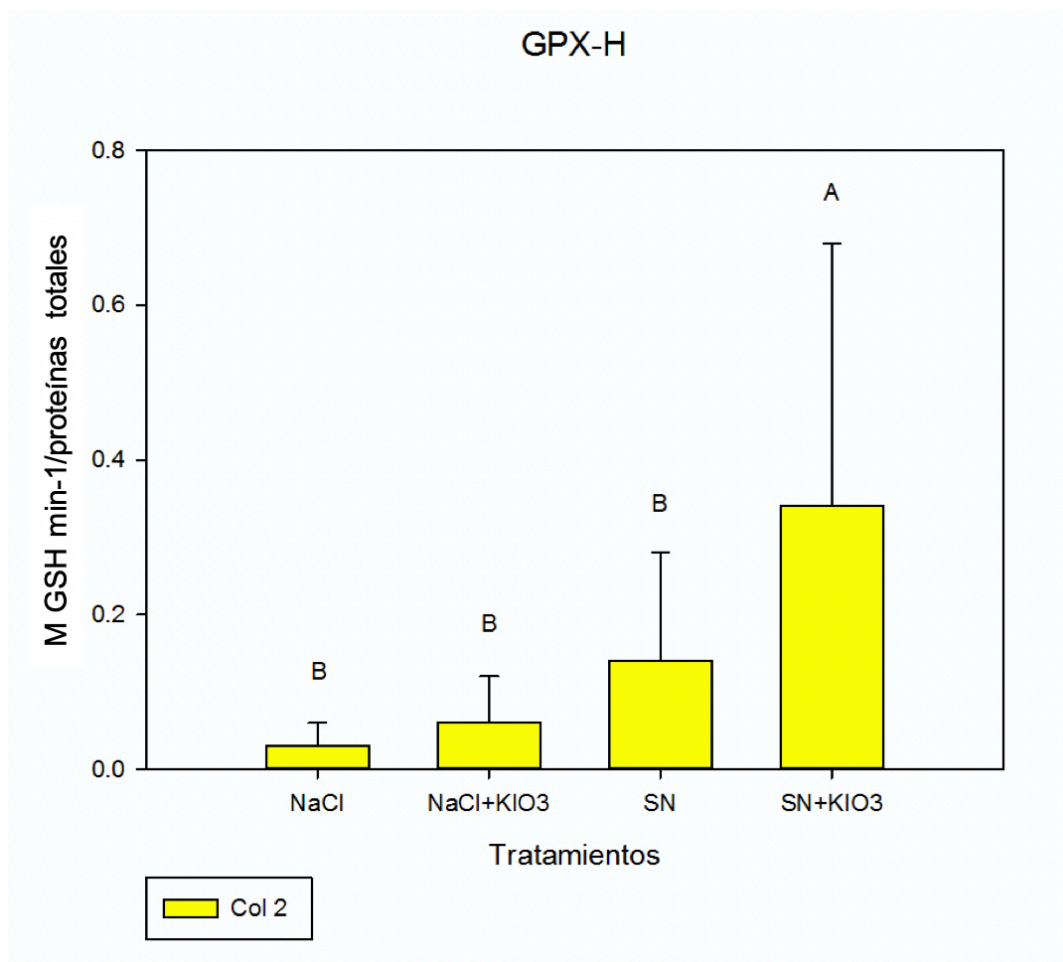


Figura 9. Actividad de la enzima glutatión peroxidasa con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en hoja de tomate.

6.6.4 Glutación Peroxidasa en Fruto.

En la Figura numero 10 se muestran dos grupos con diferencias estadísticas; con y sin estrés por salinidad, siendo el primer grupo los que evidenciaron una menor actividad, sin embargo, no se mostraron diferencias entre testigos y plantas tratadas.

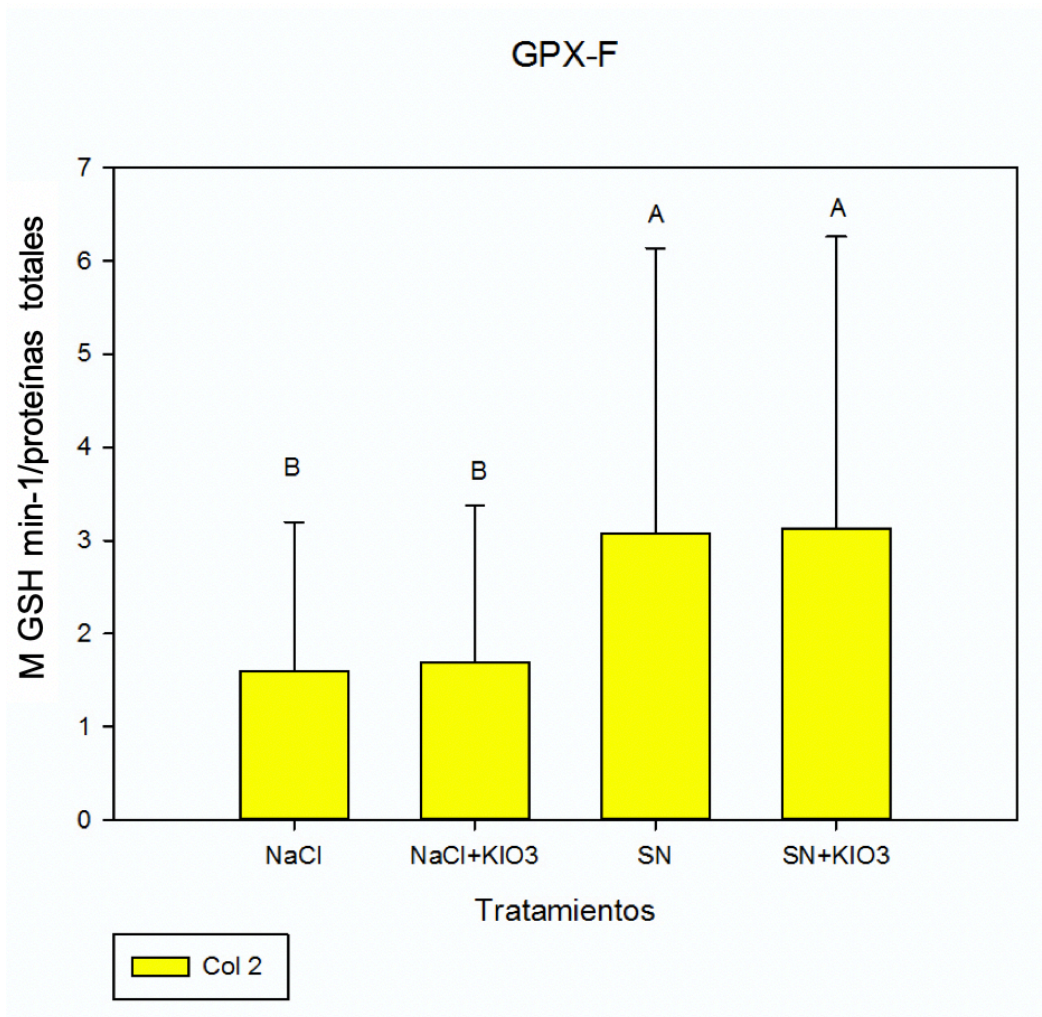


Figura 10. Actividad de la enzima glutatión peroxidasa con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en fruto de tomate.

6.6.5 Ascorbato Peroxidasa en Hoja.

En la actividad de Ascorbato Peroxidasa en hoja no se encontró ninguna diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos y condiciones de estrés, esto se observa en la Figura numero 11.

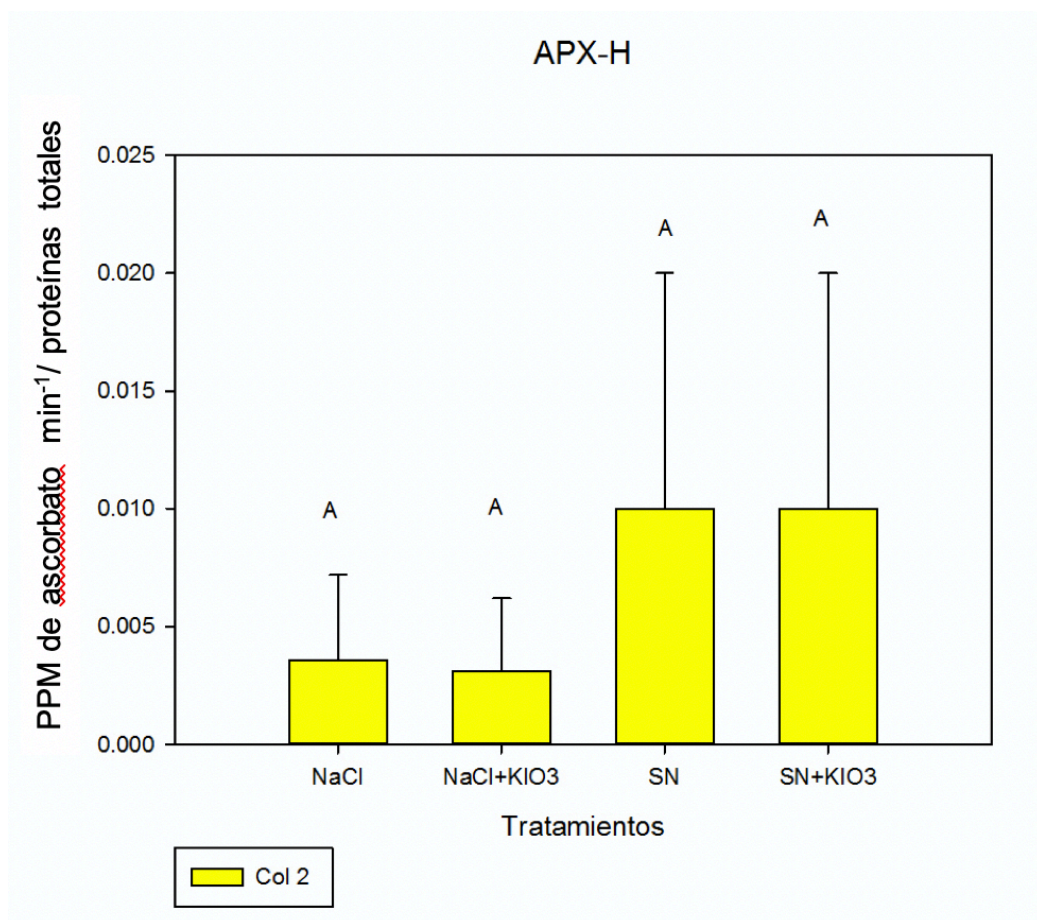


Figura 11. Actividad de la enzima ascorbato peroxidasa con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en hoja de tomate.

6.6.6 Ascorbato Peroxidasa en Fruto.

En la Figura numero 12 se muestra que el yodo no modificó la actividad del ascorbato peroxidasa en fruto, ya que no se mostró ninguna diferencia significativa entre tratamientos y condiciones.

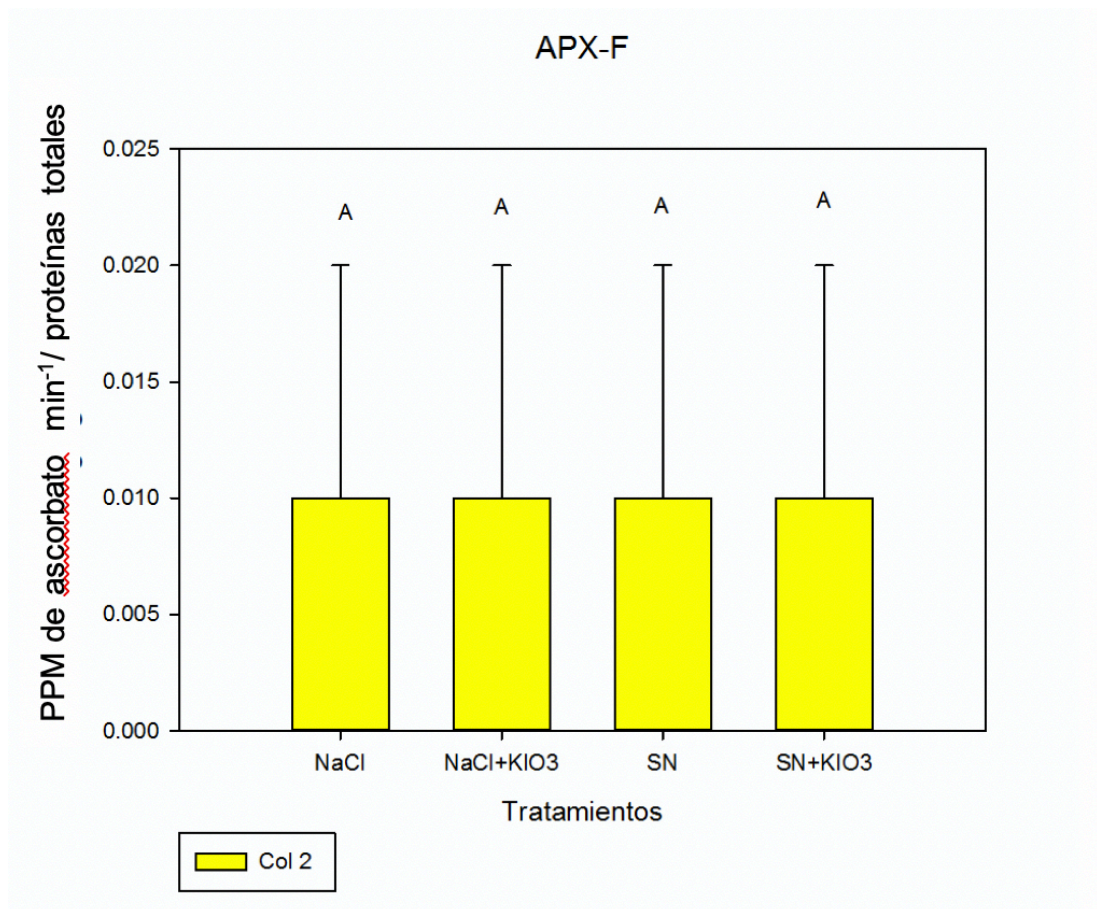


Figura 12. Actividad de la enzima ascorbato peroxidasa con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en fruto de tomate.

6.6.7 Superóxido Dismutasa en Hojas.

En el caso del superóxido dismutasa, en la Figura 13 se muestra que las aplicaciones de yodo no modificaron la actividad de la enzima SOD bajo condiciones normales, así como con estrés por salinidad, por lo tanto no hubo diferencia entre testigos y plantas tratadas.

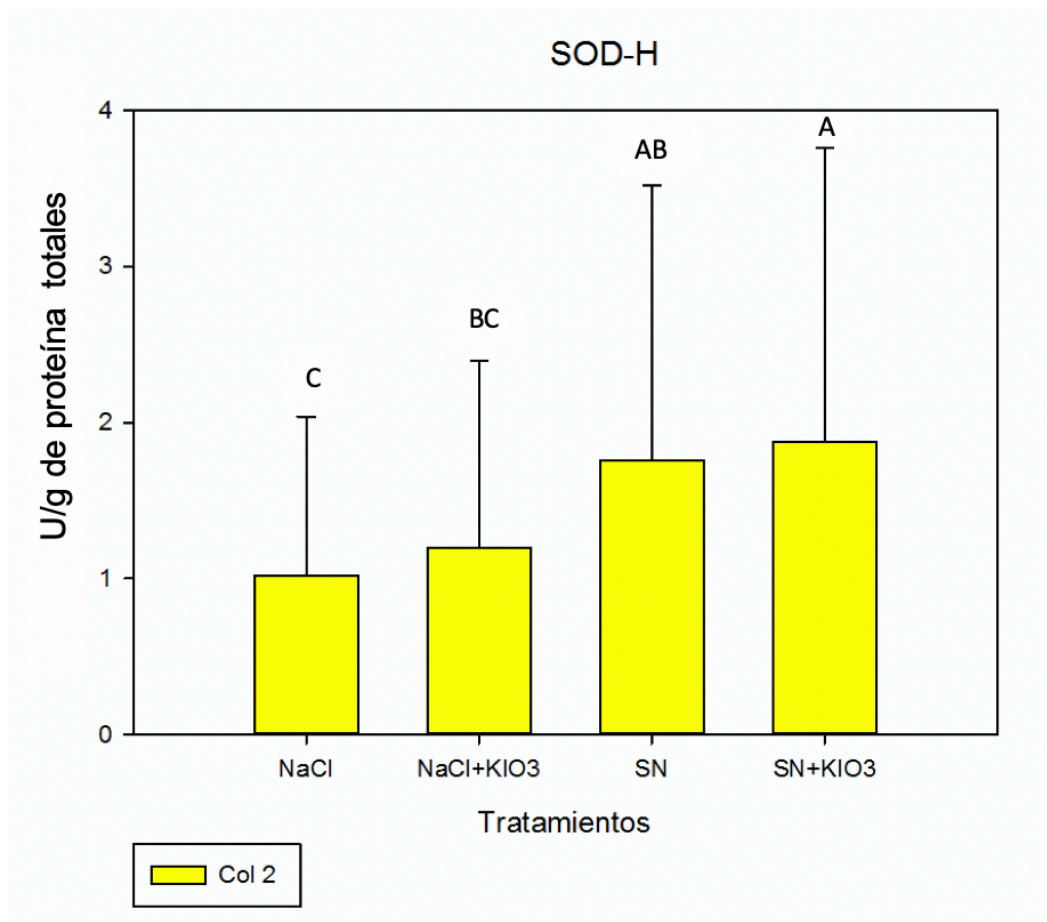


Figura 13. Actividad de la enzima superóxido dismutasa con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en hoja de tomate.

6.6.8 Superóxido Dismutasa en Fruto.

En la Figura 8 se muestra que la actividad de superóxido dismutasa no presentó ninguna diferencia estadísticamente significativa entre tratamientos y condiciones.

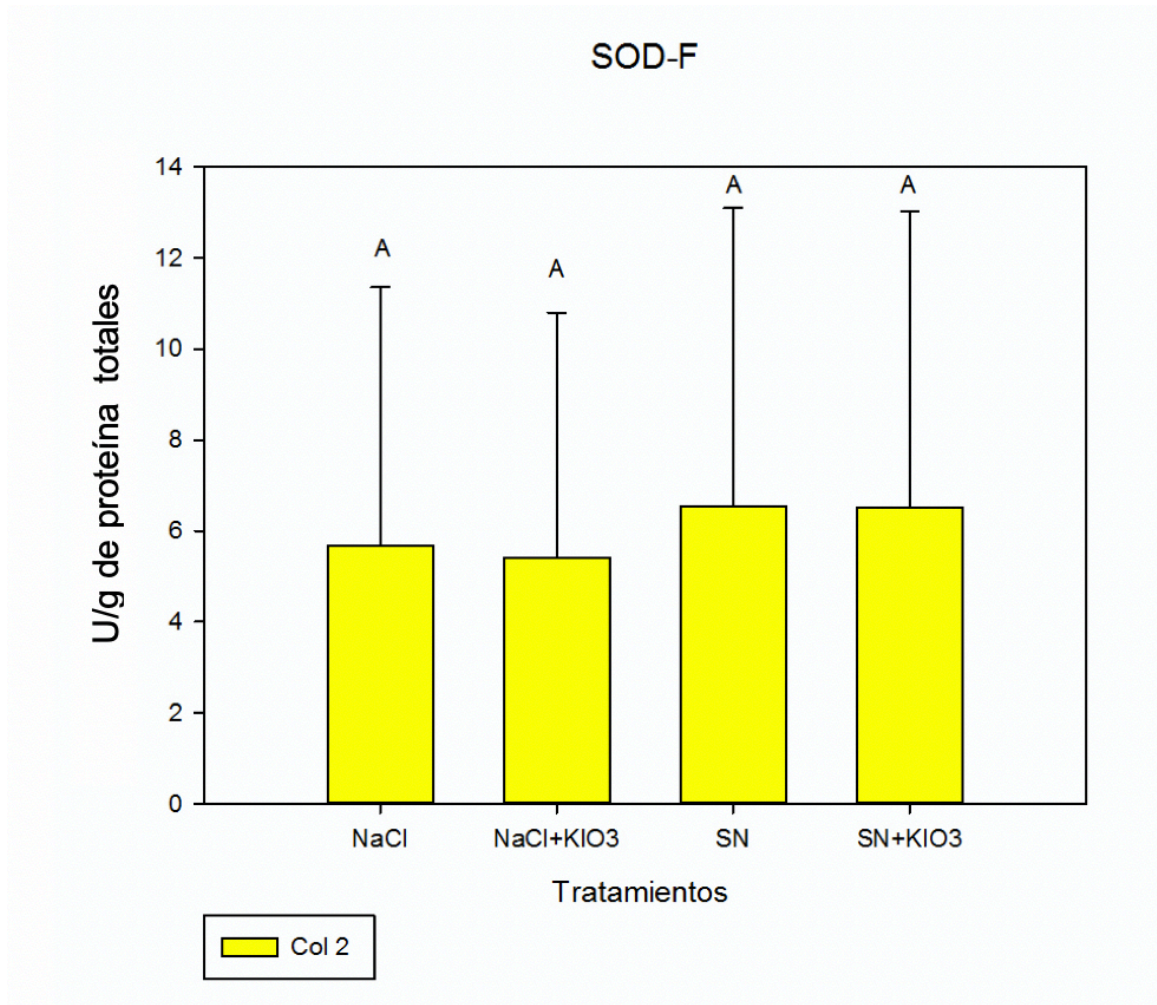


Figura 14. Actividad de la enzima superóxido dismutasa con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en fruto de tomate.

6.7 Análisis No enzimáticos.

6.7.1 Potencial Antioxidante en Hoja.

La Figura numero 15 nos muestra que el potencial antioxidante en hoja no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos y condiciones.

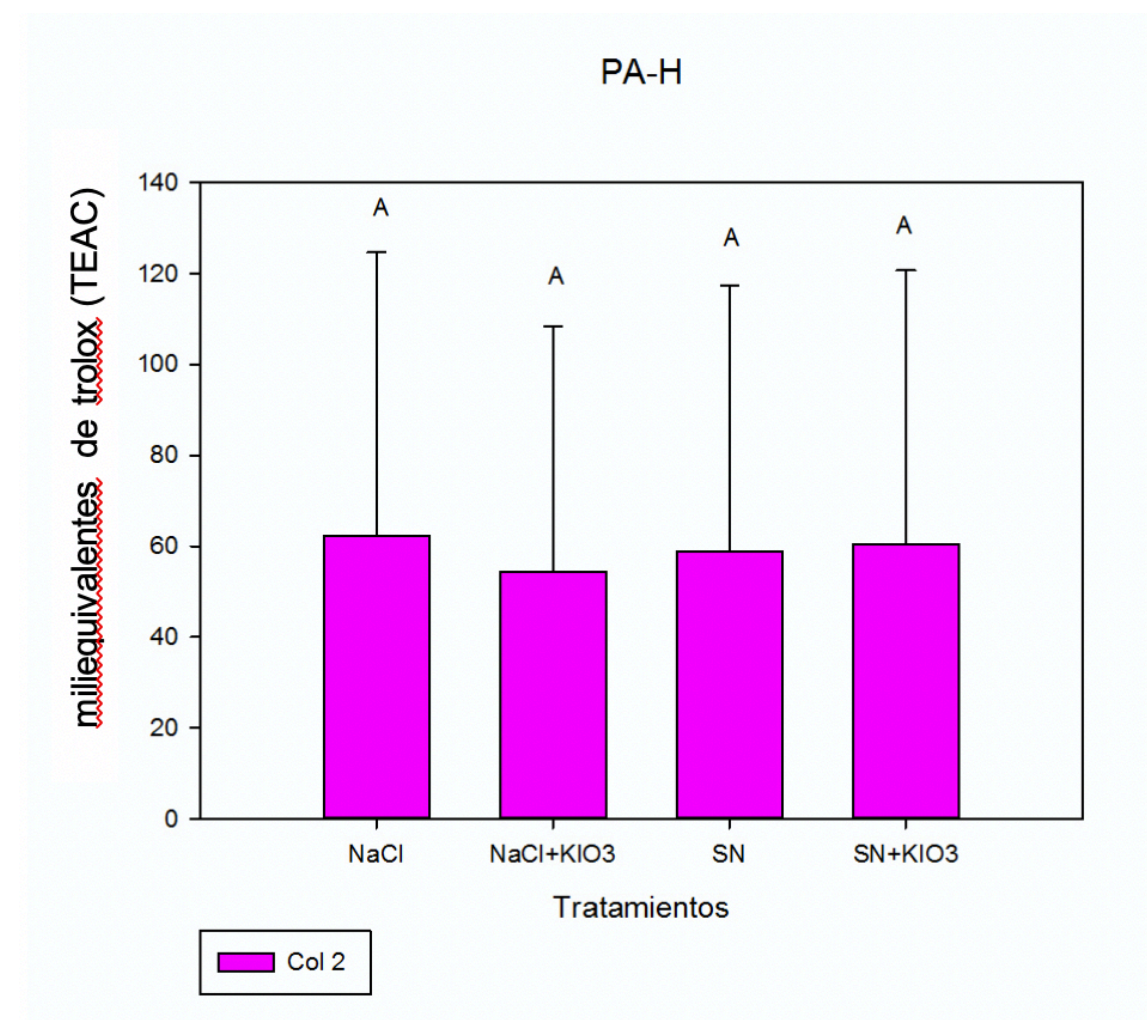


Figura 15. Potencial Antioxidante con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en hoja de tomate

6.7.2 Potencial Antioxidante en Fruto.

En la Figura número 16 se observa que hubo una reducción de 0.59 veces en comparación al testigo en la capacidad antioxidante dentro de las plantas que fueron tratadas con yodo y sometidas a estrés.

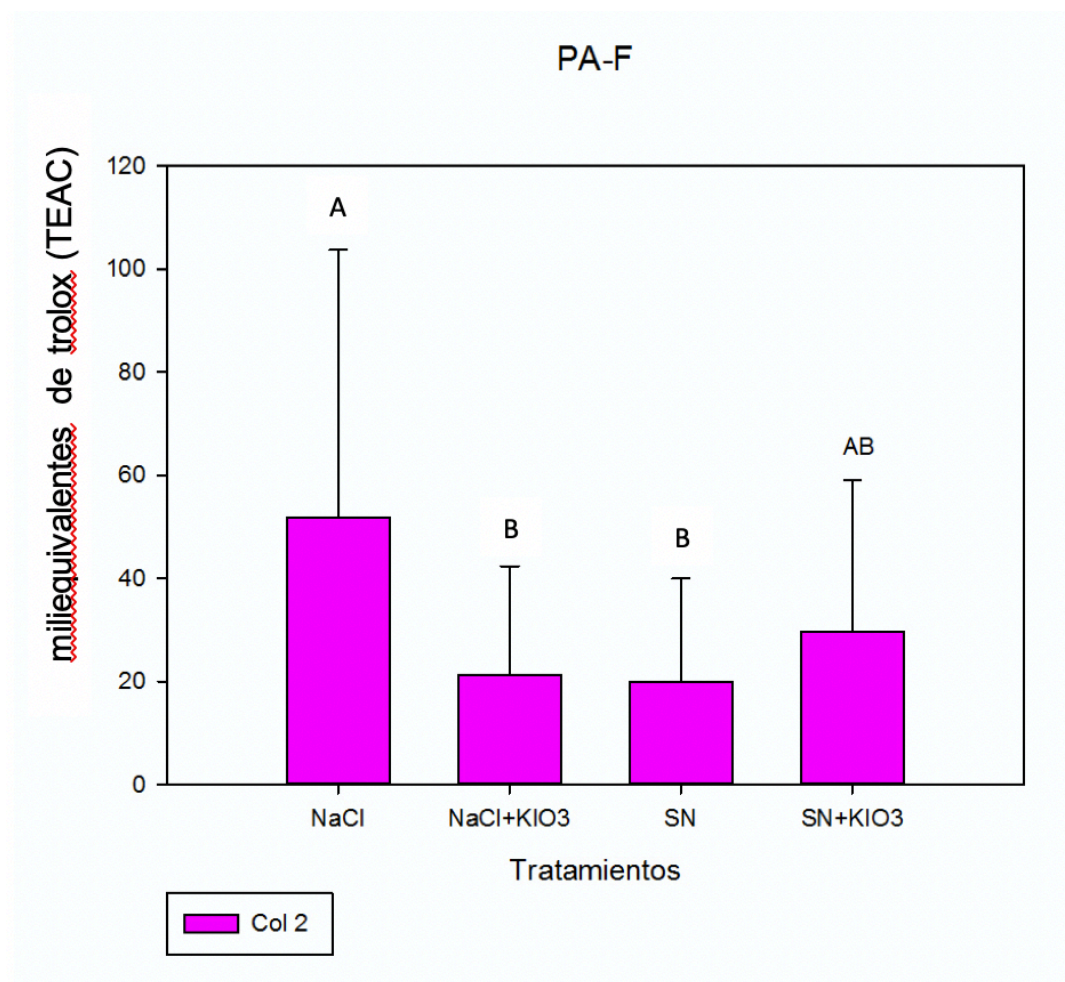


Figura 16. Capacidad Antioxidante con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en fruto de tomate.

6.7.3 Licopeno en Fruto.

En la Figura 17 se muestra que las aplicaciones de yodo provocaron una disminución de 0.76 veces en comparación al testigo, del contenido del licopeno cuando las plantas estaban sometidas a estrés por salinidad.

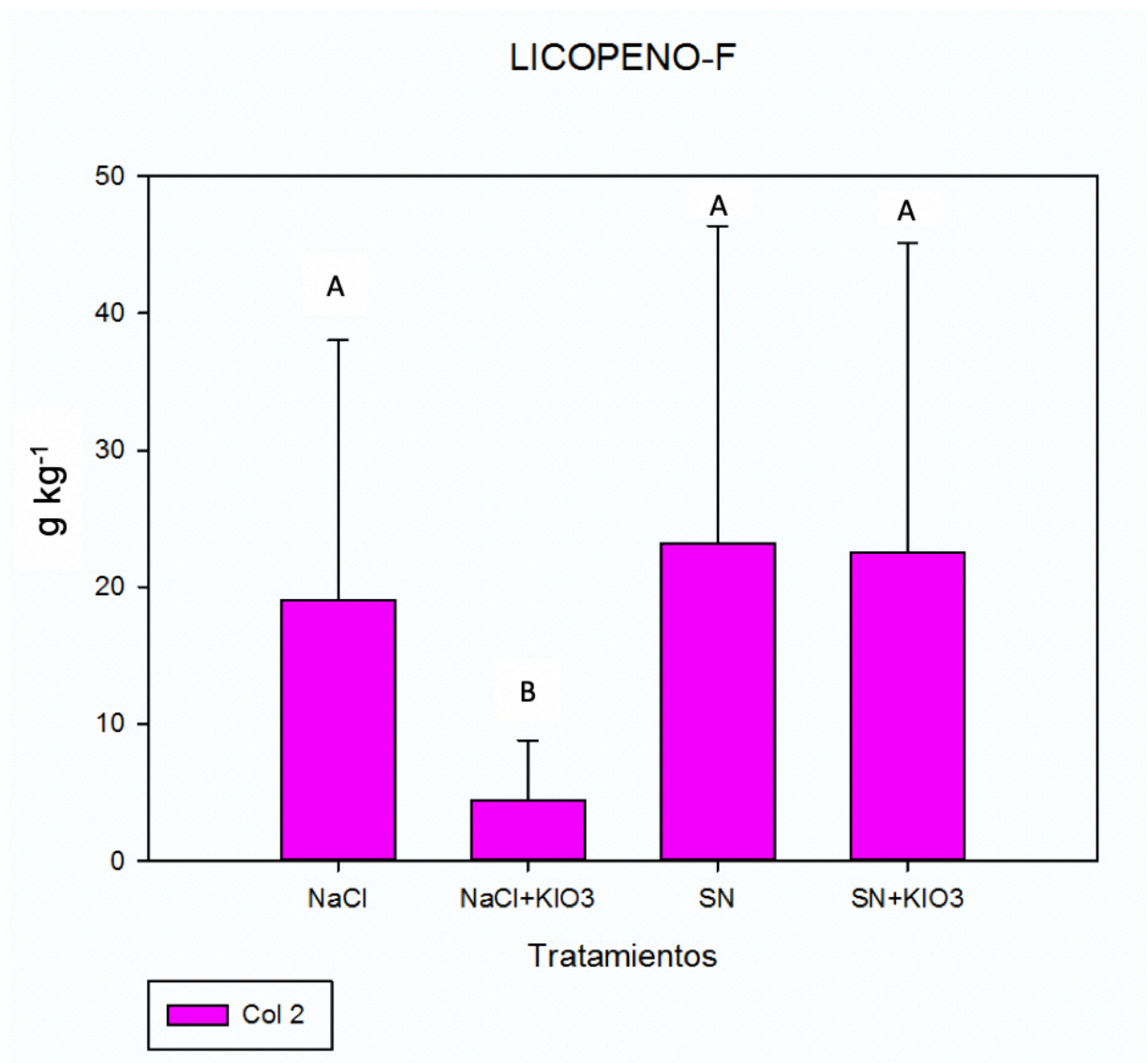


Figura 17. Contenido de Licopeno con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en fruto de tomate.

6.7.4 Acido Ascórbico en Hoja.

La Figura 18 muestra que el contenido de ácido ascórbico en hojas disminuyó en las plantas tratadas con yodo en comparación con su testigo, bajo condiciones de estrés. Por otro lado, no se encontró diferencias entre tratamientos y testigo en ausencia de estrés por salinidad.

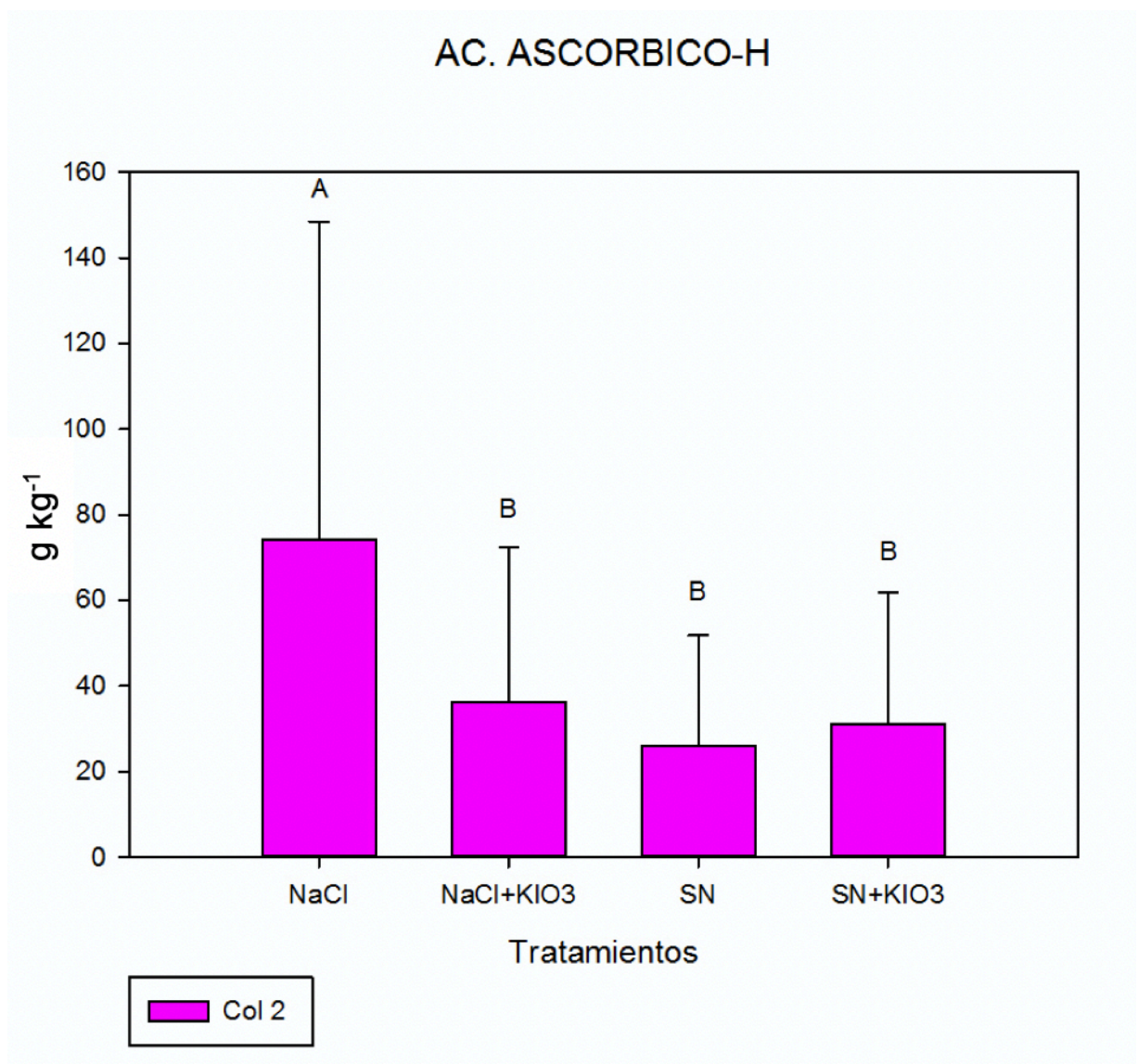


Figura 18. Contenido de Acido Ascórbico con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en hoja de tomate.

6.7.5 Acido Ascórbico en Fruto.

En la Figura 19 se muestra que las aplicaciones de yodo modificaron el contenido de ácido ascórbico bajo condiciones de estrés por salinidad, puesto que incrementó 0.6 veces en comparación al testigo, cuando se le aplicó yodo bajo condiciones de estrés por salinidad, siendo incluso igual que el ácido ascórbico encontrado en plantas bajo condiciones normales.

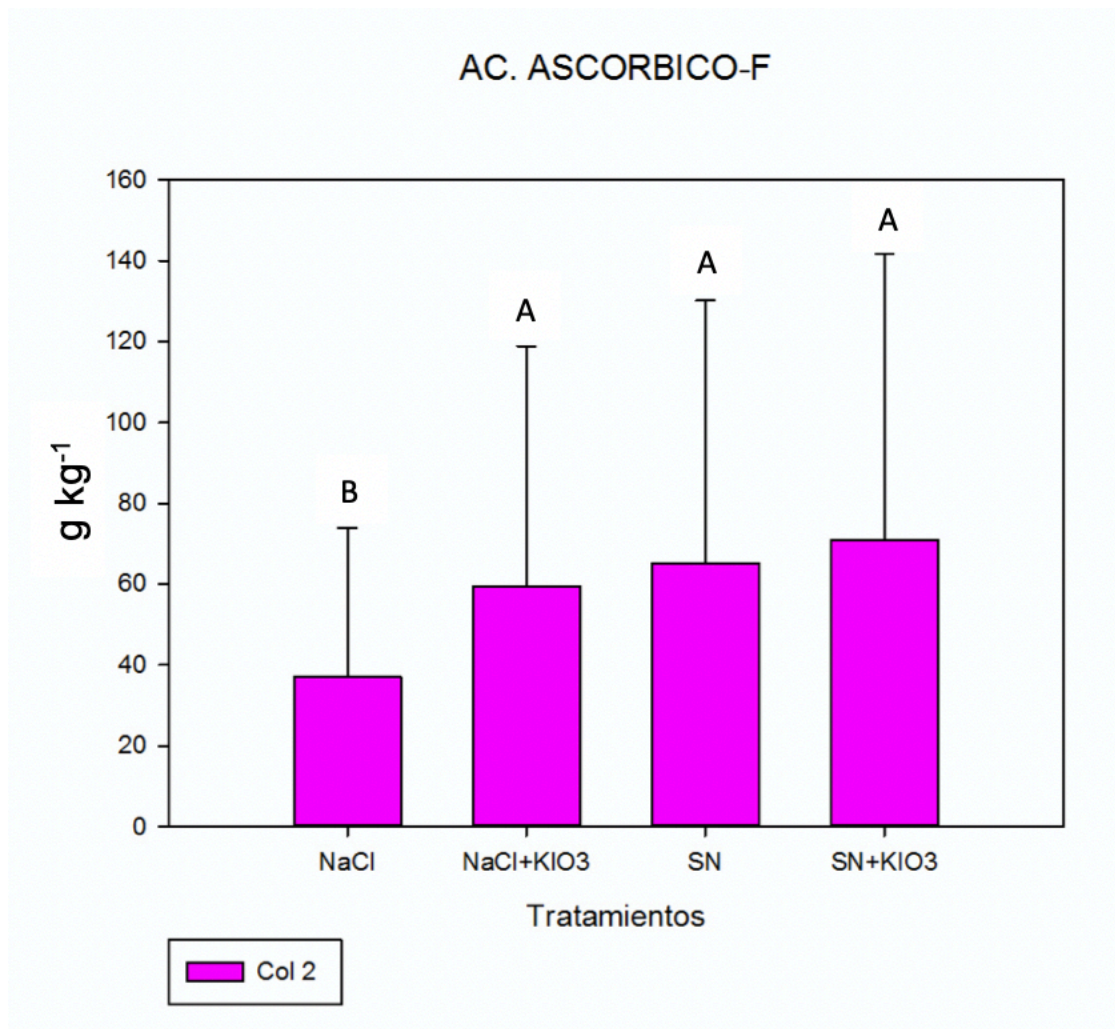


Figura 19. Contenido de Ácido Ascórbico con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en fruto de tomate.

6.7.6 Glutación Reducido en Hoja.

En la Figura numero 20 se muestra que las plantas control (SN) fueron las que evidenciaron el mayor contenido de Glutación reducido en las hojas y que inclusive se redujo 0.33 veces en comparación con el testigo, al aplicarle el yodo, sin estar sometido a estrés por salinidad.

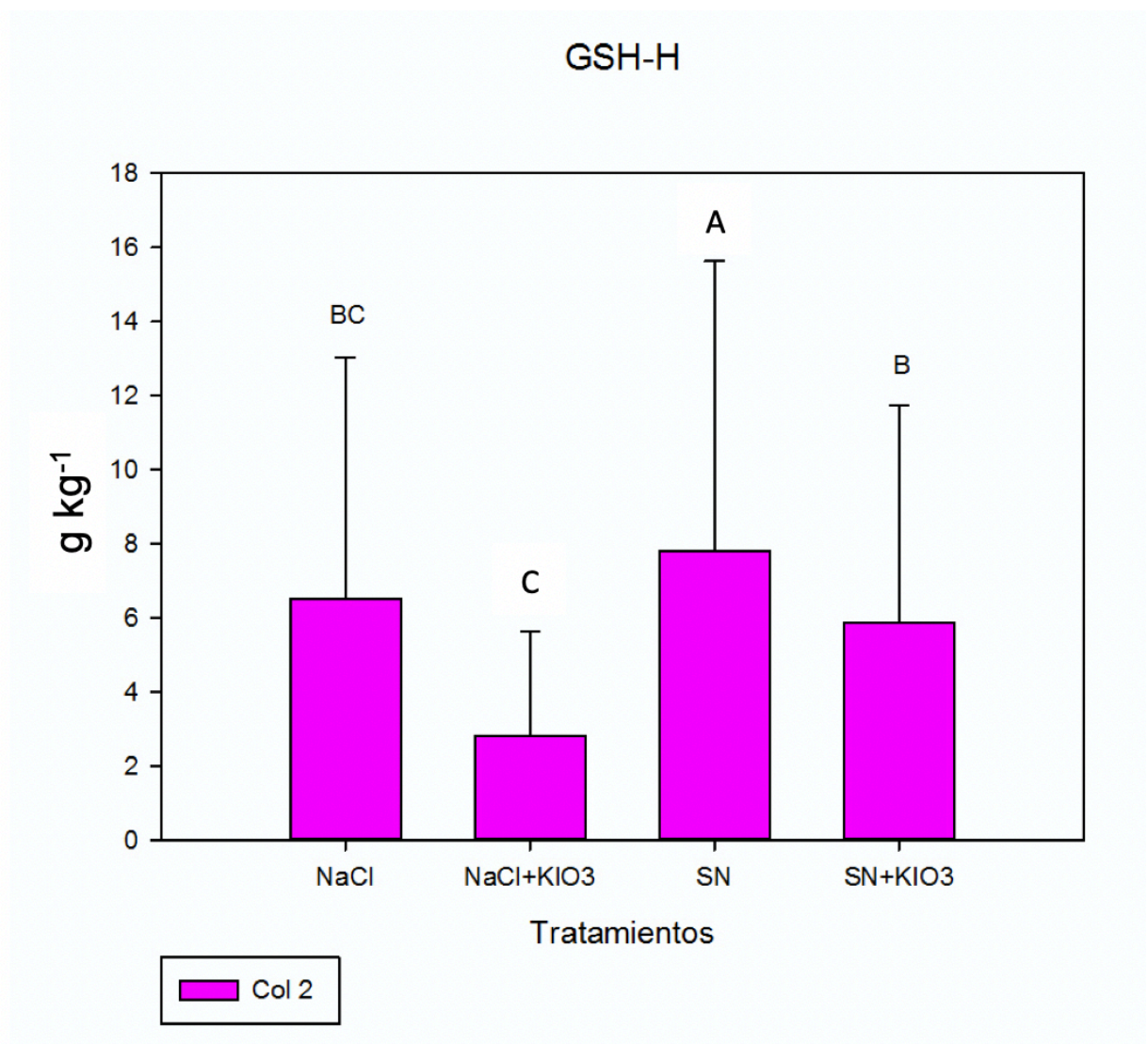


Figura 20. Contenido de Glutación Reducido con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en hoja de tomate.

6.7.7 Glutación Reducido en Fruto.

En la Figura 21 al contrario de la cantidad de Glutación reducido en Hojas, el contenido en fruto no presentó diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos y condiciones.

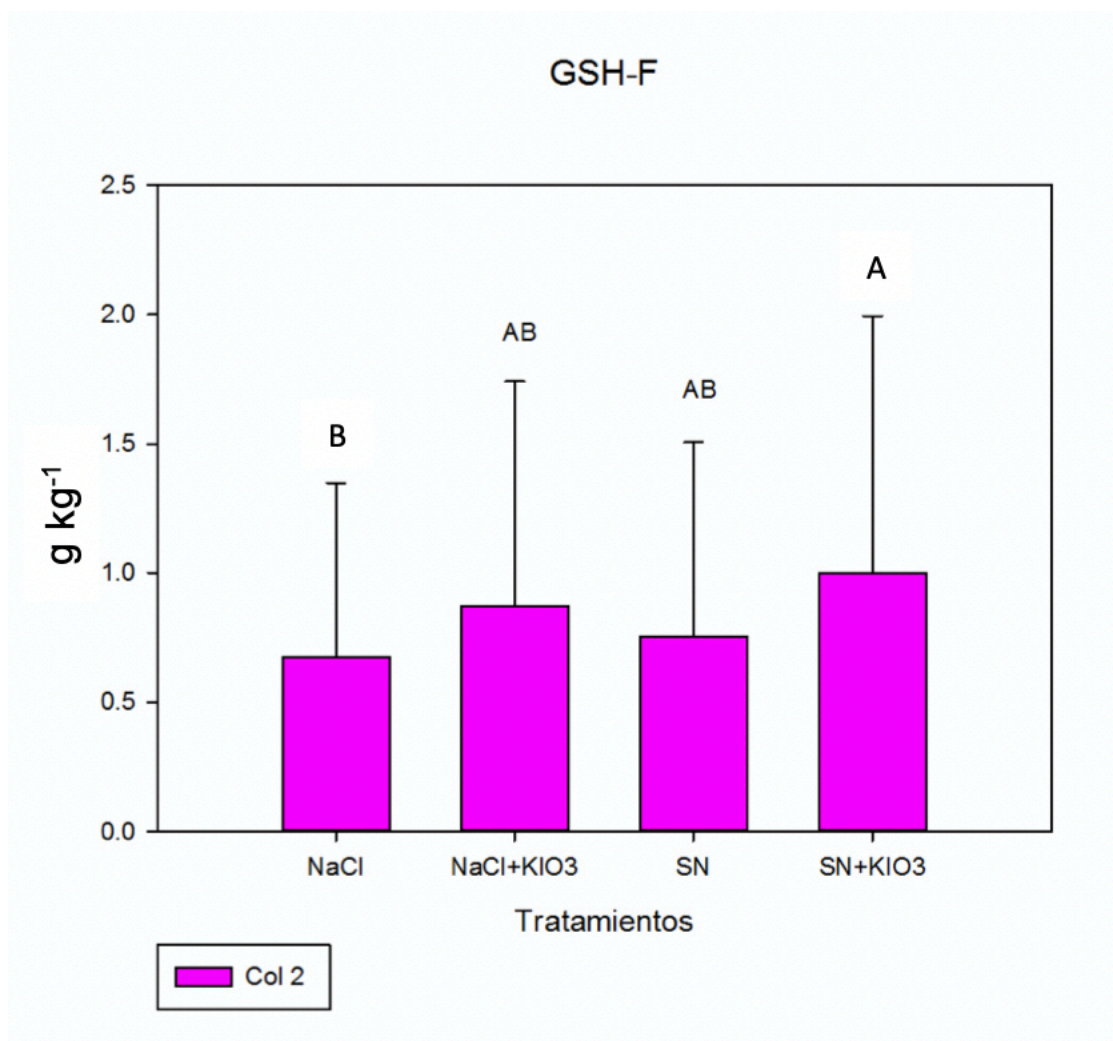


Figura 21. Contenido de Glutación Reducido con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en fruto de tomate.

6.7.8 Proteínas Totales en Hoja.

El contenido de las proteínas totales en las hojas fue mayor en los tratamientos sometidos a estrés con salinidad, con y sin aplicación de yodo, como se muestra en la Figura número 22.

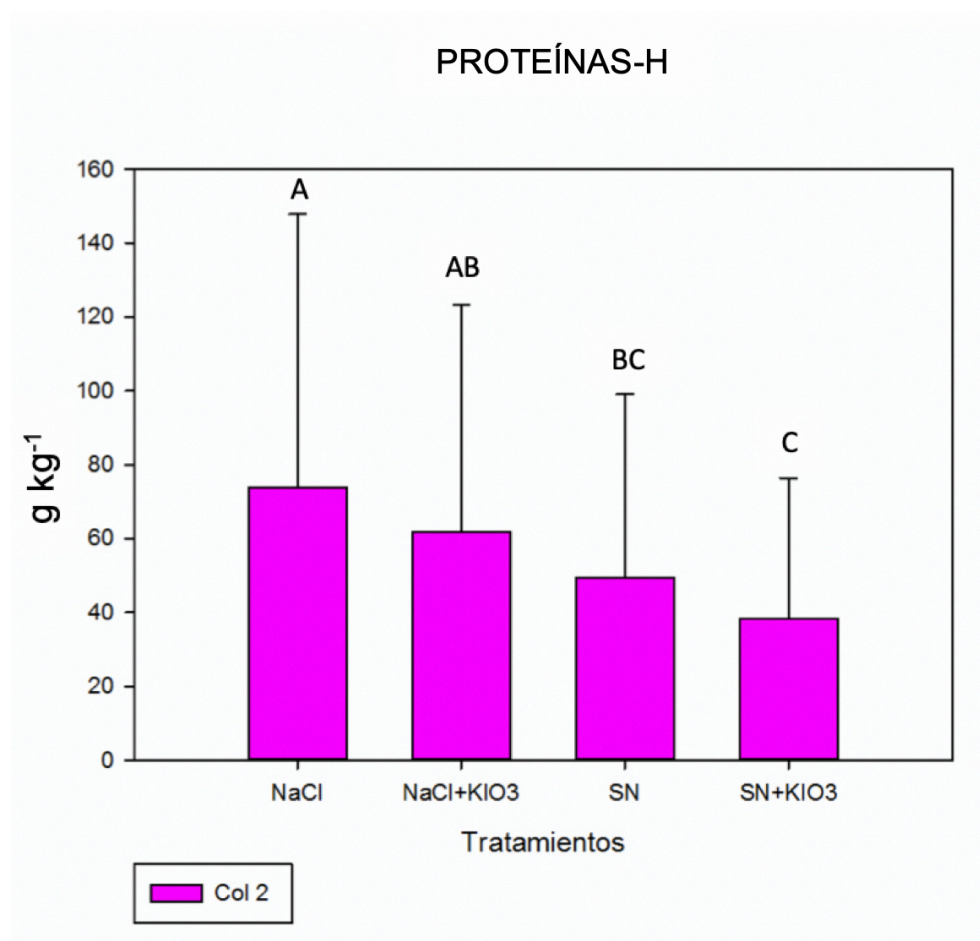


Figura 22. Contenido de Proteínas Totales con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en hoja de tomate.

6.7.9 Proteínas Totales en Fruto.

En la Figura numero 23 se muestra que no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre tratamientos y condiciones.

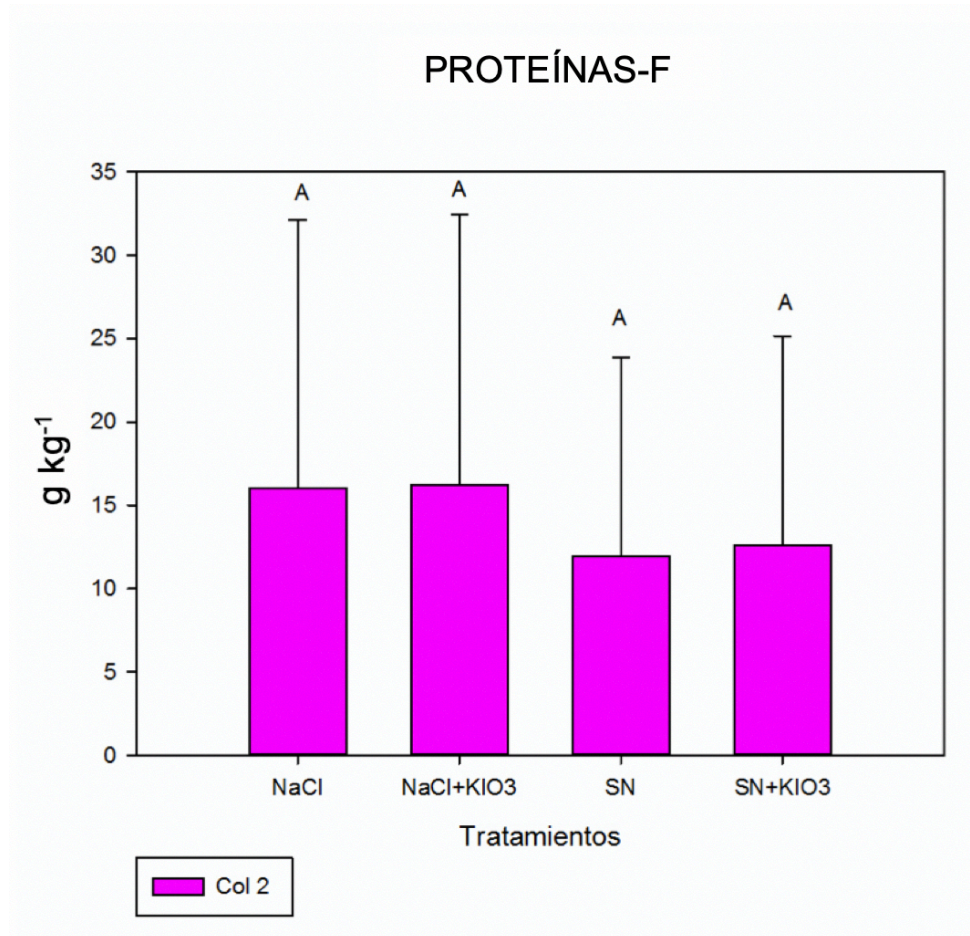


Figura 23. Contenido de Proteínas Totales con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en fruto de tomate.

6.7.10 Fenoles Totales en Hoja.

La Figura 24 muestra que para el contenido de fenoles totales en hoja no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las plantas tratadas con yodo y sus respectivos controles.

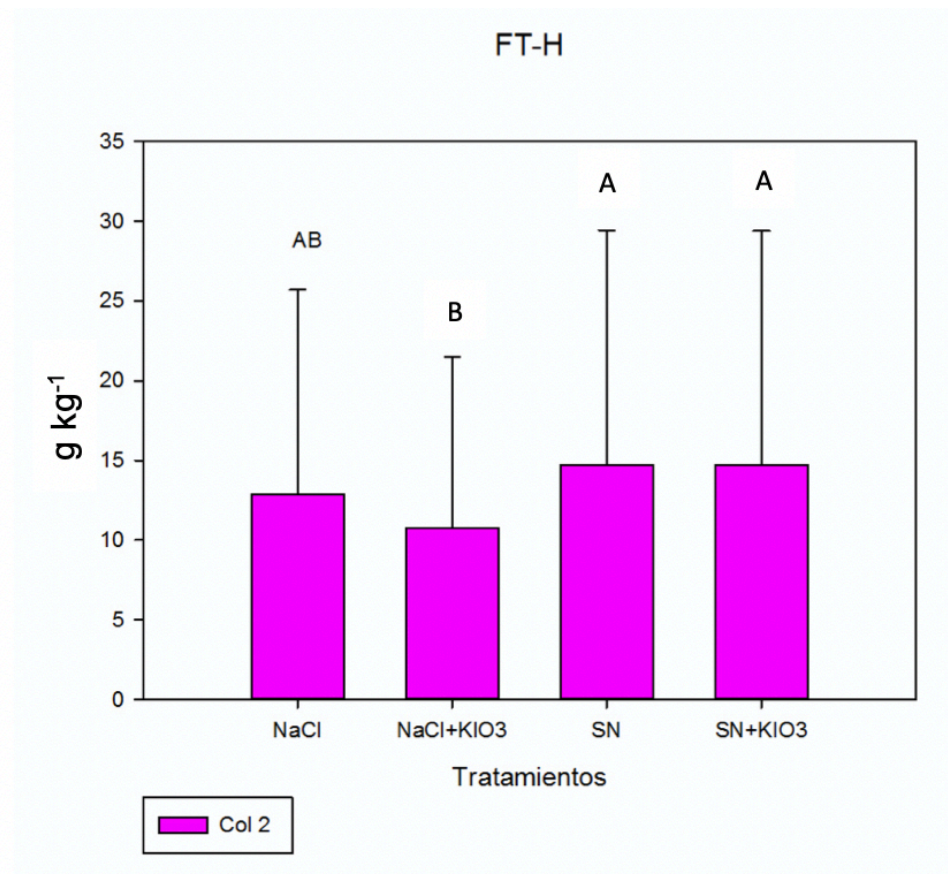


Figura 24. Contenido de Fenoles Totales con aplicación de yodo en tratamientos con y sin estrés de salinidad en hoja de tomate.

VII.DISCUSIÓN

7.1 Producción

Una planta sometida a condiciones adversas llega a mostrar diferentes deficiencias y/o desequilibrios metabólicos o nutrimentales. En el caso del estrés salino se logra afectar el crecimiento, desarrollo y producción de las mismas, a través de una alta concentración de iones potencialmente tóxicos. El sodio es el catión soluble que predomina en la mayoría de suelos y aguas salinas. La mayoría de cultivos exhiben una hipersensibilidad a los ambientes salinos ya que la acumulación de sodio intercelular es negativa en el metabolismo celular y puede reducir la productividad del cultivo significativamente (Cha-Um & Kirdmanee, 2009).

En la presente investigación la aplicación de yodo evitó una pérdida de producción de un 23% en las plantas sometidas a estrés en comparación con su testigo, también se pudo evidenciar que el yodo favoreció el número de frutos producidos tras la aplicación de yodo en ambas condiciones, ya que en el tratamiento con estrés salino el número de frutos fue 0.66 veces mayor a su testigo, y el tratamiento bajo condiciones normales aumentó 0.26 veces en comparación a su testigo.

El estrés por salinidad se evidenció con la reducción de la biomasa; la aplicación de yodo no logro evitar esa reducción de biomasa pero si evitó la reducción en la producción de frutos.

7.2 Antioxidantes

La formación de especies reactivas del oxígeno se inicia por la reducción univalente del oxígeno, o por la transferencia del exceso de energía de excitación al oxígeno. La transferencia de electrones, conduce a la generación del radical superóxido, peróxido de hidrogeno, o al radical hidroxilo, respectivamente (Vegetal et al., 2009).

Numerosos estudios indican que el daño oxidativo generado durante el estrés salino se debe al desequilibrio en la producción de radicales libres y a la alteración de la actividad antioxidante. Para evitar este daño causado por el estrés oxidativo, las plantas han desarrollado muchos sistemas antioxidantes; entre los enzimáticos, SOD constituye la primera línea de defensa, así como múltiples peroxidasas como la catalasa, glutatión y ascorbato peroxidasa como las principales (Gupta et al., 2015)

Por tal motivo en el presente trabajo de investigación se evaluó la actividad de estas enzimas con capacidad antioxidante tras la aplicación de yodo en forma de KIO_3 en hojas y frutos. Las evidencias indicaron que, de estas cuatro enzimas evaluadas, las que se encontraron en condiciones normales, independientemente si estaba tratada o no mostraron mayor actividad en la enzima glutatión peroxidasa en comparación con las que estaban sometidas a estrés, por lo tanto, tres de estas enzimas con actividad antioxidante no se vieron modificadas ni entre tratamientos ni entre condiciones.

El análisis de la actividad enzimática de GPX en hoja mostró un aumento significativo, aumentando 1.4 veces bajo condiciones normales (SN+ KIO_3), en comparación al testigo, el cual no tenía aplicación de yodo (SN).

Mientras que ninguno de los análisis enzimáticos en frutos mostró diferencias significativas entre plantas tratadas.

Se ha reportado que la aplicación de yodo, en forma de la especie química KIO_3 es favorable, especialmente para la síntesis de compuestos antioxidantes (Leyva, et al. 2011 ; Blasco, et al. 2013). Y esto probablemente suceda debido a que el yodo es una especie química que tiene múltiples estados REDOX, lo cual bajo algunas condiciones puede funcionar como un prooxidante o como un antioxidante (Venturi, 2011)

Se ha planteado la hipótesis 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 (Velasco, 2017).

Esta función del yodo fue probada en las algas marinas donde el elemento inactiva al superóxido (O_2^-), Hidroxilo (OH^\cdot), Singlete de oxígeno (1O_2) y al peróxido de hidrógeno (H_2O_2) (Kupper et al., 2008).

Los resultados obtenidos en el presente estudio fueron similares a los obtenidos en un experimento realizado en soja cultivadas en recipientes con tierra y composta, se encontró que el KIO_3 a concentraciones de 20, 40, y 80 μM aumentó las actividades enzimáticas de SOD (Gupta et al., 2015).

En otra investigación se encontró que a concentraciones mayores de 40 μM incrementó la actividad SOD (Leyva et al., 2011).

En un experimento en plantas de lechuga sometidas a estrés por salinidad, se observó un aumento en la concentración de las especies reactivas O_2^\cdot y H_2O_2 cuando las plantas se sometieron a 100 mM de NaCl (Leyva et al., 2011).

Adicionalmente, en los análisis de los antioxidantes no enzimáticos, se encontró una disminución en el potencial antioxidante en fruto en las plantas sometidas a estrés por salinidad y tratadas con yodo ($NaCl+KIO_3$), de 0.59 veces en comparación a su testigo (NaCl).

Las aplicaciones de yodo provocaron una reducción en condiciones de estrés por salinidad ($NaCl+KIO_3$), de 0.76 veces en el contenido de licopeno en comparación con su testigo (NaCl). De igual manera sucedió con el ácido ascórbico en hoja que disminuyó 0.51 veces en comparación a su testigo, caso contrario con el ácido ascórbico en fruto que en el tratamiento sometido a estrés con aplicaciones de yodo ($NaCl+KIO_3$) aumentó su contenido 0.6 veces en comparación con su testigo (NaCl).

El contenido de glutatión mostró una reducción en ambas condiciones en las plantas que fueron tratadas con yodo. La misma tendencia del glutatión se vio en el ácido ascórbico, es decir su testigo tuvo un mayor contenido que las tratadas, siendo estos iguales tratamientos y testigos bajo condiciones normales. Se llegó a reducir el

contenido de GSH 0.33 veces. Caso contrario a los resultados de varias investigaciones sobre la respuesta del yodo aplicada sobre plantas, una de ellas fue en plantas de soja sometidas a estrés por Cd^2 , las aplicaciones de yodo aumentaron un 21% en comparación a su testigo el contenido de GSH (N. Gupta et al., 2015).

En el caso de las proteínas totales, su contenido fue mayor en los tratamientos sometidos a estrés por salinidad con y sin aplicación de yodo, esto solamente es el caso de las hojas, ya que en frutos no se mostró ninguna diferencia entre tratamientos y condiciones.

VIII.CONCLUSIÓN

En el presente trabajo de investigación, la aplicación de yodo no logró evitar la reducción de la biomasa pero si evitó la reducción de la producción de fruto bajo condiciones de estrés por salinidad.

También se logró concluir que la aplicación de yodo provocó un incremento en la actividad enzimática GPX en hojas, bajo condiciones normales; mientras que en los antioxidantes no enzimáticos el yodo provocó una disminución en el PA y licopeno, dentro del fruto, en las plantas sometidas a estrés por salinidad y en el caso de las hojas el ácido ascórbico, también se vio disminuido.

Sin embargo, el yodo aumento el ácido ascórbico en frutos bajo estrés por salinidad y el GSH en condiciones normales.

IX. BIBLIOGRAFIA

- Blasco, B., Rios, J. J., Cervilla, L. M., Sánchez-Rodríguez, E., Ruiz, J. M., & Romero, L. (2008). Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: Potential benefits for cultivation and human health. *Annals of Applied Biology*, 152(3), 289–299. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7348.2008.00217.x>
- Blasco León, B. (2010). *Biofortificación con yodo en plantas de lechuga (Lactuca Sativa L.) implicaciones fisiológicas y nutricionales*. Editorial de la Universidad de Granada.
- 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>
- Cha-Um, S., & Kirdmanee, C. (2009). EFFECT OF SALT STRESS ON PROLINE ACCUMULATION, PHOTOSYNTHETIC ABILITY AND GROWTH CHARACTERS IN TWO MAIZE CULTIVARS. In *Pak. J. Bot* (Issue 1).
- Connor, A. M., Finn, C. E., & Alspach, P. A. (2005). Genotypic and Environmental Variation in Antioxidant Activity and Total Phenolic Content among Blackberry and Hybridberry Cultivars. In *J. AMER. SOC. HORT. SCI* (Vol. 130, Issue 4).
- Cortés-Flores, C., Nieves Rodríguez-Mendoza, M., Benavides-Mendoza, A., Luis García-Cué, J., Tornero-Campante, M., & Sánchez-García, P. (2016). *EL YODO AUMENTA EL CRECIMIENTO Y LA CONCENTRACIÓN DE MINERALES EN PLÁNTULAS DE PIMIENTO MORRÓN*.
- F.C Küpper, N. S. ,E. A. G. ,J.-M. L. ,H. V. yB. K. (1998). *Iodine uptake in Laminariales involves extracellular, haloperoxidase-mediated oxidation of iodide*.
- Fuge, R. (1996). *Geochemistry of iodine in relation to iodine deficiency diseases*. <http://sp.lyellcollection.org/>
- Goykovic V, & Saavedra G. (2007). *SOME EFFECTS OF SALINITY ON THE TOMATO CULTIVARS AND AGRONOMIC PRACTICES IN ITS MANAGING*.
- Gupta, N., Shukla Bajpai, M., Singh Majumdar, R., & Mishra, P. K. (2015a). Response of Iodine on Antioxidant Levels of Glycine max L. Grown under Cd Stress 2+. *Advances in Biological Research*, 9(1), 40–48. <https://doi.org/10.5829/idosi.abr.2015.9.1.9183>
- Gupta, N., Shukla Bajpai, M., Singh Majumdar, R., & Mishra, P. K. (2015b). Response of Iodine on Antioxidant Levels of Glycine max L. Grown under Cd Stress 2+. *Advances in Biological Research*, 9(1), 40–48. <https://doi.org/10.5829/idosi.abr.2015.9.1.9183>
- Gupta, P., Srivastava, J., Zaidi, Z., & Srivastava, M. (2015). A study to assess the iodine deficiency disorder and salt consumption pattern in Lucknow. *International Journal of Community Medicine and Public Health*, 2(1), 29. <https://doi.org/10.5455/2394-6040.ijcmph20150207>

- Juroszek, P., Lumpkin, H. M., Yang, R. Y., Ledesma, D. R., & Ma, C. H. (2009). Fruit quality and bioactive compounds with antioxidant activity of tomatoes grown on-farm: Comparison of organic and conventional management systems. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 57(4), 1188–1194. <https://doi.org/10.1021/jf801992s>
- Küpper, F. C., Carpenter, L. J., Mcfiggans, G. B., Palmer, C. J., Waite, T. J., Boneberg, E.-M., Woitsch, S., Weiller, M., Abela, R., Grolimund, D., Potin, P., Butler, A., Iii, G. W. L., Kroneck, P. M. H., Meyer-Klaucke, W., & Feiters, M. C. (2008). *Iodide accumulation provides kelp with an inorganic antioxidant impacting atmospheric chemistry*. www.pnas.org/cgi/content/full/
- 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>
- Martínez-Damián, M. T., Cano-Hernández, R., del Carmen Moreno-Pérez, E., del Castillo, F. S., & Cruz-Álvarez, O. (2018). Effect of preharvest growth bioregulators on physicochemical quality of saladette tomato. *Revista Chapingo, Serie Horticultura*, 25(1), 29–43. <https://doi.org/10.5154/r.rchsh.2018.06.013>
- Mata-Fernández I, 1Rodríguez-Gamiño, ML, 2López-Blanco J, 1Vela-Correa G. (2014). *Dinámica de la Salinidad en los Suelos*.
- Munns, R., & Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. In *Annual Review of Plant Biology* (Vol. 59, pp. 651–681). <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Muramatsu, Y., & Yoshida, S. (1999). Effects of microorganisms on the fate of iodine in the soil environment. *Geomicrobiology Journal*, 16(1), 85–93. <https://doi.org/10.1080/014904599270776>
- Organización Mundial de la Salud. (2014). *Organización Mundial de la Salud*.
- Padilla Arzaluz, L. S. (2017). *VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA SALINIDAD EN SUELOS DEL DISTRITO DE RIEGO 014, MEXICALI BAJA CALIFORNIA*.
- Romarís-Hortas, V., García-Sartal, C., Barciela-Alonso, M. del C., Domínguez-González, R., Moreda-Piñeiro, A., & Bermejo-Barrera, P. (2011). Bioavailability study using an in-vitro method of iodine and bromine in edible seaweed. *Food Chemistry*, 124(4), 1747–1752. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.07.117>
- Rosenfeld, L. (2000). *Chemistry for Everyone*.
- Santiago E. (2019). "APLICACIÓN DE COMPUESTOS YODADOS PARA LA BIOFORTIFICACIÓN".
- Tanwar, B. S. (2003). *Saline Water Management for Irrigation Work Team on Use of Poor Quality Water for Irrigation (WT-PQW) International Commission on Irrigation and Drainage (ICID) New Delhi, India*.
- Terry Berro, B. (2008). *Naturaleza, severidad y situación actual de los desórdenes por deficiencia de yodo Nature, severity and present situation of disorders caused by iodine deficiency*.

- Toor, R. K., & Savage, G. P. (2005). Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Research International*, 38(5), 487–494. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2004.10.016>
- Vegetal, P., Franco, J., Bianchi, G., Feed, O., Garibotto, G., Ballesteros, F., Bentancur, O., Carrere, M., & Chiruchi, J. (2009). *Sumario*.
- VELASCO E. (2017). “*APLICACIÓN DE COMPUESTOS YODADOS PARA LA BIOFORTIFICACIÓN DE HORTALIZAS.*”
- Venturi, S. (2011). Evolutionary Significance of Iodine. In *Current Chemical Biology* (Vol. 5).
- White, P. J., & Broadley, M. R. (2005). Biofortifying crops with essential mineral elements. In *Trends in Plant Science* (Vol. 10, Issue 12, pp. 586–593). <https://doi.org/10.1016/j.tplants.2005.10.001>
- Yun, H.-N. (2001). *Antioxidantes de los alimentos Aplicaciones prácticas*.
- Zhu, J.-K. (2001). Plant salt tolerance. In *TRENDS in Plant Science* (Vol. 6, Issue 2). <http://plants.trends.com>
- Zhu, Y.-G., Huang, Y.-Z., Hu, Y., & Liu, Y.-X. (2002). *Iodine uptake by spinach (Spinacia oleracea L.) plants grown in solution culture: effects of iodine species and solution concentrations*. www.elsevier.com/locate/envint
- Zimmermann, M. B., & Andersson, M. (2012). Assessment of iodine nutrition in populations: Past, present, and future. *Nutrition Reviews*, 70(10), 553–570. <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2012.00528.x>