

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCION DE ENSEÑANZA E INVESTIGACION EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS CÓRDOBA

POSTGRADO EN INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE

CALIDAD DE FRUTOS DE TOMATE EN RESPUESTA A ELEMENTOS BENÉFICOS EN HIDROPONÍA, BAJO CONDICIONES DE SALINIDAD

VÍCTOR HUGO CARBAJAL VÁZQUEZ

**TESIS
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE**

MAESTRO EN CIENCIAS

AMATLÁN DE LOS REYES, VERACRUZ, MÉXICO

2017

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS
COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el (la) que suscribe Víctor Hugo Carbajal Vázquez, Alumno(a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del profesor(a) Dr. Fernando C. Gómez Merino, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Calidad de frutos de tomate en respuesta a elementos benéficos en hidroponía, bajo condiciones de salinidad.

Y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Profesor Consejero(a) o Director(a) de Tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Amatlán de los Reyes, Veracruz a 21 de julio de 2017



Firma



Fernando Carlos Gómez Merino

Vo.Bo. del Profesor Consejero o Director de Tesis

La presente tesis, titulada: **Calidad de frutos de tomate en respuesta a elementos benéficos en hidroponía, bajo condiciones de salinidad**, realizada por el alumno: **Víctor Hugo Carbajal Vázquez**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS
INNOVACIÓN AGROALIMENTARIA SUSTENTABLE
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
DR. FERNANDO CARLOS GÓMEZ MERINO

DIRECTORA DE TESIS: 
DRA. LIBIA IRIS TREJO TÉLLEZ

ASESOR: 
DR. JOSÉ ANDRÉS HERRERA CORREDOR

ASESOR: 
DRA. ADRIANA CONTRERAS OLIVA

Amatlán de los Reyes, Veracruz, México, agosto 2017.

CALIDAD DE FRUTOS DE TOMATE EN RESPUESTA A ELEMENTOS BENÉFICOS EN HIDROPONÍA, BAJO CONDICIONES DE SALINIDAD

Víctor Hugo Carbajal Vázquez, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2017

RESUMEN

El tomate se ubica como una de las hortalizas más demandadas a nivel global, por lo que es de suma importancia económica y alimenticia. Entre los factores que limitan su producción se encuentra el estrés salino, que afecta no solo el suelo sino también al agua empleada en el riego. En este contexto esta investigación tuvo como objetivo evaluar la aplicación foliar de silicio (Si) y titanio (Ti), elementos considerados benéficos en plantas superiores, en la mitigación de los efectos negativos que tiene el estrés salino en la calidad del fruto de tomate variedad Río Supremo. Para lo anterior se establecieron dos experimentos independientes con arreglo factorial 3^2 bajo condiciones de invernadero. En el primero se evaluaron concentraciones de NaCl en la solución nutritiva (0, 50 y 100 mM) y la aspersión foliar de Si (0, 75 y 150 mg L⁻¹). En el segundo experimento se probaron dosis de NaCl en la solución nutritiva (0, 50 y 100 mM) y la aspersión foliar de Ti (0, 75 y 150 mg L⁻¹). En frutos del segundo racimo de plantas de cada uno de los nueve tratamientos de cada experimento se evaluaron parámetros de calidad [pH, acidez titulable (AT), conductividad eléctrica (CE), porcentaje de jugo, sólidos solubles totales (SST), firmeza, atributos de color y licopeno]. La adición de NaCl en la solución nutritiva reduce el pH y el porcentaje de jugo, la firmeza, el valor del croma y la concentración de licopeno del fruto; asimismo incrementó la acidez titulable, conductividad eléctrica, sólidos solubles totales, la luminosidad y el ángulo hue. El Si y Ti tuvieron efectos diferenciales en los parámetros de calidad del fruto; algunos de éstos dependiendo del nivel de NaCl en la solución nutritiva. Destaca el efecto del Si en el incremento de la firmeza del fruto en ausencia de NaCl, esta tendencia se mantiene bajo salinidad pero no es significativa; así también el Si incrementa los sólidos solubles totales y la concentración de licopeno en frutos de plantas no tratadas con NaCl. Efectos principales negativos del Si se observaron en el porcentaje de jugo, en la luminosidad y en el ángulo hue. La aplicación foliar de Ti incrementa el pH, reduce la acidez titulable e incrementa la firmeza de fruto con el nivel medio de salinidad evaluado (50 mM NaCl); asimismo con alta salinidad (100 mM NaCl), el Ti incrementa el porcentaje de jugo. Asimismo el tratamiento con Ti en ausencia de salinidad y con baja salinidad (50 mM), de manera significativa incrementa el croma y reduce la luminosidad del fruto.

Palabras clave: Solanaceae, *Solanum lycopersicum*, silicio, titanio, licopeno.

TOMATO FRUIT QUALITY IN RESPONSE TO BENEFICIAL ELEMENTS IN HYDROPONICS UNDER SALT STRESS

Víctor Hugo Carbajal Vázquez, M. Sc.

Colegio de Postgraduados, 2017

ABSTRACT

Tomato is ranked as one of the most demanded vegetables at the global level, so it is of great economic and nutritional importance. Among the factors that limit its production is saline stress, which affects not only the soil but also the water used in irrigation. The objective of this research was to evaluate the foliar application of silicon (Si) and titanium (Ti), which are elements considered beneficial in higher plants, in mitigating the negative effects of salt stress on the quality of Rio Supremo tomato variety. In order to reach such objectives, two independent experiments were established with factorial arrangement 3^2 under greenhouse conditions. In the first experiment, concentrations of NaCl in the nutrient solution (0, 50 and 100 mM) and leaf spray of Si (0, 75 and 150 mg L⁻¹) were evaluated. In the second experiment, doses of NaCl in the nutrient solution (0, 50 and 100 mM) and leaf spray of Ti (0, 75 and 150 mg L⁻¹) were tested. The quality parameters [pH, titratable acidity, electrical conductivity (EC), juice percentage, total soluble solids (TSS), firmness, color attributes and lycopene) were evaluated in fruits of the second cluster of plants of each of the nine treatments of each experiment. The addition of NaCl in the nutrient solution reduces pH and juice percentage, firmness, chroma value and lycopene concentration of the fruit; it also increased titratable acidity, electrical conductivity, total soluble solids, luminosity and hue angle. Si and Ti had differential effects on fruit quality parameters, some of these benefits depending on the NaCl level in the nutrient solution. We observed a significant effect of the Si in the increase of the firmness of the fruit in the absence of NaCl; though this tendency was maintained under salinity, it was not significant; Si increases total soluble solids and lycopene concentration in fruits of control plants (not treated with NaCl). Negative main effects of Si were observed in percentage of juice, in the luminosity and in the hue angle. The foliar application of Ti increases pH, reduces titratable acidity and increases fruit firmness with the mean salinity level evaluated (50 mM NaCl). With high salinity (100 mM NaCl), Ti increases the percentage of juice. Likewise, Ti treatment in the absence of salinity and low salinity (50 mM), significantly increased chroma and reduced fruit brightness.

Key words: Solanaceae, *Solanum lycopersicum*, silicon, titanium, lycopene.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a:

A mis hijos Gaddiel y Galia Carbajal Santiago, quienes son la mayor razón y la fuerza que me mueve a seguir adelante.

A mi esposa Soledad Santiago Zamudio, por su apoyo, comprensión y amor incondicional en los momentos difíciles, sin tí, no sé si lo hubiera logrado.

A mi madre, María Antonia Vázquez Quevedo, por su ejemplo de nunca darse por vencida ante las adversidades, por difíciles que sean.

A mis hermanas, Aura, Elideth y Ana Carbajal Vázquez, por su apoyo moral e incondicional, saben que las amo.

A mis suegros, José Santiago Bravo y Bárbara Zamudio Hernández, quienes me aceptaron como un hijo más y he aprendido a quererlos como tal.

A mi familia en general.

Víctor H.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por su fidelidad y permitirme cada mañana ver su misericordia.

Al CONACYT, por la beca que me fue otorgada, la cual permitió que cumpliera con el reto a seguir superándome.

Al Colegio de Postgraduados, Campus Córdoba y Montecillo, por las facilidades otorgadas en mis estudios de maestría.

Al Dr. Fernando C. Gómez Merino y a la Dra. Libia Iris Trejo-Téllez, por permitirme ser parte de sus pupilos, agradezco profundamente sus enseñanzas, su ejemplo, su amistad y confianza.

Al Dr. Andrés Herrera Corredor, por su amistad, apoyo y atinados comentarios para mejorar este trabajo.

A la Dra. Adriana Contreras Oliva, por su amistad y aportes a mi proyecto de tesis.

Al Dr. Juan Salazar Ortiz, Dr. Hipólito Ortiz Laurel y Dr. Héctor Debernardi de la Vequia, por su amistad y grandes consejos.

A la Mtra. Violeta Miranda Amador (Rectora de la Universidad Filadelfia de México) y al Ing. Sebastián Flores Escobar (Director de la UFM campus Cd. Alemán), por todo su apoyo y motivación que me brindaron, para realizar este objetivo.

A mis profesores, compañer@s de generación y de cursos, un placer haberlos conocido y compartir tan gratos momentos.

A todos mil gracias, Víctor H.

CONTENIDO

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
DEDICATORIA.....	iii
GRADECIMIENTOS.....	iv
1. INTRODUCCIÓN	1
2. JUSTIFICACIÓN	2
3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	2
4. OBJETIVOS	3
4.1 Objetivo general	3
4.2 Objetivos específicos	3
5. HIPÓTESIS	3
5.1. Hipótesis general	3
5.2 Hipótesis específicas	4
6. REVISIÓN DE LITERATURA	5
6.1 El cultivo del tomate	5
6.1.1 Antecedentes	5
6.1.2 Taxonomía y fisiología	5
6.1.3 Importancia económica	10
6.1.4 Requerimientos climáticos	11
6.2 El manejo nutrimental del tomate	12
6.3 Parámetros de calidad en tomate	12
6.4. Silicio y titanio en la producción agrícola	12

6.4.1 El silicio	12
6.4.2. El titanio en las plantas	13
7. MATERIALES Y MÉTODOS	14
7.1. Localización del estudio y condiciones climáticas	14
7.2. Material vegetal y obtención de plántulas	16
7.3. Sustrato y su desinfección.....	16
7.4. Colocación de porta tutores y tutoreo	17
7.5. Sistema de riego.....	17
7.6. Trasplante	18
7.7. Solución nutritiva	18
7.8. Diseño de tratamientos y diseño experimental	20
7.9. Control de patógenos.....	22
7.10. Variables evaluadas	23
7.10.1. Variables de crecimiento	23
7.11. Análisis estadístico	28
8. RESULTADOS. SILICIO	29
8.1. Variables de crecimiento	29
8.1.1. Peso de biomasa seca.....	29
8.2. Variables de calidad de fruto	36
8.2.1. pH del jugo del fruto	36
8.2.2. Acidez titulable	37
8.2.3. Conductividad eléctrica del jugo del fruto	38
8.2.4. Sólidos solubles totales (°Brix)	40
8.2.5. Firmeza del fruto	41
8.2.6. Porcentaje de jugo en el fruto	43
8.2.7. Atributos del color del fruto	44
8.2.8. Licopeno.....	46
9. RESULTADOS. TITANIO	48
9.1 Variables de crecimiento	48
9.1.1. Peso de biomasa seca.....	48
9.1.2. Altura de la planta (AP), Diámetro de tallo (DT), Número de hojas (NH)	50

9.2. Variables de calidad de fruto	54
9.2.1. pH del jugo del fruto	54
9.2.2. Acidez titulable	55
9.2.3. Conductividad eléctrica del jugo del fruto	56
9.2.4. Sólidos solubles totales (°Brix)	58
9.2.5. Firmeza del fruto	59
9.2.6. Porcentaje de jugo en el fruto	61
9.2.7. Atributos del color del fruto	62
9.2.8. Licopeno	64
10. DISCUSIÓN	66
10.1. Parámetros de crecimiento	66
10.1.1. Efectos de NaCl en el crecimiento	66
10.1.2. Efectos de Si y Ti en el crecimiento	67
10.1.3. Efectos de la interacción de los factores de estudio (NaCl x Si y NaCl Ti) en el crecimiento	68
10.2. Parámetro de calidad del fruto	68
10.2.1. Efecto del NaCl en la calidad del fruto	68
10.2.2. Efecto del Si y Ti en la calidad del fruto	70
10.2.3. Efecto de la interacción de los factores de estudio (NaCl x Si y NaCl x Ti) en la calidad del fruto	71
11. CONCLUSIONES	74
12. LITERATURA CITADA	75

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1: Clasificación taxonómica del cultivo de tomate (Plants Database-USDA, 2017).	6
Cuadro 2: Tamaño, peso y diámetro de frutos de tomate según su tipo (Schwarz et al., 2014).	10
Cuadro 3: Temperaturas, humedades relativas e intensidades luminosas medias diurnas y nocturnas, registradas en el invernadero durante la fase experimental.	15
Cuadro 4: Concentración y balance de aniones y cationes de la solución nutritiva Steiner (1984).	18
Cuadro 5: Fuente de fertilizantes macro y micronutrientes para preparar la solución nutritiva de Steiner al 100%.	19
Cuadro 6: Tratamientos evaluados en los dos experimentos realizados.	21
Cuadro 7: Concentración y dosis de Si y Ti a partir de dióxidos de silicio y titanio, respectivamente; y del surfactante adicionado a las soluciones foliares.	22
Cuadro 8: Efectos principales y de interacción de los factores de estudio (NaCl y Si) en peso de biomasa seca de distintos órganos de plantas de tomate.	30
Cuadro 9: Efecto principal del factor de estudio NaCl, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).....	33
Cuadro 10: Efecto principal del factor de estudio Si, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).	34
Cuadro 11: Efectos interactivos de los factores de estudio NaCl y Si, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).	35
Cuadro 12: Efectos principales y de interacción de los factores de estudio (NaCl y Ti) en peso de biomasa seca de distintos órganos de plantas de tomate.	49
Cuadro 13: Efecto principal del factor de estudio NaCl, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).....	51
Cuadro 14: Efecto principal del factor de estudio Ti, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).	52
Cuadro 15: Efectos interactivos de los factores de estudio NaCl y Ti en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).	53

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema radicular de una planta de tomate var. Rio Supremo.....	7
Figura 2: Planta de tomate var. Rio Supremo	7
Figura 3: Hoja de tomate var. Rio Supremo.	8
Figura 4: Flor de tomate var. Rio Supremo.	9
Figura 5: Fruto de tomate saladette var. Rio Supremo.....	9
Figura 6: Invernadero tipo túnel con ventana cenital del Área de Nutrición Vegetal del programa de Edafología en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados.	14
Figura 7: Materiales utilizados para la producción de plántulas. Semilla variedad Rio Supremo (a). Producto comercial con hipoclorito de sodio al 5% (b). Charola de 200 cavidades con turba (c).	16
Figura 8: Materiales empleados en el establecimiento del experimento. Tezontle utilizado (a). Grupo de trabajo cribando el tezontle (b). Cribas utilizadas (c). Bolsas llenas de tezontle (d).....	16
Figura 9: Desinfección del sustrato. Solución de hipoclorito de sodio al 5% usada en la desinfección (a). Preparación de la solución desinfectante (b). Aplicación de la solución desinfectante (c).	17
Figura 10: Sistema de riego por goteo en espagueti.....	18
Figura 11: Calendario de uso de solución nutritiva a diferentes porcentajes de concentración, y de aplicación de tratamientos de salinidad y foliares.	20
Figura 12: Estufa de aire forzado (a) y balanza analítica (b) empleadas.	24
Figura 13: Potenciómetro Conductronic, PC18 usado para medir pH y CE.....	24
Figura 14: Refractómetro digital ATAGO modelo PR-100, 0-32%.	26
Figura 15: Texturómetro Chantillón marca Force Five, modelo FDV-30 usado en la determinación de la firmeza.	26
Figura 16: Extractor de jugo comercial utilizado para obtener el jugo de tomate.....	27
Figura 17: Efectos principales del NaCl (a) y de Si (b) en el pH del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	36
Figura 18: Efectos interactivos del NaCl y Si en el pH del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	37
Figura 19: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en acidez titulable (AT) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	37
Figura 20: Efectos interactivos del NaCl y Si en la acidez titulable (AT) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	38
Figura 21: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en la conductividad eléctrica (CE) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	39
Figura 22: Efectos interactivos del NaCl y Si en la conductividad eléctrica (CE) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	40

Figura 23: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en los sólidos solubles totales (SST, °Brix) del jugo de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	40
Figura 24: Efectos interactivos del NaCl y Si en los sólidos solubles totales (SST, °Brix) de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	41
Figura 25: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en la firmeza de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).	42
Figura 26: Efectos interactivos del NaCl y Si en la firmeza de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	42
Figura 27: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en el porcentaje de jugo de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	43
Figura 28: Efectos interactivos del NaCl y Si en el porcentaje de jugo de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	44
Figura 29: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en parámetros del color de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	45
Figura 30: Efectos interactivos del NaCl y S ₂ en los atributos de color de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	46
Figura 31: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en la concentración de licopeno en frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	46
Figura 32: Efectos interactivos del NaCl y Si en la concentración de licopeno en frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	47
Figura 33: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en el pH del jugo de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	54
Figura 34: Efectos interactivos del NaCl y Ti en el pH de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	55
Figura 35: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en acidez titulable (AT) del jugo de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	55
Figura 36: Efectos interactivos del NaCl y Ti en la acidez titulable (AT) del jugo de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	56
Figura 37: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en la conductividad eléctrica (CE) del jugo de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	57
Figura 38: Efectos interactivos del NaCl y Ti en la conductividad eléctrica (CE) del jugo de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	58

Figura 39: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en sólidos solubles totales (SST, °Brix) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).....	58
Figura 40: Efectos interactivos del NaCl y Ti en sólidos solubles totales (SST, °Brix) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).....	59
Figura 41: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en la firmeza de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	60
Figura 42: Efectos interactivos del NaCl y Ti en la firmeza de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	61
Figura 43: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en el porcentaje de jugo en los frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).....	61
Figura 44: Efectos interactivos del NaCl y Ti en el porcentaje de jugo en los frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	62
Figura 45: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en los atributos del color de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).....	63
Figura 46: Efectos interactivos del NaCl y Ti en los atributos del color de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	64
Figura 47: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en la concentración de licopeno en frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).....	64
Figura 48: Efectos interactivos del NaCl y Ti en la concentración de licopeno en frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).	65

1. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.), es una especie de la familia Solanaceae originaria de Sudamérica, específicamente de la región andina del Perú, Ecuador, Bolivia y Chile, en donde hay gran diversidad y abundancia de tipos silvestres. Esta hortaliza es de gran importancia económica por ser un cultivo de ciclo corto y de gran rendimiento, lo que ha provocado que sea cultivado y demandado a nivel mundial (Nuez, 2001; Noonari, 2015; Gómez-Méndez, 2012). En México, los estados que tienen mayor producción de esta hortaliza son Baja California, Jalisco, Michoacán, San Luis Potosí y Sinaloa, en los cuales se dispone de sistemas de producción tecnificados, en su conjunto tienen una producción promedio de 335,446.8 ton y una media de rendimiento y valor de producción de 68.77 ton ha⁻¹ y 2.2 millones de pesos respectivamente (SIAP, 2015).

Por otra parte, la literatura reciente muestra que se ha incrementado el uso de los elementos considerados benéficos como bioestimulantes, y en consecuencia se han realizado diversos estudios en el uso de estos elementos para mejorar la nutrición de las plantas y la tolerancia al estrés. Lara (2009) reporta que elementos empleados como bioestimulantes ofrecen un potencial para mejorar la producción y calidad a los cultivos, ya que tienen ciertas funciones similares a las hormonas, entre estos elementos se encuentran el silicio (Si) y el titanio (Ti).

En estudios realizados para evaluar el efecto de la aplicación de Si a diferentes cultivos, han mostrado su efecto protector contra factores de estrés bióticos y abióticos, además de afectar directamente los elementos metales como Fe, Zn, Mn y Cu dentro de la planta (Hernández-Apaolaza, 2014).

Mientras que para Ti, del cual hay escasa investigación, se han encontrado algunos estudios como el de Raliya *et al.* (2015), en donde destacan los efectos favorables del dióxido de titanio (TiO₂) aplicado a tomate, en particular en la fenología, biomasa y rendimiento entre otras variables; asimismo, Kleiber y Markiewicz (2013), mencionan que el Ti es funcional como bioestimulante y reportaron incrementos significativos en el rendimiento comercial y en el crecimiento de tomate, a su vez, encontraron que es un potenciador de N, P y K, al registrarse contenidos altos de estos elementos en plantas tratadas con concentraciones altas de Ti, aunque no

descubrieron efectos significativos en el contenido de azúcares, acidez y materia seca.

En la actualidad las investigaciones relacionadas con la calidad del fruto de tomate se han enfocado más en analizar y seleccionar variedades, con características muy específicas, tales como, resistencia a plagas, tolerancia a sequías, o que tengan una calidad visualmente atractiva. Sin embargo, se tienen pocos estudios acerca del efecto del manejo agronómico, dentro del cual se considera el uso de bioestimulantes entre ellos los elementos benéficos, en características organolépticas del fruto, según [López-Vidal et al. \(2014\)](#), en los últimos años se ha observado mayor demanda por aquellos productos con mejor sabor y aroma, además del color y tamaño.

2. JUSTIFICACIÓN

En la literatura los estudios sobre el efecto que puede tener el uso de los elementos benéficos en calidad de frutos son escasos; en particular aún menor es la información existente sobre el empleo de los elementos benéficos Si y Ti en la calidad de tomate de plantas sometidas a estrés salino en condiciones de hidroponía. Adicionalmente es pertinente indicar que el problema de salinidad es global y se encuentra entre los principales factores de estrés abiótico que limitan la producción agrícola. En México cerca del 10% de la zona agrícola irrigada se encuentra afectada por algún grado de salinidad; asimismo, la presión por el recurso agua, obliga al empleo de aguas de mala calidad en la agricultura. Ante esta situación es imperante encontrar alternativas viables desde el punto de vista económico y ambiental.

3. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Investigaciones recientes han mostrado que los elementos esenciales y los prescindibles juegan un papel preponderante en las propiedades de los frutos en general. Sin embargo, no se cuenta con suficiente información para la toma de decisiones en el uso de éstos en la producción de tomate, en específico no se cuenta con recomendaciones de aplicación foliar de los elementos benéficos Si y Ti

en tomate bajo condiciones de salinidad e información sobre sus efectos en la calidad de los frutos.

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

- Evaluar el efecto de tres concentraciones de silicio y titanio aplicadas vía foliar en plantas de tomate establecidas en un sistema hidropónico bajo un gradiente de salinidad, en indicadores de crecimiento de la planta y de calidad del fruto.

4.2 Objetivos específicos

- Evaluar el efecto del silicio y titanio en los indicadores de crecimiento de plantas de tomate, las plantas se encuentran establecidas en condiciones salinas.
- Valorar el efecto del silicio y titanio en indicadores de calidad de fruto de tomate, cuando las plantas se encuentran establecidas en condiciones salinas.

5. HIPÓTESIS

5.1. Hipótesis general

La aplicación foliar de silicio y titanio en concentraciones de 75 y 150 mg L⁻¹, en intervalos de 10 días a plantas de tomate desarrollando en condiciones salinas en un sistema hidropónico, incrementan el crecimiento y mejoran los indicadores de calidad del fruto. En particular los efectos positivos en la calidad de fruto se relacionan de manera directa con la concentración del elemento benéfico suministrado.

5.2 Hipótesis específicas

- El tratamiento vía foliar con silicio o titanio a concentraciones de 75 y 150 mg L⁻¹, en intervalos de 10 días a plantas de tomate desarrollando en condiciones salinas en un sistema hidropónico, incrementan el crecimiento de plantas de tomate bajo estrés salino. En particular los efectos positivos en éstos se relacionan de manera directa con la concentración del elemento benéfico suministrado.
- El tratamiento vía foliar con silicio o titanio a concentraciones de 75 y 150 mg L⁻¹, en intervalos de 10 días a plantas de tomate desarrollando en condiciones salinas en un sistema hidropónico, incrementan indicadores de calidad del fruto de tomate. En particular los efectos positivos en éstos se relacionan de manera directa con la concentración del elemento benéfico suministrado.

6. REVISIÓN DE LITERATURA

6.1 El cultivo del tomate

6.1.1 Antecedentes

El tomate o tomatara (*Solanum lycopersicum* L.), es una planta originaria de la región andina en Sudamérica, los pobladores del continente se dieron a la tarea de llevarlo de un extremo a otro, fue así como a principios del siglo XVI llegó a México desde tierras peruanas. Antes de La Conquista, era cultivado por los aztecas que lo llamaban tomate o jitomate, estos nombres derivan de los vocablos *tomatl* que significa objeto gordo y *xictomatl* (el término *xictli* es “ombligo” o *xi* “rojo”) de la lengua náhuatl. Con la llegada de los españoles, este fue llevado a España, de donde se distribuyó a toda Europa con el paso del tiempo, en un principio solo era considerada como ornamental pues se creía venenosa por el hecho de ser una solanácea, pero a su llegada a Italia el fruto empezó a consumirse y los italianos le bautizaron como “pomo de oro” que quiere decir manzana de oro (Long, 2003; Polese, 2007; Rodríguez *et al.*, 2001; Velasco *et al.*, 2012).

6.1.2 Taxonomía y fisiología

La Red de Información sobre Recursos de Germoplasma (GRIN por sus siglas en inglés) usa la denominación *Lycopersicon esculentum* Mill para la forma silvestre del tomate. Aunque todavía no existe una clasificación de la especie aceptada de manera general, en la actualidad se utiliza la denominación *Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme usada por Sistema Integrado de Información Taxonómica (SIIT) y el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2017), en el **Cuadro 1** se describe la taxonomía del tomate. En cuanto al nombre común, jitomate solo se usa en el centro México, en el sur y norte del país y otras partes del mundo a la especie se le conoce como tomate (Vibrans, 2009).

Cuadro 1: Clasificación taxonómica del cultivo de tomate ([Plants Database-USDA, 2017](#)).

Reino	Plantae
Subreino	Tracheobionta
Súper división	Espermatophyta
División	Magnoliophyta
Clase	Magnoliopsida
Subclase	Asteridae
Orden	Solanales
Familia	Solanaceae
Género	<i>Solanum</i> L
Especie	<i>S. lycopersicum</i>
Nombre científico	<i>Solanum lycopersicum</i> L
Nombre común	Tomate rojo o jitomate

El tomate es una planta perenne que se cultiva de forma anual, su hábito de crecimiento puede ser semi-determinado, determinado o indeterminado ([Schwarz et al., 2014](#)). Se desarrolla en forma rastrera o semi-erecta según la variedad, por lo cual casi siempre es necesario el uso de tutores. Fisiológicamente se compone por las siguientes partes:

- 1) Sistema radicular. Se compone por raíz principal corta y débil (pivotante), raíces secundarias generalmente de forma ramificada y pelos absorbentes, en ocasiones desarrolla raíces adventicias (**Figura 1**).



Figura 1: Sistema radicular de una planta de tomate var. Rio Supremo.

- 2) Tallo. Es el eje principal de la planta que puede llegar a medir de 200 a 400 mm de diámetro, es rígido semi-leñoso sobre el cual se desarrollan las hojas, ramificaciones simpoidales y las inflorescencias (**Figura 2**).



Figura 2: Planta de tomate var. Rio Supremo

- 3) Hojas. Dispuestas de forma alternativa sobre el tallo, están compuestas entre 7 o 9 folíolos peciolados, lobulados y con bordes dentados, es imparipinnada recubierta de pelos glandulares (**Figura 3**).



Figura 3: Hoja de tomate var. Rio Supremo.

- 4) Flores. Agrupadas en inflorescencias de tipo racimoso, se componen de 5 o más sépalos con igual número de pétalos de color amarillo, dispuestos en forma helicoidal. El gineceo está envuelto por un cono estaminal formado por los estambres y pétalos de forma alterna. Su ovario puede ser bi o plurilocular (**Figura 4**).



Figura 4: Flor de tomate var. Rio Supremo.

- 5) Fruto. Es una baya bi o plurilocular de color verde con cambio de color a rojo en su estadio de maduración (**Figura 5**).



Figura 5: Fruto de tomate saladette var. Rio Supremo.

El peso, tamaño y diámetro del fruto varían según la variedad como se muestra en el **Cuadro 2**.

Cuadro 2: Tamaño, peso y diámetro de frutos de tomate según su tipo ([Schwarz et al., 2014](#)).

Tipo	Tamaño	Peso (g)	Diámetro (mm)
Cherry	Muy pequeño	1-20	<25
Coctel	Pequeño	20-70	25-47
Saladette	Mediano	70-100	47-67
Bola	Grande	100-180	67-88
Arriñonado	Muy grande	> 180	>88

6.1.3 Importancia económica

En los últimos 10 años en México, la producción de tomate se ha generado con altos estándares de calidad, gracias al aumento de superficies tecnificadas y la adopción de nuevas tecnologías y herramientas, por ejemplo, uso de protección de cultivos (invernaderos o casa sombras), sistemas de riego localizado, fertirrigación, mallas tutoras, entre otras; aunado a esto, es la hortaliza más comercializada a nivel mundial ya sea en fresco o industrializada, esto ha permitido una gran demanda a nivel nacional e internacional haciendo al país el primer exportador de este producto en el 2015, para ese mismo año, el volumen de producción fue de 3.0 millones de toneladas, con un valor de producción de 2.2 mdp, contribuyendo así con el 2% de la oferta mundial. Para inicios del 2016, en un periodo de cinco meses (enero a mayo), las exportaciones presentaron un aumento del 22.7% en comparación con el mismo periodo del año anterior. De manera general, México tiene destinada para la producción de tomate 51 mil hectáreas, en donde la producción tiene un valor de 15.7 mil millones de pesos, situándola en el segundo lugar a nivel nacional en cuanto a valor de producción se refiere ([SIAP, 2015](#); [SIAP, 2016](#)).

6.1.4 Requerimientos climáticos

Para asegurar el éxito de un cultivo con fines de comercio o de investigación, se debe tener presente el buen manejo de factores edafoclimáticos que afectan la producción y calidad de los frutos, tales como, temperatura, humedad relativa, intensidad lumínica, plagas, fertilización, entre otras. La producción en invernadero y casa sombra con técnicas de fertirriego e hidropónicas permiten un mejor control de estos factores para garantizar el desarrollo óptimo del cultivo.

6.1.4.1 Temperatura y radiación

La temperatura óptima para el crecimiento y desarrollo del tomate se encuentra en el rango de 10 a 35 °C, temperaturas mayores o menores a éstas provocan afectaciones en crecimiento de la planta, desarrollo de hojas (una planta puede desarrollar hasta tres hojas por semana, en temperaturas medias de 20 °C, dependiendo de la variedad y su tipo de porte), floración (se presenta abortos de flores y puede existir una mala o nula fecundación) y fructificación con problemas de maduración (frutos amarillos). El crecimiento de distintos órganos de las plantas de tomate, requieren de cierta cantidad de fotoasimilados producidos en la fotosíntesis, es por ello que se requiere de una cantidad de radiación solar adecuada, el rango óptimo de radiación para una buena fotosíntesis en plantas de tomate oscila entre 2 y 2000 $\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de densidad de flujo de fotones fotosintéticos (PPFD por sus siglas en inglés), valores fuera de este rango provocan desórdenes fisiológicos como poco desarrollo radicular, adelgazamiento de vástago, y una disminución en el grosor de las hojas ([Schwarz et al., 2014](#)).

6.1.4.2 Humedad relativa

En plantas de tomate la humedad relativa óptima oscila entre 65 y 75%, a este rango de humedad se promueve el buen crecimiento y desarrollo de las plantas, flores y frutos, valores altos pueden provocar enfermedades fúngicas en área foliar, deficiente polinización por apelmazamiento de polen, y rajado de frutos.

6.2 El manejo nutrimental del tomate

La calidad de un cultivo depende directamente de factores bióticos y abióticos, que influyen tanto en su composición química, como en la morfológica y organoléptica, factores como plagas y enfermedades, condiciones climáticas, acidez de suelo, fertilización, y salinidad entre otras ([Kaniszewski, 1982](#)).

6.3 Parámetros de calidad en tomate

Los parámetros de calidad se pueden definir de dos maneras, según el destino del fruto; 1) comercialización en fresco o 2) la agroindustria, cuando se destina al consumo en fresco los parámetros son: color, firmeza, forma, tamaño, y sabor ([Fraser et al., 1994](#)).

Cuando es dirigido a la agroindustria la exigencia se centra en parámetros como acidez titulable, peso seco, pH, sólidos solubles totales, y viscosidad ([Renquist y Reid, 1998](#)). Las pérdidas de calidad pueden suceder por daño mecánico, almacenamiento inadecuado, manipulación, y transporte incorrecto, [Fluck y Halsey \(1973\)](#) mencionaron que malos manejos al fruto de tomate, pueden causar daños metabólicos y fisiológicos, que dan una apariencia anormal externa, de igual manera, [Moretti y Sargent \(2000\)](#) aportan que el daño se refleja en alteraciones en el metabolismo respiratorio, sabor y firmeza.

6.4. Silicio y titanio en la producción agrícola

6.4.1 El silicio

El silicio es el segundo mineral más abundante en la tierra formando parte de las partículas del suelo llamadas arcillas, arenas y rocas, en combinación con oxígeno y en metales que se conocen como silicatados ([Hernández-Apaolaza, 2014](#); [Alcántar y Trejo-Téllez, 2013](#)). De acuerdo con [De la Cruz-Millán \(2012\)](#), a partir de 1840 se han publicado una gran cantidad de trabajos en laboratorio, invernadero y campo, los cuales han demostrado los beneficios de la aplicación de este elemento a diferentes cultivos, principalmente a los cereales y gramíneas, quienes se caracterizan por su capacidad de almacenar Si en las células. En cereales como el arroz se ha encontrado, que cantidades altas de Si en los cascotes, mejoran la calidad

del grano (Snyder *et al.*, 2006). La suplementación de Si en plantas de tomate bajo estrés por B mejoran el peso promedio del fruto (Kaya y Levent, 2011). En pepino de han encontrado pequeños pero significativos incrementos en pesos fresco y seco de raíz, menor marchitez de hojas y mayor concentración de clorofila, así como, incremento a la tolerancia por toxicidad por Mn (Alcántar y Trejo-Téllez, 2013); lo cual se puede traducir en mejor adquisición y uso de elementos que influyen en los frutos. De igual manera, Zbigniew (2013) encontró aumentos significativos en el rendimiento de frutos de pepino, mayor contenido de materia seca y solidos solubles totales en plantas suplementadas con silicio.

6.4.2. El titanio en las plantas

El titanio es un elemento de transición con posibilidad de cambios de valencia, es el noveno elemento más abundante en el suelo y su concentración en plantas es de alrededor de 1 mg kg⁻¹ de peso seco. El Ti es considerado un bioestimulante ya que interviene en la actividad de la enzima lipogenasa, tiene influencia en la fisiología de las plantas y en la calidad de frutos, al mismo tiempo que aumenta la absorción de elementos, la producción de metabolitos secundarios y antioxidantes (Carvajal *et al.*, 1992; Markiewicz y Kleiber, 2014; Kleiber y Markiewicz, 2013). En especial destaca que se han reportado incrementos de licopeno con la aplicación vía raíz de este elemento en tomate (Markiewicz y Kleiber, 2014). Por el contrario, aplicaciones foliares en tomate enano no impactaron la calidad de fruto, pero el Ca es un elemento en el fruto que responde significativamente a los tratamientos de Ti (Kopsell *et al.*, 2010); de igual manera Kleiber y Markiewicz (2013) observaron respuestas significativas del K a las aplicaciones de Ti.

7. MATERIALES Y MÉTODOS

7.1. Localización del estudio y condiciones climáticas

La investigación se realizó en un invernadero tipo túnel (**Figura 6**) con ventana cenital, de cobertura plástica y con malla antiáfidos en paredes laterales. El invernadero se ubica en el campus Montecillo del Colegio de Postgraduados a $19^{\circ} 46'13''$ LN y $98^{\circ} 90'91''$ LO, a 2240 m de altitud.



Figura 6: Invernadero tipo túnel con ventana cenital del Área de Nutrición Vegetal del programa de Edafología en el Campus Montecillo del Colegio de Postgraduados.

En el interior del invernadero, se colocó un Data Logger para registrar temperatura máxima y mínima, luminosidad y humedad relativa, durante el ciclo experimental de mayo a septiembre de 2016. Los datos climáticos se presentan en el **Cuadro 3**.

Cuadro 3: Temperaturas, humedades relativas e intensidades luminosas medias diurnas y nocturnas, registradas en el invernadero durante la fase experimental.

	Mayo		Junio		Julio		Agosto		Septiembre	
	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche	Día	Noche
Horas	11.21	12.39	11.35	12.25	11.55	12.45	11.16	12.44	11.14	12.46
Luminosidad ($\mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$)	105.37	2.30	134.94	2.09	144.96	1.77	147.69	1.99	151.67	1.85
Temperatura (°C)	37.50	15.50	32.30	15.20	30.90	15.10	30.10	15.80	27.80	14.10
Humedad relativa (%)	29.10	79.50	31.60	83.70	31.50	80.50	32.10	93.80	31.60	97.20

7.2. Material vegetal y obtención de plántulas

Se emplearon semillas de tomate híbrido F-1 Río Supremo de porte determinado, con un porcentaje de germinación de 85%. Para la obtención de plántulas, las semillas se sembraron en una charola de 200 cavidades previamente desinfectada con hipoclorito de sodio al 5%, como sustrato se utilizó turba (**Figura 7**).



Figura 7: Materiales utilizados para la producción de plántulas. Semilla variedad Río Supremo (a). Producto comercial con hipoclorito de sodio al 5% (b). Charola de 200 cavidades con turba (c).

7.3. Sustrato y su desinfección

Como sustrato se utilizó tezontle con tamaño medio de partícula de 5 a 6 mm. Para la obtención de este tamaño se cribó con una malla de 7 mm y posteriormente con una malla de 4 mm. Una vez obtenido el tamaño adecuado se llenaron las bolsas de 30 x 30 cm, calibre 400, especial para vivero (**Figura 8**).



Figura 8: Materiales empleados en el establecimiento del experimento. Tezontle utilizado (a). Grupo de trabajo cribando el tezontle (b). Cribas utilizadas (c). Bolsas llenas de tezontle (d).

Para la desinfección del sustrato se usó hipoclorito de sodio al 5% (Cloralex), a una dosis de 1 mL L^{-1} ; cada maceta se inundó con 4 L de dicha solución aséptica, una vez drenada se dejó reposar durante 5 h. Posteriormente se hicieron tres enjuagues aplicando 4 L de agua por ocasión (**Figura 9**).



Figura 9: Desinfección del sustrato. Solución de hipoclorito de sodio al 5% usada en la desinfección (a). Preparación de la solución desinfectante (b). Aplicación de la solución desinfectante (c).

7.4. Colocación de porta tutores y tutoreo

Se usó cable de acero galvanizado sin quemar y rafia negra agrícola para el sistema de tutorado, el cable de acero se colocó en la parte aérea del invernadero en paralelo con las macetas, 9 líneas en total. Se instalaron 108 tiras de rafia de 6 m longitud sobre cada maceta, de esta manera cada planta se sostuvo con un tutor.

7.5. Sistema de riego

El riego se realizó mediante un sistema por goteo en espagueti. Se colocaron 9 tanques de 200 L, cada contenedor contaba con una bomba de $\frac{1}{2}$ HP, un ramaleo de PVC con regreso al tanque regulado con una válvula y una línea de salida con un filtro de anillos, esta se conectaba a una manguera negra agrícola de 16 mm con tres goteros por contenedor, cada gotero contaba con una cruceta para cuatro tubines y cada tubín con una estaca, de esta manera, se tenían 12 macetas irrigadas por línea como se muestra en la **Figura 10**.



Figura 10: Sistema de riego por goteo en espagueti.

7.6. Trasplante

Previo al trasplante se aplicó una lámina pesada de riego a los contenedores con el fin de mantener la humedad en el sustrato. El trasplante se realizó a los 32 días después de la siembra (DDS) cuando las plántulas contaban con 5 hojas verdaderas. Se trasplantó una plántula por maceta.

7.7. Solución nutritiva

El experimento se realizó en condiciones hidropónicas empleando la solución nutritiva de Steiner ([Steiner, 1984](#)), la concentración de esta solución se presenta en el **Cuadro 4**.

Cuadro 4: Concentración y balance de aniones y cationes de la solución nutritiva Steiner (1984).

	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	\sum aniones
$\text{mol}_c \text{ m}^{-3}$	12	1	7	= 20
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	K^+	\sum cationes
$\text{mol}_c \text{ m}^{-3}$	9	4	7	= 20

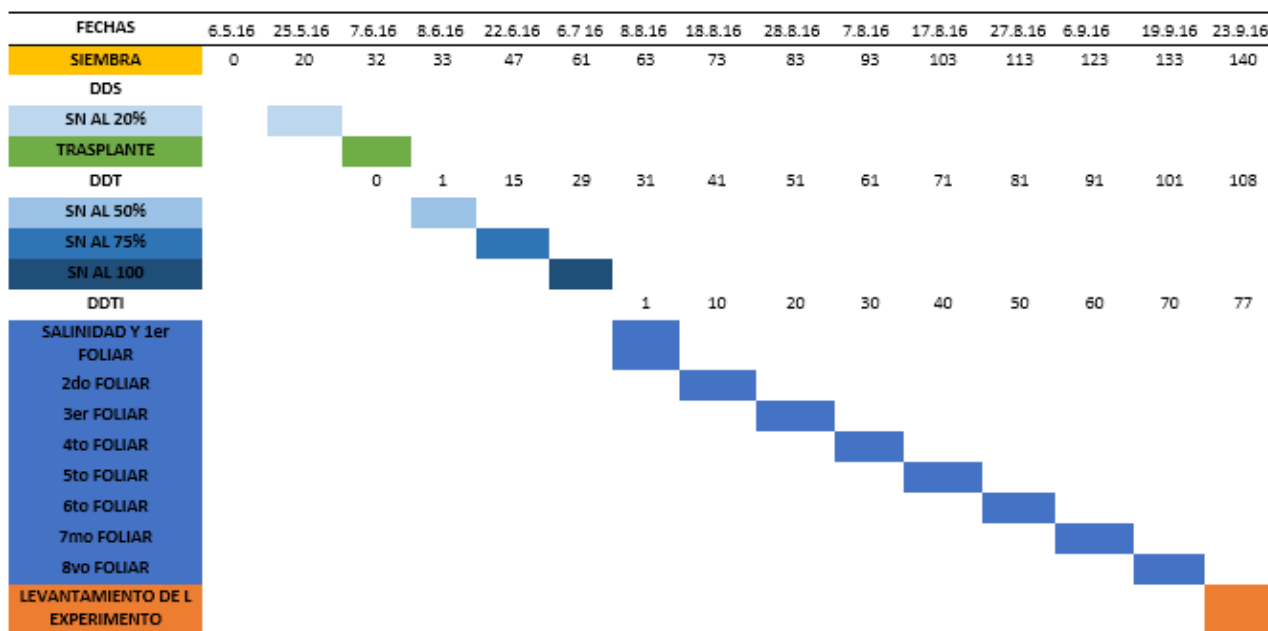
Las fuentes y cantidades de fertilizantes empleadas en la preparación de la solución nutritiva de Steiner al 100% se presentan en el **Cuadro 5**.

Cuadro 5: Fuente de fertilizantes macro y micronutrientos para preparar la solución nutritiva de Steiner al 100%.

Fuente	Nombre	g L⁻¹	g 200 L⁻¹
K ₂ SO ₄	Sulfato de potasio	0.261	52.2
Ca(NO ₃) ₂ 4H ₂ O	Nitrato de calcio tetrahidratado	1.062	212.4
KH ₂ PO ₄	Fosfato monopotásico	0.136	27.2
KNO ₃	Nitrato de potasio	0.303	60.6
Mg SO ₄ 7H ₂ O	Sulfato de magnesio heptahidratado	0.492	98.5
TRADECORP AZ	Mezcla de micronutrientos	0.066	13.3

En la etapa de almácigo, a los 20 DDS se inició la aplicación de la solución nutritiva (SN) de Steiner al 20% de su concentración durante un lapso de 11 días, se suministraron 250 mL diarios directamente al sustrato usando una piceta. A partir del trasplante (32 DDS) y durante 14 días se regó con solución nutritiva de Steiner con una concentración del 50%, en esta etapa los riegos se dividieron en tres aplicaciones de 100 mL por día. Del día 15 al 29 después del trasplante (intervalo de 14 días) se aplicó SN de Steiner al 75% con cuatro dosificaciones de 100 mL por día; la SN al 100% se utilizó a los 29 días después del trasplante (DDT) hasta el levantamiento del experimento el cual se realizó a los 108 DDT, en esta etapa se aumentaron a 5 y a 8 riegos de 100 mL por día según lo fue requiriendo el cultivo (**Figura 11**).

Figura 11: Calendario de uso de solución nutritiva a diferentes porcentajes de concentración, y de aplicación de tratamientos de salinidad y foliares.



SN: solución nutritiva; DDS: días después de la siembra; DDT: días después del trasplante; DDTI: días después de inicio de tratamientos.

7.8. Diseño de tratamientos y diseño experimental

Se realizaron dos experimentos independientes con el objetivo de evaluar los efectos de los elementos benéficos aplicados vía foliar en plantas de tomate sometidas a estrés salino. En el primer experimento el elemento benéfico evaluado fue el silicio (Si) y en el segundo el titanio (Ti).

En cada uno de los dos experimentos se utilizó un diseño experimental completamente al azar con un arreglo factorial. El primer factor fue la concentración de cloruro de sodio (NaCl), evaluado a los niveles 0,50 y 100 mM. El segundo factor fueron aplicaciones foliares del elemento benéfico a tres concentraciones (0, 75 y 100 mg L⁻¹, resultando nueve tratamientos por experimento. Cada tratamiento tuvo nueve repeticiones. En el **Cuadro 6** se presentan los tratamientos ensayados en cada experimento.

Cuadro 6: Tratamientos evaluados en los dos experimentos realizados.

Experimento I. Silicio			Experimento II. Titanio		
Tratamiento	NaCl, mM	Si foliar, mg L ⁻¹	Tratamiento	NaCl, mM	Ti foliar, mg L ⁻¹
1	0	0	1	0	0
2	0	75	2	0	75
3	0	150	3	0	150
4	50	0	4	50	0
5	50	75	5	50	75
6	50	150	6	50	150
7	100	0	7	100	0
8	100	75	8	100	75
9	100	150	9	100	150

La unidad experimental consistió en una planta sembrada en una bolsa a una distancia de 0.3 m de separación entre plantas y 0.8 m entre hileras.

La adición de NaCl a la solución nutritiva se efectuó a los 30 DDT; mientras que las aspersiones foliares se comenzaron a los 31 DDT, éstas se hicieron en ocho ocasiones a intervalos de diez días entre ellas. Las aspersiones foliares se realizaron a las seis de la mañana bañando las plantas hasta punto de goteo, aplicando un volumen promedio por planta de 50 mL. Para ayudar a que la solución asperjada se adhiriera a la lámina foliar se le agregó surfactante Tween™ 20 con una concentración de 0.5 g L⁻¹ (**Cuadro 7**). La fase experimental de la investigación se contabilizó a partir del trasplante y su duración fue de 108 días.

Cuadro 7: Concentración y dosis de Si y Ti a partir de dióxidos de silicio y titanio, respectivamente; y del surfactante adicionado a las soluciones foliares.

Experimento I. Silicio		
Si, mg L⁻¹	SiO₂, g L⁻¹	Tween™ 20, g L⁻¹
75	0.1604	0.5
150	0.3209	0.5

Experimento II. Titanio		
Ti, mg L⁻¹	TiO₂, g L⁻¹	Tween™ 20, g L⁻¹
75	0.1251	0.5
150	0.2503	0.5

7.9. Control de patógenos

Para eliminar la mosquita blanca (*Trialeurodes vaporariorum*) dentro del invernadero se hicieron cuatro aplicaciones de insecticida Actara 25 WG (Tiametoxam 25%, dosis: 2 g L⁻¹), éstas se realizaron cada vez que se detectaba presencia del insecto en el invernadero (tres aplicaciones durante la fase experimental).

Como preventivo del marchitamiento fungido “damping off”, se aplicó en sustrato, dos días después del trasplante Previcur (Propamocarb, dosis: 2 mL L⁻¹) fungicida sistémico en una dosis de 2 mL L⁻¹. Para prevenir hongos foliares como la cenicilla (*Leveillula taurica*) se usó Rally (Myclobutanil, 1 g L⁻¹)

7.10. Variables evaluadas

7.10.1. Variables de crecimiento

El crecimiento en planta fue evaluado mediante la medición del diámetro de tallo, altura de planta y número de hojas por planta. Estas variables fueron cuantificadas cada siete días durante la fase experimental (a partir de los 48 DDT y se finalizó a los 104 DDT). Asimismo, al final de la fase experimental se evaluó la biomasa seca por órganos. A continuación se describen las metodologías usadas en la medición de estas variables.

7.10.1.1. Altura de planta (AP). Se midió desde el sustrato hasta el ápice de crecimiento usando un flexómetro (Stanley Tylon).

7.10.1.2. Diámetro de tallo (DT). Se midió con un vernier digital (Truper), el punto de referencia fue a los 10 cm de altura, partiendo del nivel del sustrato.

7.10.1.3. Número de hojas (NH). Se contabilizó el número total de hojas por planta.

7.10.1.4. Peso de biomasa seca (PBS). A la cosecha 108 DDT cada planta fue dividida en dos secciones horizontales, fraccionando los órganos en hojas superiores e inferiores, tallos superiores e inferiores y raíces. Cada una de estas muestras fue secada en una estufa de aire forzado (RIOSSA, HCF-125D; **Figura 12a**) a 70 °C hasta alcanzar peso constante. Posterior al secado, se tomó el peso de cada una de las muestras usando una balanza analítica (ADAM, modelo CQT1501; **Figura 12b**).



Figura 12: Estufa de aire forzado (a) y balanza analítica (b) empleadas.

7.10.2. Variables de calidad de fruto

Se recolectaron 90 frutos en total, la recolección se obtuvo del segundo racimo de cada planta por tratamiento en el estado de madurez conocido como rojo (UPOV, 2001), para la evaluación de parámetros de calidad de frutos.

7.10.2.1. pH del jugo. En el jugo de tomate se determinó el pH usando un medidor portátil (Conductronic, PC18; Figura 13).



Figura 13: Potenciómetro Conductronic, PC18 usado para medir pH y CE.

7.10.2.2. Acidez titulable (% ácido cítrico). Se determinó por la metodología propuesta por la AOAC (Boland, 1990), se tomaron 5 mL de jugo y se llevaron a un volumen de 50 mL, esta solución se agitó hasta tener una mezcla homogénea y se tomó una alícuota de 10 mL la cual se tituló con NaOH 0.01 N, el porcentaje de acidez con base al ácido cítrico se calculó con la siguiente expresión:

$$\% \text{ ácido cítrico} = \frac{(\text{mL NaOH gastados})(N \text{ NaOH})(\text{meq del ácido})(V)(100)}{(\text{peso de la muestra})(\text{alícuota})}$$

Donde:

N = normalidad del NaOH.

meq = miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción en el fruto (ácido cítrico = 0.064).

V = volumen total

7.10.2.3. Conductividad eléctrica (dS m⁻¹). Esta variable se tomó con un medidor de conductividad (Conductronic, PC18, ver figura 13) para la medición se colocó el electrodo en jugo de tomate y se tomaron las lecturas.

7.10.2.4. Sólidos Solubles Totales (°Brix). Para medir esta variable se utilizó un refractómetro digital (ATAGO modelo PR-100, 0-32%; **Figura 14**), se colocó en la celda de lectura del dispositivo una gota de jugo extraída de cada uno de los frutos.



Figura 14: Refractómetro digital ATAGO modelo PR-100, 0-32%.

7.10.2.5. Firmeza (N). Se determinó con un texturómetro (Chantillón marca Force Five, modelo FDV-30) con punta cónica de 8 mm de diámetro, en la zona ecuatorial del fruto (**Figura 15**).



Figura 15: Texturómetro Chantillón marca Force Five, modelo FDV-30 usado en la determinación de la firmeza.

7.10.2.6. Peso del jugo (%). Se determinó el peso de fruto completo, posteriormente se obtuvo el jugo del tomate con un extractor (Hamilton Beach,

modelo: 67606-MX; **Figura 16**) y se estimó el porcentaje del peso total de fruto que correspondió al jugo.



Figura 16: Extractor de jugo comercial utilizado para obtener el jugo de tomate.

7.10.2.7. Parámetros de color. Los parámetros de color L (luminosidad), a (tonalidades de color verde con valores negativos o positivos para rojo) y b (valores negativos con tonalidades hacia el amarillo o positivo hacia el azul) se determinaron en dos puntos opuestos de la zona ecuatorial de cada fruto usando un colorímetro (Hunter Lab, modelo D25-PC2). Con los datos obtenidos en los parámetros antes mencionados, se calcularon el índice de saturación (croma) y el ángulo Hue como se describe a continuación:

$$\text{Croma} = (a^2 + b^2)^{1/2}$$

$$\text{Hue} = \arctan (b/a)$$

7.10.2.8. Licopeno. Se estimó la concentración de licopeno empleando la ecuación siguiente propuesta por [Arias et al. \(2000\)](#):

$$\text{Licopeno (mg 100 g}^{-1} \text{ peso fresco)} = 11.848 \times (a/b) + 1.5471$$

Donde “a” y “b” son los parámetros obtenidos con el colorímetro.

7.11. Análisis estadístico

Se realizaron con los resultados obtenidos, análisis de varianza de acuerdo a un diseño de tratamientos con arreglo factorial y pruebas de comparación de medias por Tukey ($P \leq 0.05$).

8. RESULTADOS. SILICIO

8.1. Variables de crecimiento

8.1.1. Peso de biomasa seca

El factor NaCl influyó de manera significativa los pesos de la biomasa seca de hojas superiores, y de tallos superiores e inferiores. En el caso de los tallos inferiores y superiores, a medida que incrementó la dosis de NaCl en la solución nutritiva, se redujo el peso de su biomasa. El tratamiento con 50 y 100 mM NaCl redujo en 27.59 y 59.78% el peso de biomasa seca de los tallos superiores e inferiores, respectivamente; mientras que con el incremento a 100 mM NaCl, las reducciones fueron del orden de 59.78% en tallos superiores y de 27.62% para tallos inferiores. El tratamiento con 50 mM NaCl incrementó en 21% el peso de biomasa seca de las hojas superiores respecto al testigo; sin embargo esta diferencia no fue significativa; mientras que con 100 mM NaCl la reducción en el peso de éstas en 23.5% fue significativa (**Cuadro 8**).

El factor Si no influyó de manera significativa el peso de biomasa seca de cada una de las fracciones analizadas (**Cuadro 8**).

Cuadro 8: Efectos principales y de interacción de los factores de estudio (NaCl y Si) en peso de biomasa seca de distintos órganos de plantas de tomate.

NaCl (mM)	Hojas superiores	Hojas inferiores	Tallos superiores	Tallos inferiores	Raíz
0	23.45 ± 2.57 a	16.43 ± 2.96 a	4.64 ± 0.59 a	9.92 ± 1.22 a	39.01 ± 24.57 a
50	28.38 ± 1.48 a	16.77 ± 2.61 a	3.36 ± 1.54 b	7.18 ± 0.49 b	19.56 ± 3.11 a
100	17.93 ± 2.00 b	13.29 ± 1.80 a	1.83 ± 0.23 c	3.99 ± 0.37 c	12.46 ± 1.96 a
DMS	5.42	5.62	1.2	1.65	32.68
CV	19.37	30.12	30.64	19.5	114.72

Si (mg L⁻¹)	Hojas superiores	Hojas inferiores	Tallos superiores	Tallos inferiores	Raíz
0	23.52 ± 3.65 a	14.67 ± 1.98 a	3.32 ± 0.91 a	6.57 ± 1.10 a	18.61 ± 3.61 a
75	22.05 ± 2.55 a	13.36 ± 2.67 a	3.02 ± 0.59 a	6.58 ± 1.30 a	14.87 ± 1.85 a
150	24.19 ± 2.76 a	18.47 ± 2.42 a	3.48 ± 0.78 a	7.93 ± 1.89 a	37.56 ± 24.97 a
DMS	5.42	5.62	1.2	1.65	32.68
CV	19.37	30.12	30.64	19.5	114.72

NaCl (mM) x Si (mg L⁻¹)	Hojas superiores	Hojas inferiores	Tallos superiores	Tallos inferiores	Raíz
0-0	23.33 ± 3.42 a	13.70 ± 0.90 a	4.57 ± 0.76 ab	8.61 ± 0.92 ab	21.54 ± 2.75 a
0-75	21.49 ± 2.11 a	12.9-9 ± 3.16 a	4.13 ± 0.28 abc	8.86 ± 1.05 ab	18.98 ± 0.60 a
0-150	25.52 ± 2.70 a	22.61 ± 1.62 a	5.22 ± 0.73 a	12.29 ± 0.87 a	76.52 ± 40.17 a
50-0	30.02 ± 2.04 a	17.61 ± 2.13 a	3.90 ± 0.90 abc	6.93 ± 0.37 bc	22.01 ± 4.34 a
50-75	26.81 ± 1.07 a	14.19 ± 3.97 a	3.25 ± 0.39 abc	7.10 ± 0.44 bc	14.85 ± 0.64 a
50-150	28.30 ± 1.21 a	18.52 ± 1.71 a	2.93 ± 0.21 abc	7.51 ± 0.76 bc	21.82 ± 2.67 a
100-0	17.20 ± 2.57 a	12.70 ± 2.30 a	1.50 ± 0.10 c	4.17 ± 0.33 c	12.28 ± 1.78 a
100-75	17.85 ± 2.28 a	12.90 ± 1.52 a	1.69 ± 0.03 c	3.78 ± 0.63 c	10.77 ± 0.57 a
100-150	18.75 ± 1.92 a	14.27 ± 2.20 a	2.30 ± 0.28 bc	4.00 ± 0.13 c	14.34 ± 3.08 a
DMS	12.89	13.36	2.87	3.92	77.73
CV	19.37	30.12	30.64	19.5	114.72

Medias \pm DE en cada columna y factor de estudio con letras distintas indican diferencias estadísticas significativa (Tukey, 0.05). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

Por otra parte, la interacción de los factores de estudio tuvo efecto significativo solo en la biomasa seca de los tallos. Estos resultados muestran que los pesos se reducen con el incremento en el nivel de NaCl, de manera independiente del nivel del factor Si; es importante también notar que en ausencia de NaCl, el tratamiento con 150 mg Si L⁻¹ incrementó en 14.2% el peso de biomasa de tallos superiores respecto al testigo sin adición de Si también en ausencia de salinidad; esta misma tendencia se aprecia con 100 mM NaCl, donde el tratamiento con la dosis alta de Si aumentó en 53.33% el peso de la biomasa seca de los tallos superiores. En tallos inferiores sin NaCl y con 50 mM, la adición de 150 mg Si L⁻¹ incrementó la biomasa en 42.3 y 8.4%, en comparación con los tratamientos con el mismo nivel de NaCl y sin tratamiento con Si. Es pertinente indicar que estos aumentos no son estadísticamente significativos (**Cuadro 8**).

8.1.2. Altura de la planta, diámetro de tallo y número de hojas

La adición de NaCl a la solución nutritiva presentó efectos diferenciales en la altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas en tomate. A partir de los 50 DDTI, la adición de NaCl tanto a dosis de 50 como de 100 mM, redujo de manera significativa la altura de planta. En promedio, después de 75 DDTI la altura de planta fue menor en 13.3 y 22% en comparación con el testigo cuando se trataron las plantas con 50 y 100 mM NaCl. En lo que respecta a la variable diámetro de tallo; ésta solo fue reducida de manera significativa con la dosis alta de NaCl evaluada (100 mM), con reducciones del 14, 18.5 y 12% después de 25, 50 y 75 DDTI, respetivamente, en comparación con las plantas no tratadas con NaCl en cada fecha de muestreo. El número de hoja no fue influenciado de manera significativa por la adición de NaCl a la solución nutritiva (**Cuadro 9**).

El efecto principal de Si en la altura de planta solo fue significativo 75 DDTI, donde la concentración baja de este elemento (75 mg L⁻¹) la redujo en 16.5% en comparación con el testigo. En los tres muestreos realizados, la media más alta en diámetro de tallo se tuvo con el tratamiento de Si a dosis de 150 mg L⁻¹, pero esta

no fue estadísticamente diferente a la altura del testigo. Al igual que en diámetro de tallo, la dosis alta de Si evaluada tendió a incrementar el número de hojas por planta; en particular, en el muestreo realizado 50 DDTI, este tratamiento incrementó el número de hojas en casi 10 respecto al testigo, lo que significó un incremento del 13.6% (**Cuadro 10**).

La interacción de los factores de estudio tuvo influencia significativa en la altura de planta, diámetro de tallo y número de hojas. De manera general, los tratamientos con 100 mM NaCl sin suministro de Si y con la aplicación de este elemento a dosis de 75 mg L⁻¹ mostraron la menor altura de planta en los tres muestreos; en los dos últimos siendo éstos estadísticamente diferentes al tratamiento sin NaCl y sin aplicación foliar de Si. Es importante destacar que la altura de planta, en el tratamiento con 100 mM NaCl con la dosis alta de Si (150 mg L⁻¹) en las tres fechas de evaluación no fue estadísticamente diferente al testigo; estos resultados indican un efecto positivo del Si, al reducir el efecto detrimental que tiene el NaCl en el crecimiento de la planta. Las mismas tendencias observadas en altura de planta se tuvieron en el diámetro de tallo. En lo que respecta al número de hojas, en la primera evaluación realizada no hubo efecto de tratamientos. En la evaluación a los 50 DDTI, solo se observó reducción significativa en el diámetro de tallo en el tratamiento con 50 mM NaCl y la dosis de 75 mg Si L⁻¹; esto respecto a los diámetros registrados en los tratamientos sin salinidad y con 50 mM NaCl, en ambos casos con el suministro foliar de Si a la dosis alta evaluada (150 mg L⁻¹). Después de 75 DDTI, el número de hojas solo fue estadísticamente superior en el tratamiento consistente en el tratamiento con 50 mM NaCl y la aplicación foliar de 150 mg Si L⁻¹; asimismo, en este muestreo destaca que el número de hojas fue en general menor en plantas sin tratamiento con NaCl (**Cuadro 11**).

Cuadro 9: Efecto principal del factor de estudio NaCl, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).

NaCl (mM)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)			Número de hoja		
	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI
0	67.20 ± 2.81 a	74.57 ± 2.59 a	84.11 ± 4.39 a	9.51 ± 0.51 a	10.62 ± 0.50 a	11.22 ± 0.48 a	19.81 ± 1.65 a	28.07 ± 2.19 a	36.48 ± 1.95 b
50	63.31 ± 2.76 ab	68.28 ± 2.78 b	72.91 ± 4.74 b	9.20 ± 0.43 a	10.15 ± 0.46 a	11.47 ± 0.80 a	17.18 ± 1.26 a	26.58 ± 2.66 a	50.71 ± 9.07 a
100	57.71 ± 2.05 b	61.38 ± 2.14 c	65.57 ± 2.70 b	8.18 ± 0.28 b	8.66 ± 0.45 b	9.86 ± 0.36 b	17.66 ± 1.08 a	27.63 ± 1.46 a	46.17 ± 4.26 a
DMS	5.82	5.54	6.42	0.86	1.03	0.83	3.08	3.66	9.28
CV	7.71	6.76	7.13	8.06	8.79	6.37	14.08	11.11	17.35

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativa (Tukey, 0.05). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

Cuadro 10: Efecto principal del factor de estudio Si, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).

Si (mg L ⁻¹)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)			Número de hoja		
	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI
0	62.46 ± 3.22 a	67.73 ± 3.94 a	79.96 ± 4.75 a	8.99 ± 0.58 ab	9.60 ± 0.73 ab	10.74 ± 0.53ab	17.87 ± 1.00 b	27.07 ± 1.03 b	43.94 ± 4.84 ab
75	62.24 ± 3.67 a	66.13 ± 3.91 a	66.76 ± 4.03 b	8.37 ± .35 b	9.31 ± 0.50 b	10.35 ± 0.38 b	16.77 ± 1.12 ab	24.46 ± 2.08 b	38.90 ± 6.01 b
150	63.51 ± 2.91 a	70.38 ± 3.17 a	77.86 ± 4.69 a	9.53 ± 0.35 a	10.53 ± 0.48 a	11.36 ± 0.55 a	20.01 ± 1.67 a	30.75 ± 1.83 a	50.53 ± 7.43 a
DMS	5.82	5.54	6.42	0.86	1.03	0.83	3.08	3.66	9.28
CV	7.71	6.76	7.13	8.06	8.79	6.37	14.08	11.11	17.35

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

Cuadro 11: Efectos interactivos de los factores de estudio NaCl y Si, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).

NaCl (mM) - Si (mg L ⁻¹)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)			Número de hoja		
	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI
0-0	68.16 ± 2.53 ab	76.26 ± 2.80 a	90.10 ± 2.99 a	9.91 ± 0.55 a	10.50 ± 0.71 abc	11.10 ± 0.45 abc	19.50 ± 0.43 a	27.23 ± 0.32 ab	36.83 ± 1.18 b
0-75	69.83 ± 0.63 a	73.96 ± 0.88 ab	74.66 ± 3.15 bcd	8.51 ± 0.36 ab	10.02 ± 0.39 abc	10.45 ± 0.27 abc	17.66 ± 1.38 a	24.16 ± 1.38 ab	34.56 ± 3.11 b
0-150	63.60 ± 4.12 ab	73.00 ± 3.59 ab	87.56 ± 2.59 ab	10.11 ± 0.23 a	11.34 ± 0.16 a	12.11 ± 0.34 a	22.26 ± 2.18 a	32.83 ± 1.66 a	38.06 ± 1.35 b
50-0	59.76 ± 3.15 ab	64.66 ± 1.04 abc	78.56 ± 3.45 abc	8.99 ± 0.61 ab	10.05 ± 0.71 abc	11.63 ± 0.23 ab	16.40 ± 0.68 a	26.00 ± 0.50 ab	52.43 ± 4.97 ab
50-75	62.33 ± 2.75 ab	66.26 ± 3.39 abc	61.73 ± 1.38 d	8.90 ± 0.25 ab	9.78 ± 0.10 abc	10.98 ± 0.30 abc	15.90 ± 1.57 a	21.66 ± 2.57 b	31.06 ± 5.97 b
50-150	67.83 ± 0.49 ab	73.93 ± 0.20 ab	78.43 ± 2.42 abc	9.71 ± 0.40 ab	10.62 ± 0.46 ab	11.80 ± 0.26 a	19.26 ± 0.98 a	32.10 ± 0.93 a	68.63 ± 1.67 a
100-0	59.46 ± 2.63 ab	61.76 ± 2.38 bc	71.23 ± 1.18 cd	8.07 ± 0.20 ab	8.25 ± 0.29 bc	9.79 ± 0.44 bc	17.73 ± 1.24 a	28.00 ± 1.77 ab	42.56 ± 4.58 b
100-75	54.56 ± 1.45 b	58.18 ± 1.46 c	63.90 ± 4.16 cd	7.70 ± 0.11 b	8.12 ± 0.23 c	9.63 ± 0.26 b	16.76 ± 0.32 a	27.56 ± 1.50 ab	51.06 ± 3.69 ab
100-150	59.10 ± 1.50 ab	64.23 ± 1.87 abc	67.60 ± 0.58 cd	8.77 ± 0.21 ab	9.62 ± 0.38 abc	10.16 ± 0.46 abc	18.50 ± 1.56 a	27.33 ± 1.76 ab	44.90 ± 4.84 b
DMS	13.85	13.18	15.28	2.06	2.46	1.98	7.34	8.72	22.07
CV	7.71	6.79	7.13	8.06	8.79	6.37	14.08	11.11	17.35

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

8.2. Variables de calidad de fruto

8.2.1. pH del jugo del fruto

El aumento en la concentración de NaCl en la solución nutritiva incrementa la acidez del jugo del fruto como se observa en la **Figura 17a**. El valor del pH de fruto disminuyó 2.72 y 7.90% con la adición de NaCl en concentraciones de 50 y 100 mM respectivamente, ambas en comparación al testigo.

Por otra parte, también el efecto del Si en el pH del jugo de fruto fue significativo; observándose que solo la concentración baja de este elemento (75 mg L⁻¹) redujo significativamente el valor del pH (**Figura 17b**).

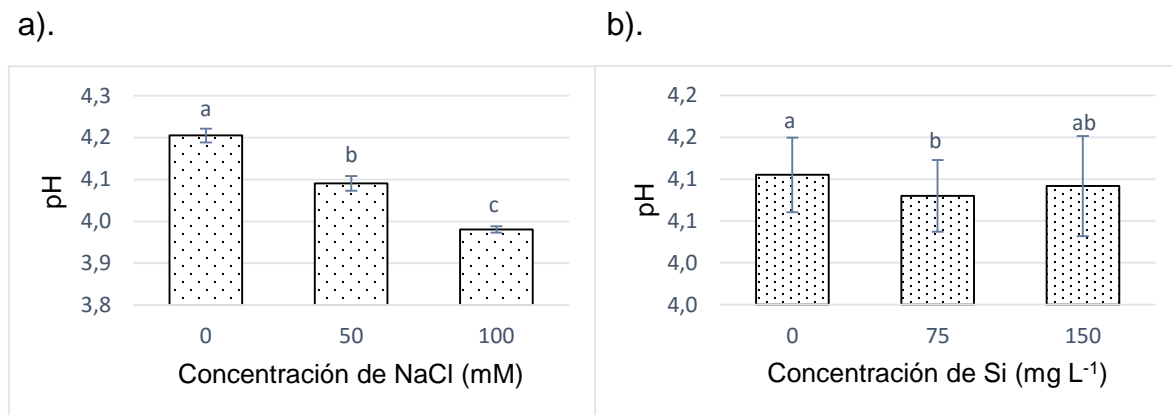


Figura 17: Efectos principales del NaCl (a) y de Si (b) en el pH del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 18** se puede observar que la interacción de los factores de estudio mostró efectos significativos en el pH del jugo del fruto. La aplicación de Si en la dosis alta (150 mg L⁻¹) en ausencia de salinidad, aumentó de forma significativa el pH del jugo, siendo superior en 1.25%, al valor registrado en el testigo absoluto (0-0). En los tratamientos con 50 mM de NaCl, se observó con ambas dosis de Si suministrado vía foliar una reducción significativa en el valor del pH; mientras que con alta salinidad (100 mM) la adición de Si no tuvo influencia en esta variable.

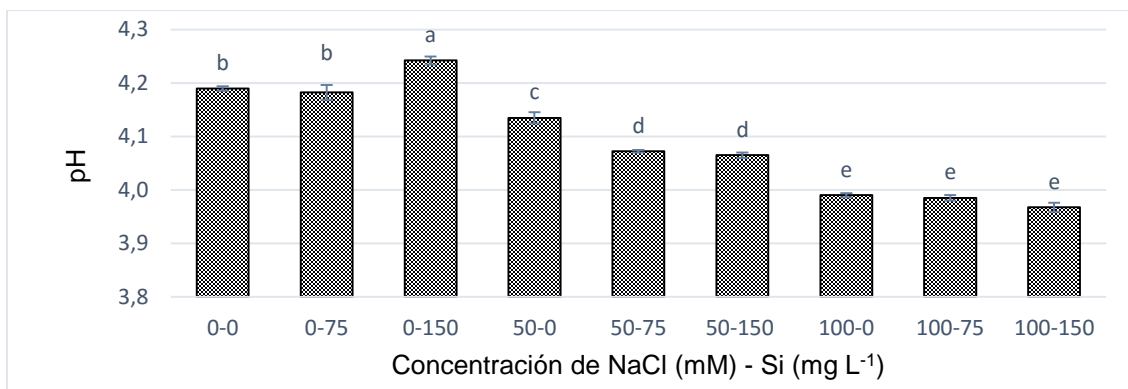
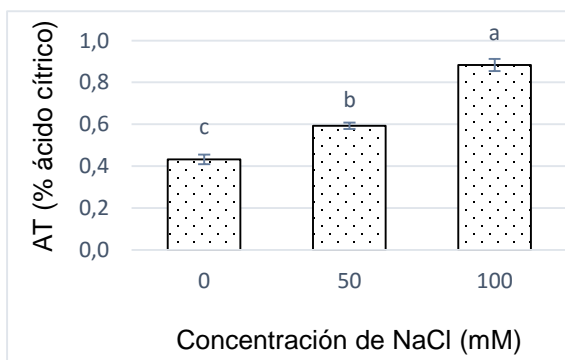


Figura 18: Efectos interactivos del NaCl y Si en el pH del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

8.2.2. Acidez titulable

La adición de NaCl a la solución nutritiva incrementó significativamente la acidez titulable del jugo del fruto; estos incrementos fueron del orden del 37.2 y 104.3%, con 50 y 100 mM respectivamente, en comparación con el testigo (**Figura 19a**). El efecto principal de la aspersion foliar de Si no fue significativo en la acidez titulable de frutos (**Figura 19b**).

a).



b).

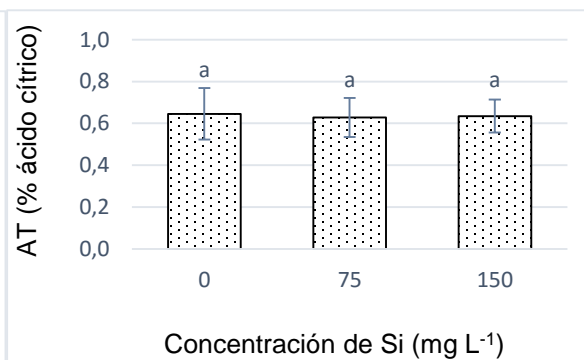


Figura 19: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en acidez titulable (AT) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 20** se presenta el efecto de la interacción de los factores de estudio en la acidez titulable del jugo de frutos, el cual fue significativo. Se observa que a medida que el nivel de NaCl en la solución nutritiva aumenta, se incrementa la acidez titulable del jugo del fruto. Por otra parte, el Si tiene efectos diferenciales en la acidez titulable de fruto, dependiendo éstos de la concentración de NaCl en la solución nutritiva. En el tratamiento sin NaCl los dos niveles de Si evaluados (75 y 150 mg L⁻¹) aumentaron la AT en un 21.55% en promedio, con respecto al testigo (0-0). Con la dosis baja (50 mM), el Si no tuvo efecto significativo. Por el contrario, con alta salinidad (100 mM) se observa que las dos dosis de Si suministradas vía foliar reducen significativamente la acidez titulable, en promedio en 10.6% con respecto al testigo (100-0), y no existe diferencia significativa entre ellas.

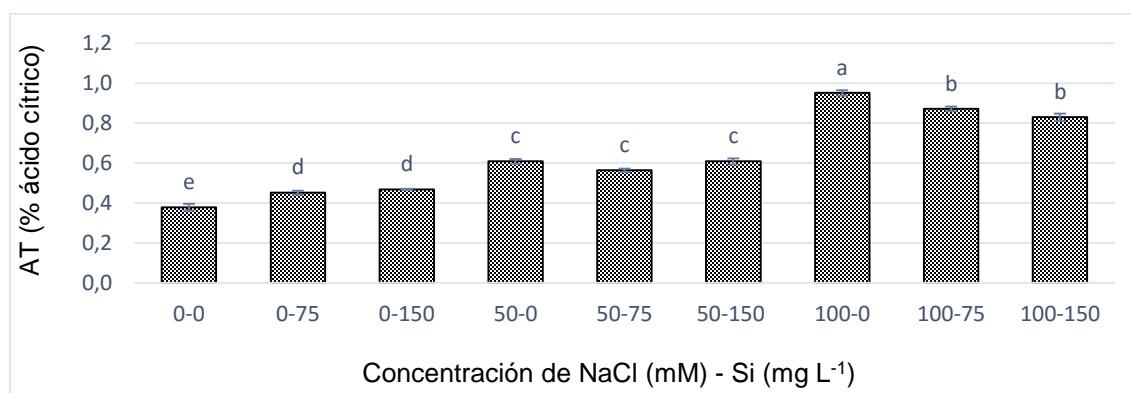
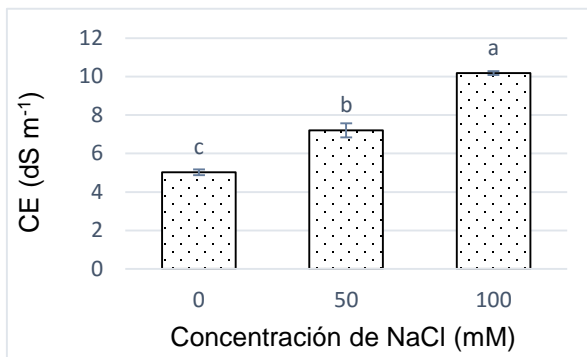


Figura 20: Efectos interactivos del NaCl y Si en la acidez titulable (AT) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

8.2.3. Conductividad eléctrica del jugo del fruto

La adición de NaCl en los dos niveles evaluados (50 y 100 mM) vía fertirriego incrementó la CE del jugo del fruto de forma significativa (**Figura 21a**) en comparación con el testigo, los incrementos fueron de 43.3 y 102.7% respectivamente. En la **Figura 21b** se observa que la aplicación foliar de 75 mg SiO₂ L⁻¹ no tuvo efecto significativo en la CE del jugo del fruto, sin embargo el tratamiento 150 mg SiO₂ L⁻¹ disminuyó de manera significativa la CE del jugo, siendo dicho decremento del 6.1% en comparación con el testigo.

a).



b).

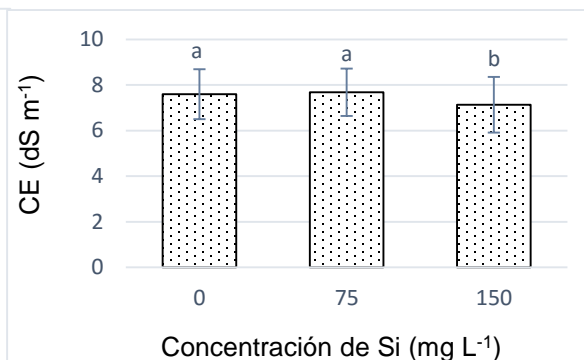


Figura 21: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en la conductividad eléctrica (CE) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 22** se presenta el efecto de la interacción de los factores de estudio en la CE del jugo de frutos, el cual fue significativo. Se observa que a medida que el nivel de NaCl en la solución nutritiva aumenta, se incrementa el valor de la CE. Por otra parte, el Si tiene efectos diferentes en la variable de estudio, dependiendo de la concentración de salinidad en la solución nutritiva. Sin tratamiento con NaCl el Si no tuvo efecto significativo; con la dosis baja de NaCl (50 mM), la aplicación de 75 mg L⁻¹ de Si no presenta diferencias significativas, no obstante la aplicación de 150 mg L⁻¹ disminuye la CE significativamente en un 13.6% con respecto al testigo (50-0). Con alta salinidad (100 mM) el Si no presentó efectos significativos con respecto al testigo (100-0).

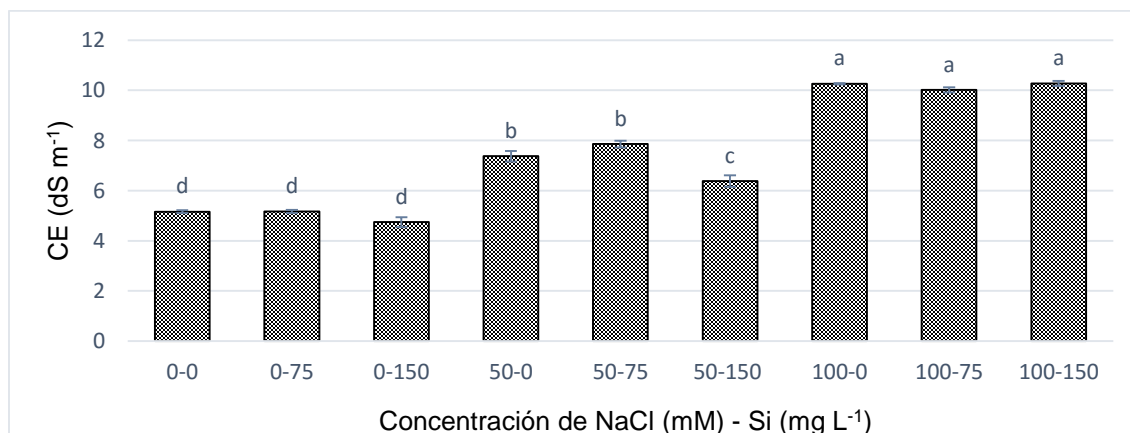


Figura 22: Efectos interactivos del NaCl y Si en la conductividad eléctrica (CE) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

8.2.4. Sólidos solubles totales (°Brix)

El efecto del NaCl en los sólidos solubles totales (SST) del jugo del fruto, fue altamente significativo como se puede apreciar en la **Figura 23a**; se observa que la aplicación de 50 y 100 mM de NaCl aumentaron la concentración de SST en 51 y 95% respectivamente, ambas con respecto al testigo.

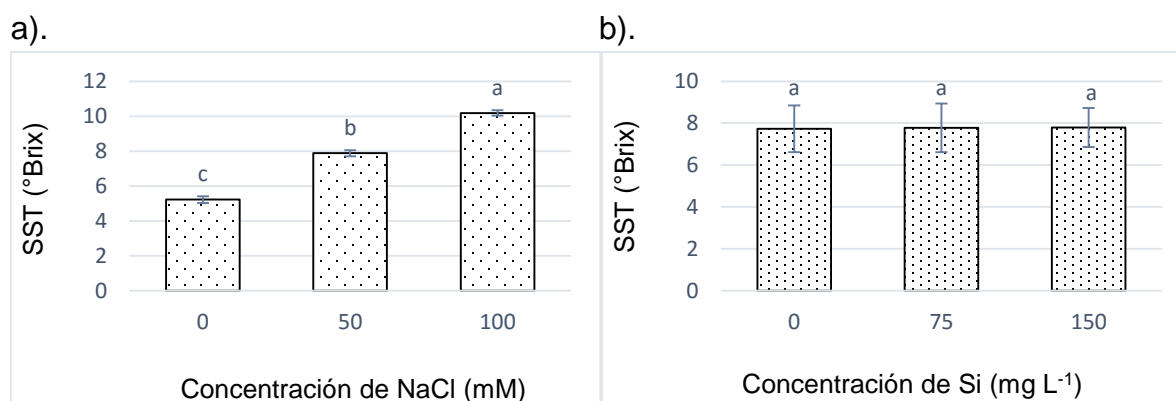


Figura 23: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en los sólidos solubles totales (SST, °Brix) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

Por otro lado, el efecto principal del Si no fue significativo en esta variable (**Figura 23b**).

La interacción de los factores de estudio mostró efectos significativos en los SST, observándose una relación positiva entre la concentración de SST y la concentración de NaCl en la solución nutritiva. El Si solo incrementó en 14.4% los SST del jugo con la dosis alta evaluada (150 mg L⁻¹) en ausencia de salinidad, lo anterior en comparación con el testigo.

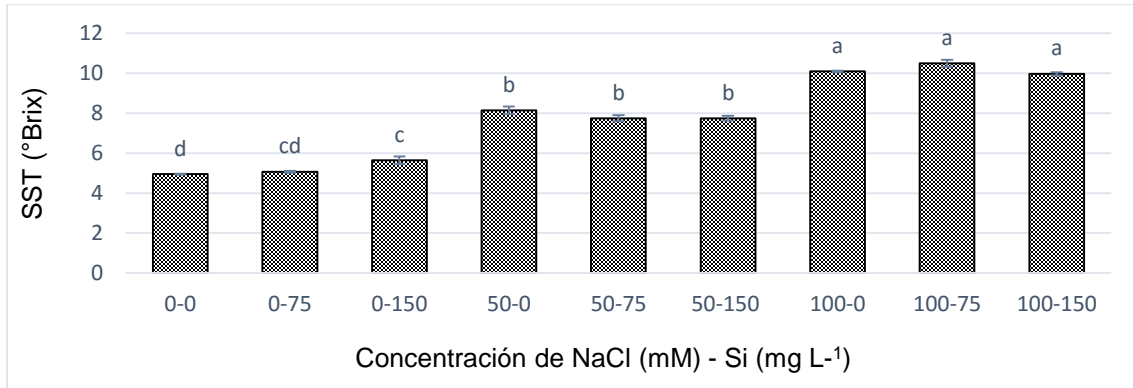
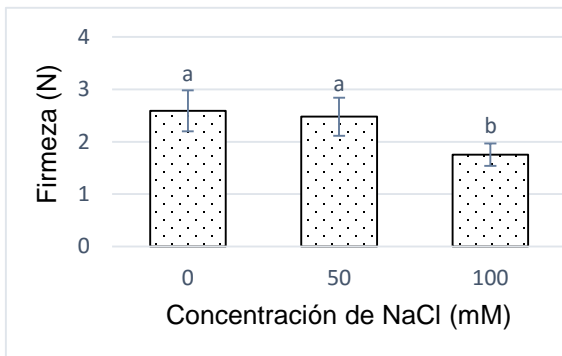


Figura 24: Efectos interactivos del NaCl y Si en los sólidos solubles totales (SST, °Brix) de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

8.2.5. Firmeza del fruto

Los efectos principales de ambos factores de estudio fueron significativos en la firmeza de los frutos. Por un lado, se observa que se reduce la firmeza de los frutos cuando las plantas fueron tratadas con 100 mM de NaCl en comparación con el testigo (**Figura 25a**). En el caso del Si la respuesta fue contraria a la observada para NaCl, la aspersion foliar de Si a razón de 75 y 150 mg L⁻¹, incrementaron la firmeza de los frutos 14.8 y 33.9% respectivamente, en comparación con el testigo; sin embargo, el tratamiento con 75 mg L⁻¹ no fue estadísticamente diferente al testigo (**Figura 25b**).

a).



b).

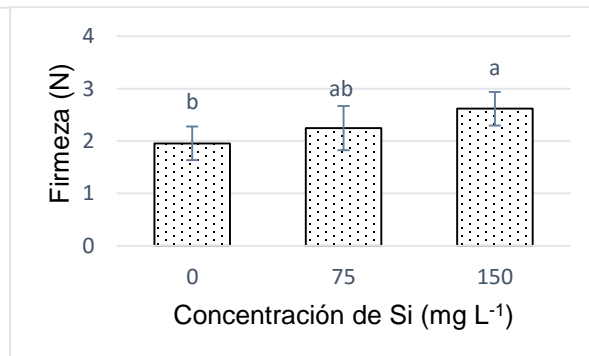


Figura 25: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en la firmeza de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, $P \leq 0.05$).

Los efectos de interacción de los factores de estudio fueron significativos; en estos resultados se observa una relación negativa entre la firmeza y la concentración de NaCl en la solución nutritiva. Asimismo, las aplicaciones de Si incrementan la firmeza de los frutos independientemente de la concentración de NaCl en la solución nutritiva; sin embargo, estos incrementos no son estadísticamente significativos (**Figura 26**).

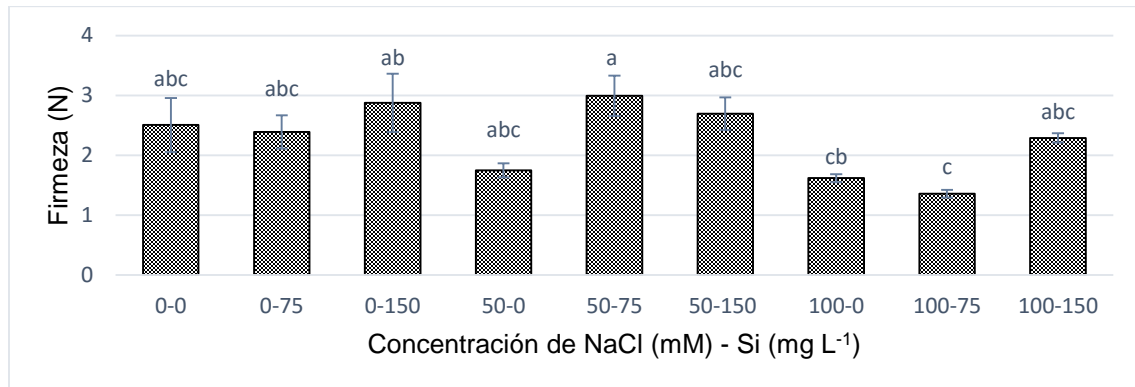
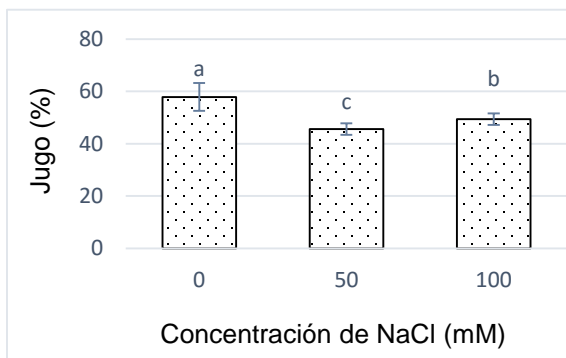


Figura 26: Efectos interactivos del NaCl y Si en la firmeza de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

8.2.6. Porcentaje de jugo en el fruto

Los efectos simples de los factores estudiados tuvieron efectos significativos en el porcentaje de jugo de fruto (**Figura 27**).

a).



b).

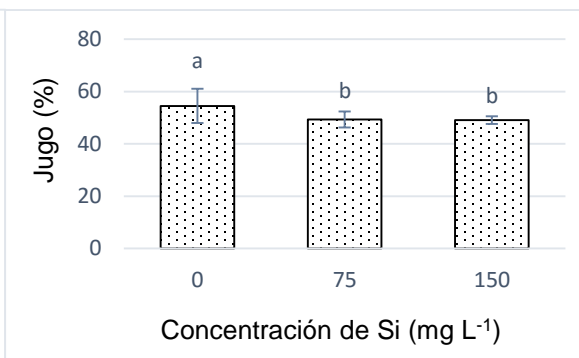


Figura 27: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en el porcentaje de jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

El porcentaje de peso del jugo de fruto disminuyó 21.2 y 14.7% al aplicar 50 y 100 mM de NaCl respectivamente, en comparación con el testigo (**Figura 27a**). Por otro lado, las aplicaciones foliares de Si disminuyeron el peso del jugo en promedio en 9.7% respecto al testigo (**Figura 27b**).

En la **Figura 28** se puede observar que la interacción de los factores de estudio tuvo efectos significativos en el porcentaje de jugo del fruto. Solo cuando en la solución nutritiva no se adicionó NaCl se observó diferencia estadística entre los tratamientos foliares con Si, donde las concentraciones 75 y 150 mg L⁻¹ de éste disminuyeron el peso del jugo 26.2 y 31.3% con respecto al testigo (0-0).

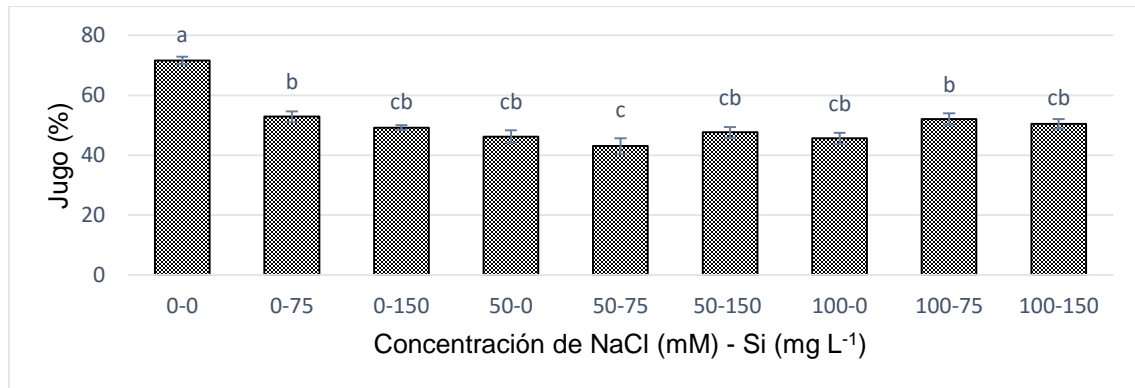


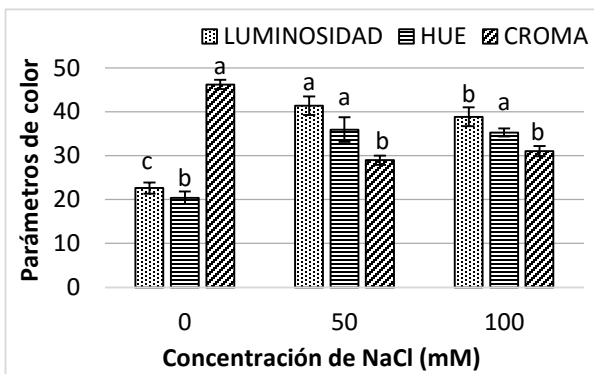
Figura 28: Efectos interactivos del NaCl y Si en el porcentaje de jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

8.2.7. Atributos del color del fruto

La adición en tres niveles de NaCl (0, 50, y 100 mM) vía fertirriego presenta efectos diferenciales en los atributos de color como luminosidad, tono (ángulo Hue), y el índice de saturación (Croma) del fruto de tomate. La luminosidad del fruto incrementó en 83.1 y 71.9% con los tratamientos de 50 y 100 mM NaCl, respectivamente, respecto al testigo. De la misma manera, el ángulo Hue tuvo un aumento medio de 74% con ambas concentraciones de NaCl en comparación con el testigo. Por el contrario, el índice de saturación disminuyó en 35% en promedio, en comparación con el testigo, cuando la solución nutritiva contenía NaCl (**Figura 29a**).

La aplicación foliar de Si no afectó el ángulo Hue ni el croma de frutos de tomate; por el contrario, redujo de manera significativa en su concentración de 150 mg L⁻¹ la luminosidad de fruto, dicha reducción fue de 7.5% respecto al testigo (**Figura 29b**).

a).



b).

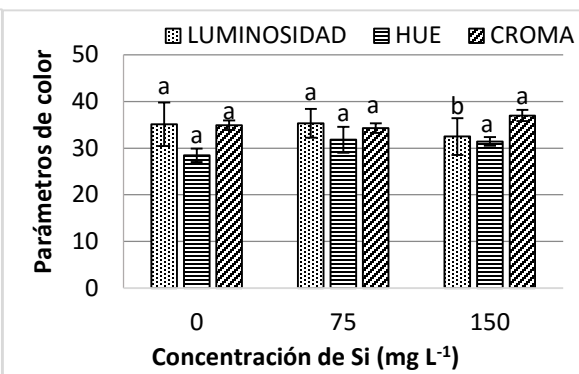


Figura 29: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en parámetros del color de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 30** se presenta el efecto de la interacción de los factores de estudio en los atributos del color de frutos. Se observa que solo en los tratamientos con NaCl, la aplicación foliar de Si redujo la luminosidad del fruto. Por otro lado, el ángulo Hue no fue influenciado por el Si, mientras que el NaCl lo incrementó, independientemente de su concentración. Por el contrario el croma fue significativamente menor en los tratamientos con NaCl y no fue influenciado por el Si entre niveles de salinidad.

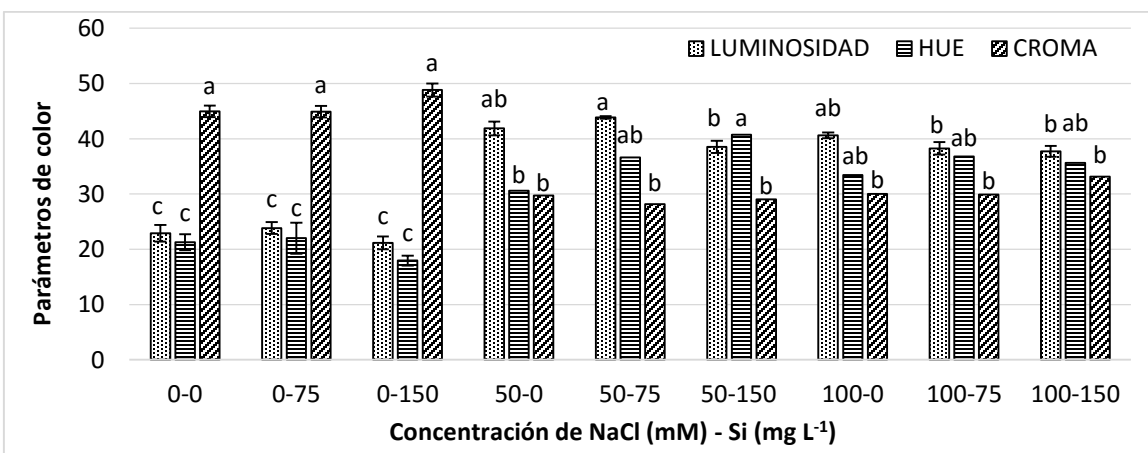
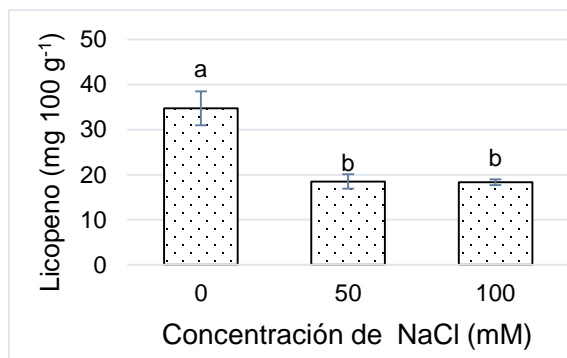


Figura 30: Efectos interactivos del NaCl y S₂ en los atributos de color de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

8.2.8. Licopeno

La adición de NaCl a la solución nutritiva disminuyó significativamente la concentración de licopeno del fruto en comparación con el testigo (**Figura 31a**). Estos decrementos fueron en promedio de 47%. El efecto principal de la aspersion foliar de Si no fue significativo en la concentración de licopeno en frutos (**Figura 31b**).

a).



b).

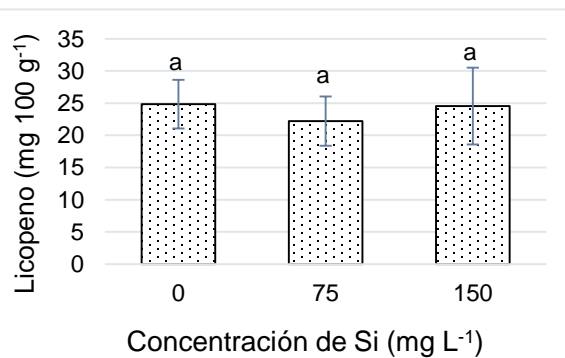


Figura 31: Efectos principales del NaCl (a) y Si (b) en la concentración de licopeno en frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 32** se presenta el efecto de la interacción de los factores de estudio en la concentración de licopeno en frutos, mismo que fue significativo solo entre niveles de NaCl en la solución nutritiva. Se observa que el aumento de 50 y 100 mM de NaCl en la solución nutritiva, disminuye significativamente el contenido de licopeno del fruto, ambos con respecto al testigo. Por otra parte, el Si no tuvo efectos en la concentración de licopeno del fruto, entre niveles de salinidad.

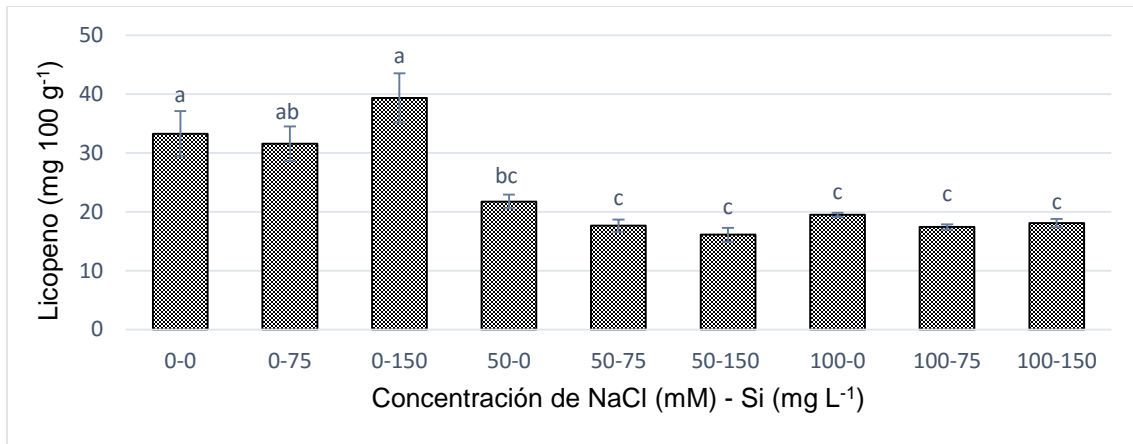


Figura 32: Efectos interactivos del NaCl y Si en la concentración de licopeno en frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

9. RESULTADOS. TITANIO

9.1 Variables de crecimiento

9.1.1. Peso de biomosas secas

En el **Cuadro 12** se presentan los efectos principales y de interacción de los factores de estudio en los pesos de biomasa seca de los diferentes órganos de la planta y sus fracciones. Por un lado, el peso seco de hojas superiores fue mayor 20% en tratamientos con 50 mM NaCl, mientras que, con 100 mM fue menor 23% ambos valores no fueron significativos en comparación con su testigo; en hojas inferiores (HI) la aplicación de 50 mM NaCl incrementó significativamente 58% el peso seco, sin embargo con 100 mM NaCl no hubo diferencia significativa, ambos valores en comparación con su testigo; en tallos superiores (TS) la dosis salina con 100 mM NaCl disminuyó significativamente 66% el peso de la variable, en comparación con su testigo; en tallos inferiores (TI) se tuvo una disminución significativa de 53% con 100 mM NaCl, en comparación con su testigo; por otro lado, en raíz la aplicación de 100 mM NaCl disminuyó significativamente 41%. El efecto del titanio y la interacción de NaCl-Ti no fueron significativos para todas las variables medidas.

Cuadro 12: Efectos principales y de interacción de los factores de estudio (NaCl y Ti) en peso de biomasa seca de distintos órganos de plantas de tomate.

NaCl (mM)	Hojas superiores	Hojas inferiores	Tallos superiores	Tallos inferiores	Raíz
0	21.87 ± 3.31ab	13.53 ± 1.27b	4.07 ± 0.65a	8.16 ± 0.95a	19.83 ± 3.82a
50	26.26 ± 2.34a	21.37 ± 2.30a	3.31 ± 0.58a	7.83 ± 0.65a	22.89 ± 3.96a
100	16.79 ± 2.51b	13.10 ± 1.68b	1.38 ± 0.14b	3.79 ± 0.23b	11.69 ± 1.13b
DMS	6.34	4.33	1.23	1.73	7.66
CV	24.34	22.51	35.18	21.86	35.1

Ti (mg L⁻¹)	Hojas superiores	Hojas inferiores	Tallos superiores	Tallos inferiores	Raíz
0	23.52 ± 3.65a	14.67 ± 1.98a	3.32 ± 0.91a	6.57 ± 1.10a	18.61 ± 3.61a
75	17.81 ± 2.58a	15.94 ± 3.19a	2.38 ± 0.55a	6.54 ± 1.33a	14.52 ± 3.21a
150	23.59 ± 3.04a	17.38 ± 2.60a	3.06 ± 0.76a	6.67 ± 1.31a	21.28 ± 4.53a
DMS	6.34	4.33	1.23	1.73	7.66
CV	24.34	22.51	35.18	21.86	35.1

NaCl (mM) x Ti (mg L⁻¹)	Hojas superiores	Hojas inferiores	Tallos superiores	Tallos inferiores	Raíz
0-0	23.35 ± 3.43ab	13.70 ± 0.90ab	4.57 ± 0.76a	8.61 ± 0.92a	21.54 ± 2.75a
0-75	18.88 ± 3.01ab	12.63 ± 1.39b	3.28 ± 0.55abc	7.51 ± 0.96abc	13.37 ± 0.60a
0-150	23.39 ± 4.25ab	14.25 ± 1.80ab	4.36 ± 0.66abc	8.37 ± 1.27a	24.58 ± 5.02a
50-0	30.02 ± 2.04a	17.61 ± 2.13ab	3.90 ± 0.90abc	6.93 ± 0.37abc	22.01 ± 4.34a
50-75	21.37 ± 1.71ab	23.09 ± 2.81a	2.61 ± 0.29abc	8.54 ± 1.00a	20.19 ± 4.53a
50-150	27.39 ± 0.11ab	23.40 ± 0.86a	3.43 ± 0.35abc	8.01 ± 0.23ab	26.48 ± 3.92a
100-0	17.20 ± 2.57ab	12.70 ± 2.30b	1.50 ± 0.10c	4.17 ± 0.33bc	12.28 ± 1.78a
100-75	13.19 ± 1.18b	12.11 ± 1.45b	1.25 ± 0.10c	3.57 ± 0.10c	10.00 ± 0.37a
100-150	19.98 ± 2.91ab	14.48 ± 1.65ab	1.39 ± 0.22c	3.63 ± 0.08c	12.79 ± 0.41a
DMS	15.07	10.3	2.94	4.12	18.22
CV	24.34	22.51	35.18	21.86	35.10

Medias \pm DE en cada columna y factor de estudio con letras distintas indican diferencias estadísticas significativa (Tukey, 0.05). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

9.1.2. Altura de la planta (AP), Diámetro de tallo (DT), Número de hojas (NH)

La adición de NaCl a la solución nutritiva presentó efectos diferenciales en las variables de crecimiento de plantas de tomate. El tratamiento con 100 mM NaCl redujo la altura de planta en 58.7, 15.2 y 19.3% a los 25, 50 y 75 DDT, respectivamente, en comparación con el testigo. Por otra parte, el diámetro de tallo solo fue diferente en los muestreos realizados a los 25 y 75 DDT; en ambos casos, el diámetro de tallo fue menor con el tratamiento con 100 mM NaCl, con reducciones del 19.1 y 12.6%, respectivamente, en comparación con el testigo. El número de hojas fue menos afectado por los tratamientos al registrar solo diferencias estadísticas entre tratamientos en el muestreo realizado a 75 DDT. El mayor número de hojas se tuvo en el tratamiento con 50 mM NaCl, que superó en 15.3% el número de hojas del tratamiento testigo y en 24.1% el número de hojas del tratamiento con 50 mM NaCl (**Cuadro 13**).

El efecto principal de la aspersion foliar de Ti no fue significativo en las variables de crecimiento de plantas de tomate como se observa en el **Cuadro 14**. En lo que respecta a la altura de planta obtenida por la interacción de los factores de estudio se observa que entre niveles de NaCl no existe diferencia atribuible a los niveles de Ti. En particular, a los 25 DDT solo fueron estadísticamente distintas las alturas de plantas del testigo (0 mM NaCl y 0 mg Ti L⁻¹) y las del tratamiento con las dosis altas de NaCl y de Ti (100 mM NaCl y 150 mg Ti L⁻¹). De manera consistente, después de 50 y 75 DDT, las plantas con menor crecimiento fueron aquellas tratadas con 100 mM NaCl, independientemente del tratamiento con Ti. El diámetro de tallo, solo fue afectado de manera significativa por los tratamientos en la evaluación realizada a 75 DDTI, donde el tratamiento con 50 mM NaCl sin aplicación foliar de Ti y con su suministro a dosis de 75 mg L⁻¹, tuvieron diámetros de tallo estadísticamente superiores al diámetro de tallo de las plantas tratadas con 100 mM NaCl y 75 mg L⁻¹. El número de hojas evaluado a los 75 DDT fue estadísticamente superior que en el tratamiento con 50 mM NaCl y 150 mg Ti L⁻¹, en comparación con los tres tratamientos sin NaCl y el tratamiento con 100 mM NaCl y 75 mg Ti L⁻¹ (**Cuadro 15**).

Cuadro 13: Efecto principal del factor de estudio NaCl, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).

NaCl (mM)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)			Número de hoja		
	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI	25 DDTI	50 DDTI	75 DDTI
0	64.72 ± 2.25 a	72.63 ± 2.62 a	85.78 ± 3.71 a	9.74 ± 0.44 a	10.34 ± 0.47 a	11.06 ± 0.43 a	18.75 ± 1.00 a	26.34 ± 0.86 a	35.32 ± 2.36 b
50	63.17 ± 2.72 a	68.96 ± 2.02 a	79.41 ± 2.66 a	9.15 ± 0.46 a	10.10 ± 0.45 a	11.61 ± 0.29 a	17.24 ± 0.91 a	27.55 ± 1.15 a	54.93 ± 3.85 a
100	27.32 ± 1.95 b	61.61 ± 1.58 b	69.21 ± 1.63 b	7.88 ± 0.24 b	8.45 ± 0.24 a	9.67 ± 0.31 b	17.07 ± 0.05 a	27.22 ± 1.59 a	41.71 ± 4.10 b
DMS	5.27	4.28	6.96	0.97	1.05	0.92	2.50	2.71	8.91
CV	7.1	5.25	7.4	9.09	9.09	7.11	11.74	8.35	16.84

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

Cuadro 14: Efecto principal del factor de estudio Ti, en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).

Ti (mg L ⁻¹)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)			Número de hoja		
	25 DDT	50 DDT	75 DDT	25 DDT	50 DDT	75 DDT	25 DDT	50 DDT	75 DDT
0	62.46 ± 3.22 a	67.73 ± 3.94 a	79.96 ± 4.75 a	8.99 ± 0.58 a	9.60 ± 0.73 a	10.84 ± 0.53 a	17.87 ± 1.00 a	27.07 ± 1.03 a	43.94 ± 4.84 a
75	61.50 ± 2.88 a	68.02 ± 2.62 a	76.90 ± 4.17 a	9.20 ± 0.63 a	9.85 ± 0.59 a	10.72 ± 0.68 a	17.31 ± 1.02 a	25.81 ± 0.93 a	41.31 ± 5.68 a
150	61.25 ± 2.44 a	67.45 ± 2.95 a	77.54 ± 4.64 a	8.58 ± 0.42 a	9.45 ± 0.43 a	10.78 ± 0.42 a	17.88 ± 1.14 a	28.23 ± 1.44 a	46.71 ± 5.81 a
DMS	5.27	4.28	6.96	0.97	1.05	0.92	2.50	2.71	8.91
CV	7.1	5.25	7.4	9.09	9.09	7.11	11.74	8.35	16.84

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05). DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

Cuadro 15: Efectos interactivos de los factores de estudio NaCl y Ti en variables de crecimiento de plantas de tomate con 25, 50 y 75 días después de los tratamientos (DDTI).

NaCl (mM) - Ti (mg L ⁻¹)	Altura de planta (cm)			Diámetro de tallo (mm)			Número de hoja		
	25 DDT	50 DDT	75 DDT	25 DDT	50 DDT	75 DDT	25 DDT	50 DDT	75 DDT
0-0	68.16 ± 2.53 a	76.76 ± 2.80 a	90.10 ± 2.99 a	9.91 ± 0.55 a	10.50 ± 0.71 a	11.10 ± 0.45 ab	19.50 ± 0.43 a	27.23 ± 0.32 a	36.83 ± 1.18 b
0-75	60.83 ± 1.51 ab	68.76 ± 2.03 abc	81.76 ± 1.70 abc	9.88 ± 0.62 a	10.35 ± 0.56 a	10.94 ± 0.54 ab	18.93 ± 0.72 a	25.76 ± 0.32 a	33.66 ± 3.62 b
0-150	65.16 ± 1.20 ab	72.36 ± 1.86 ab	85.50 ± 5.48 ab	9.45 ± 0.20 a	10.19 ± 0.22 a	11.14 ± 0.49 ab	17.83 ± 1.66 a	26.03 ± 1.52 a	35.46 ± 2.45 b
50-0	59.76 ± 3.15 ab	64.66 ± 1.04 bc	78.56 ± 3.45 abc	8.99 ± 0.61 a	10.05 ± 0.71 a	11.63 ± 0.23 a	16.40 ± 0.68 a	26.00 ± 0.50 a	52.43 ± 4.97 ab
50-75	65.50 ± 3.31 ab	72.56 ± 1.79 ab	81.60 ± 2.95 abc	9.82 ± 0.40 a	10.60 ± 0.26 a	11.90 ± 0.43 a	17.06 ± 0.30 a	26.90 ± 0.72 a	52.93 ± 4.82 ab
50-150	63.26 ± 0.58 ab	69.66 ± 0.14 abc	78.06 ± 2.24 abc	8.64 ± 0.21 a	9.66 ± 0.29 a	11.30 ± 0.16 ab	18.26 ± 1.44 a	29.76 ± 1.27 a	59.43 ± 0.26 a
100-0	59.46 ± 2.63 ab	61.76 ± 2.38 c	71.23 ± 1.18 bc	8.07 ± 0.20 a	8.25 ± 0.29 a	9.79 ± 0.44 ab	17.73 ± 1.24 a	28.00 ± 1.77 a	42.56 ± 4.58 ab
100-75	57.16 ± 1.84 ab	62.73 ± 1.29 bc	67.33 ± 2.52 c	7.92 ± 0.34 a	8.60 ± 0.31 a	9.32 ± 0.35 b	15.93 ± 1.35 a	24.76 ± 1.42 a	37.33 ± 3.75 b
100-150	55.33 ± 1.28 b	60.33 ± 1.23 c	69.06 ± 0.30 bc	7.66 ± 0.20 a	8.50 ± 0.17 a	9.89 ± 0.04 ab	17.56 ± 0.55 a	28.90 ± 1.21 a	45.23 ± 4.48 ab
DMS	12.54	10.19	16.55	2.32	2.5	2.19	5.94	6.46	21.2
CV	7.1	5.25	7.4	9.09	9.09	7.11	11.74	8.35	16.84

Medias ± DE en cada columna con letras distintas indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).
DMS = Diferencia mínima significativa, CV = Coeficiente de variación.

9.2. Variables de calidad de fruto

9.2.1. pH del jugo del fruto

El efecto principal de los factores de estudio fue significativo en el valor de pH del jugo del fruto. En la **Figura 33a** se observa que el pH del jugo del fruto disminuyó 3% en promedio al aplicar 50 y 100 mM de NaCl, respecto al testigo. Asimismo en la **Figura 33b** se advierte que la aplicación foliar de Ti también redujo de manera significativa el valor de pH del jugo de tomate.

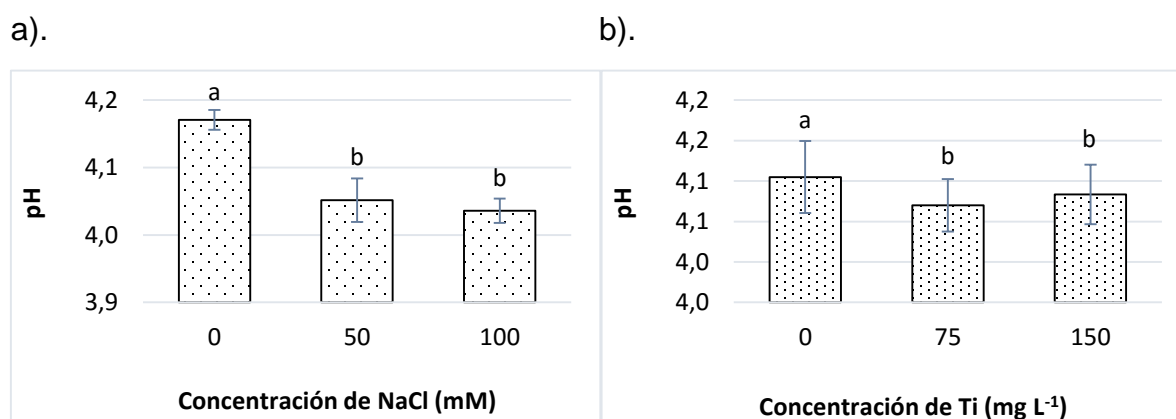


Figura 33: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en el pH del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 34** se puede observar que la interacción de los factores de estudio mostró efectos significativos en el valor de pH del jugo del fruto. En ausencia de salinidad, la aplicación foliar de Ti a una concentración de 75 mg L⁻¹ disminuyó en 1.19% el valor del pH del jugo, en comparación con el testigo. En los tratamientos con 50 mM de NaCl, la aplicación foliar de 75 y 150 mg L⁻¹ de Ti redujo el pH del fruto en 3.03% en promedio, con respecto a su testigo (50-0). Por otra parte, la adición de Ti en ambas dosis a los tratamientos con 100 mM de NaCl, ocasiona el aumento del pH del jugo del fruto de forma significativa, con incrementos promedio de 1.7% con respecto al testigo correspondiente (100-0).

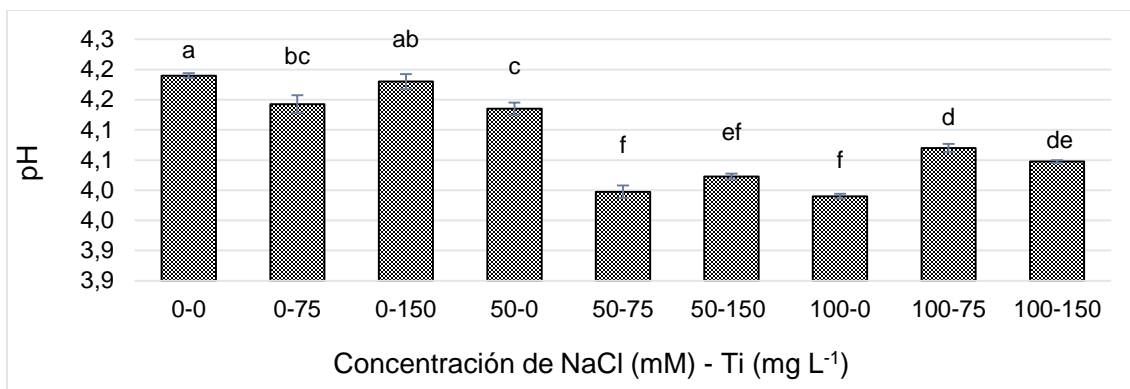
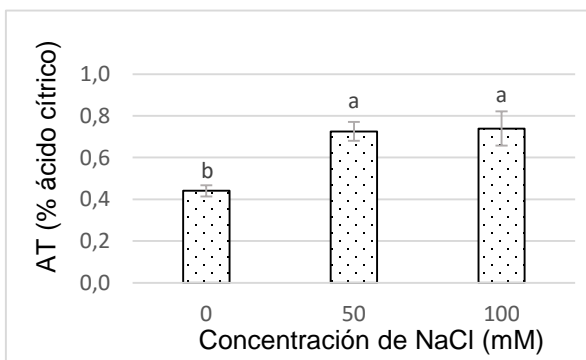


Figura 34: Efectos interactivos del NaCl y Ti en el pH de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

9.2.2. Acidez titulable

La adición de NaCl a la solución nutritiva incrementó significativamente la acidez titulable del jugo del fruto en comparación con el testigo (**Figura 35a**). Estos incrementos fueron en promedio de 66.2%. El efecto principal de la aspersión foliar de Ti no fue significativo en esta variable (**Figura 35b**).

a).



b).

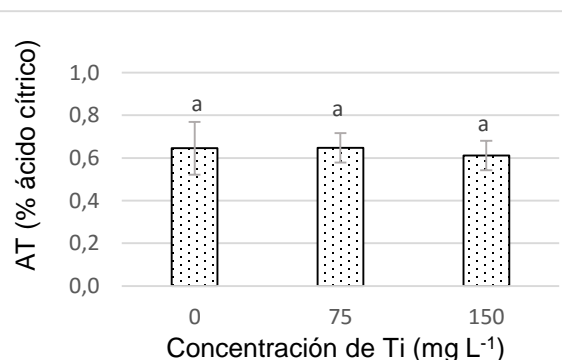


Figura 35: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en acidez titulable (AT) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 36** se presenta el efecto de la interacción de los factores de estudio NaCl y Ti en la acidez titulable del jugo del fruto de tomate, mismo que fue

significativo. Se observa que a medida que el nivel de NaCl en la solución nutritiva aumenta, se incrementa la acidez titulable del fruto. Por otra parte, el Ti tiene efectos diferenciales en la acidez titulable de fruto, estos efectos son dependientes de la concentración de NaCl en la solución nutritiva. Sin tratamiento con NaCl o con la dosis baja (50 mM NaCl), el Ti incrementa la acidez titulable; por el contrario, con alta salinidad (100 mM) se observa que el Ti reduce significativamente la acidez titulable. Entre las dosis de Ti evaluadas (75 y 150 mg L⁻¹) en la aspersion foliar, no se observan diferencias estadísticas significativas.

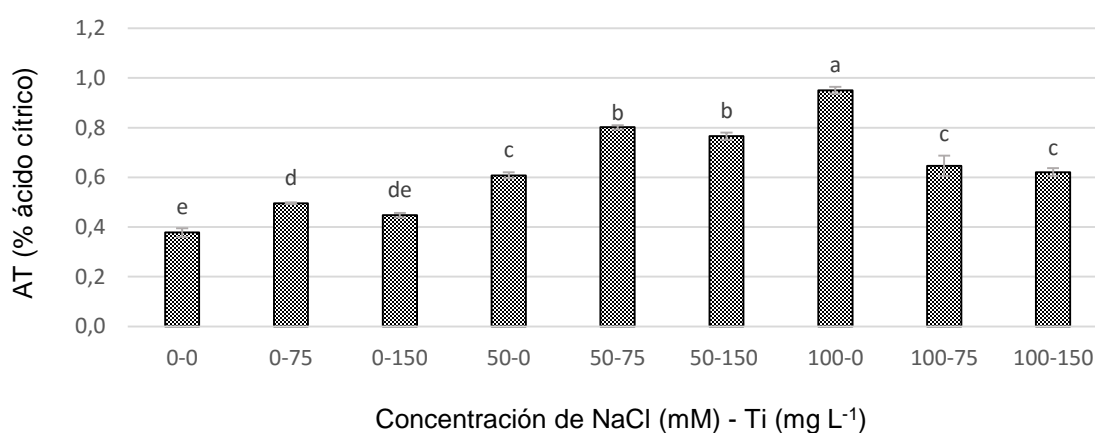


Figura 36: Efectos interactivos del NaCl y Ti en la acidez titulable (AT) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

9.2.3. Conductividad eléctrica del jugo del fruto

El tratamiento con NaCl vía fertirriego incrementó la conductividad eléctrica del jugo de forma significativa (**Figura 37a**) en comparación con el testigo, el incremento fue del orden de 72.9% en promedio. En la **Figura 37b** se muestra que la aplicación foliar de Ti no tuvo efecto significativo en esta variable.

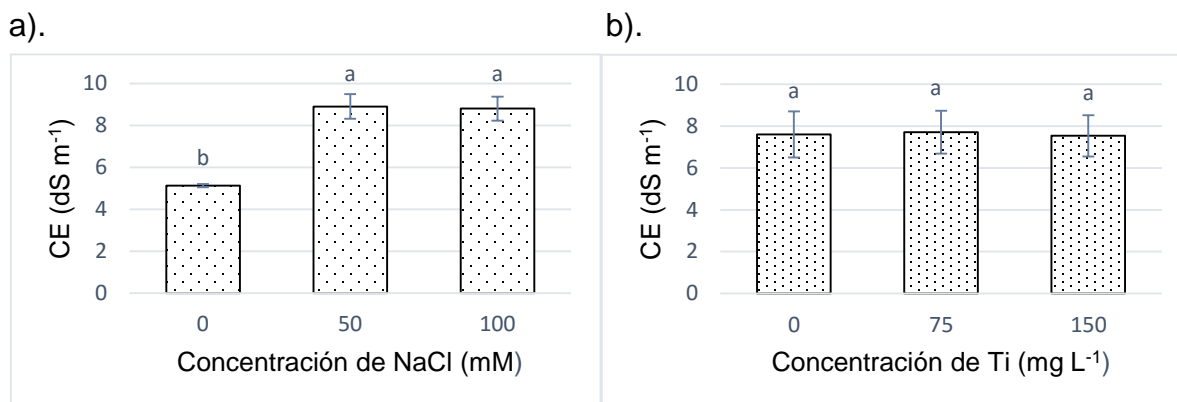


Figura 37: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en la conductividad eléctrica (CE) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 38** se presenta el efecto de la interacción de los factores de estudio en la conductividad eléctrica del jugo de frutos, el cual fue significativo. Se observa que a medida que el nivel de NaCl en la solución nutritiva aumenta, se incrementa el valor de la conductividad eléctrica del jugo. Por otra parte, el Ti tiene efectos diferenciales, dependiendo de la concentración de salinidad en la solución nutritiva. Sin tratamiento con NaCl, el Ti no tuvo efecto significativo en esta variable; con la dosis baja de NaCl (50 mM), el Ti incrementa la conductividad eléctrica del jugo del fruto en forma significativa con un 31.3% en promedio con respecto al testigo de ese nivel de salinidad (50 mM NaCl sin aspersión foliar de Ti). Por el contrario, con alta salinidad (100 mM NaCl) se observa que el Ti reduce significativamente la conductividad eléctrica del jugo de tomate, dicha reducción es de 21.3% en promedio, con respecto al testigo correspondiente al mismo nivel de salinidad (100 mM NaCl y sin tratamiento con Ti). Entre las dosis de Ti evaluadas (75 y 150 mg L⁻¹), no se observan diferencias estadísticas significativas entre niveles de salinidad, en la conductividad eléctrica del fruto.

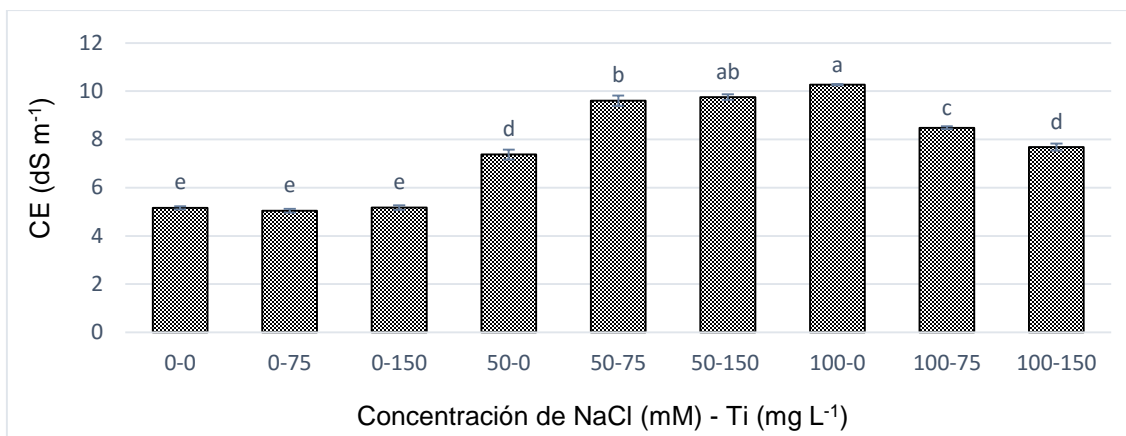


Figura 38: Efectos interactivos del NaCl y Ti en la conductividad eléctrica (CE) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

9.2.4. Sólidos solubles totales (°Brix)

El efecto del NaCl en los sólidos solubles totales del fruto, fue altamente significativo como se puede apreciar en la **Figura 39a**. Se observa que la aplicación de 50 y 100 mM de NaCl, incrementó esta variable en 83.8 y 76.7% respectivamente, ambas con respecto al testigo. Por otro lado, en la **Figura 39b** se observa que la aplicación foliar de Ti en la dosis de 75 mg L⁻¹ disminuyó los sólidos solubles totales en el jugo de fruto en 3.3% respecto al testigo; y en 3.9% respecto al tratamiento con suministro foliar de Ti a la concentración de 150 mg L⁻¹.

a).

b).

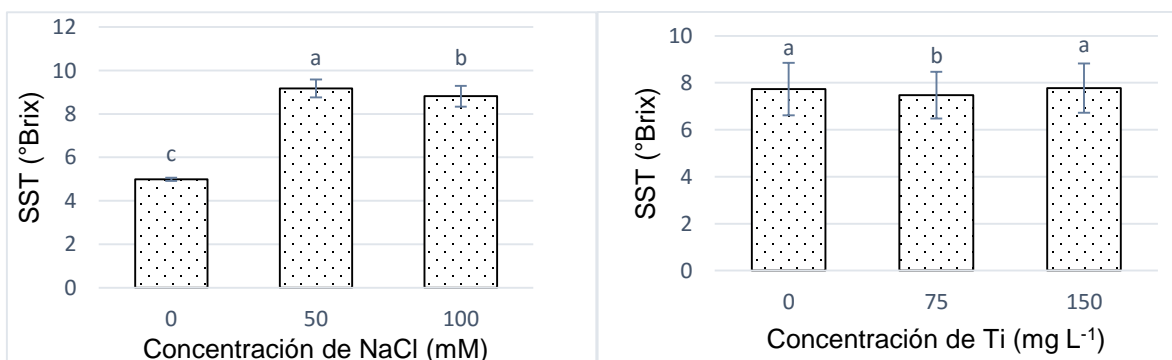


Figura 39: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en sólidos solubles totales (SST, °Brix) del jugo de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

La interacción de los factores de estudio mostró efectos significativos en la concentración de sólidos solubles totales en el jugo del fruto (**Figura 40**). La aplicación foliar de Ti en ausencia de NaCl en la solución nutritiva, no tuvo efecto significativo en esta variable. En los tratamientos con 50 mM de NaCl, la aplicación foliar de Ti en la dosis de 75 y 150 mg L⁻¹, aumentó la concentración de los sólidos solubles totales en 18.9% en promedio, con respecto al testigo de ese nivel de salinidad (50 mM NaCl y sin titanio). Por el contrario, la adición de Ti en ambas dosis a tratamientos con alta salinidad (100 mM NaCl) disminuye la concentración de sólidos solubles totales en el jugo de forma significativa, con decrementos medios de 19.1% con respecto al testigo del nivel de salinidad (100 mM NaCl y sin tratamiento).

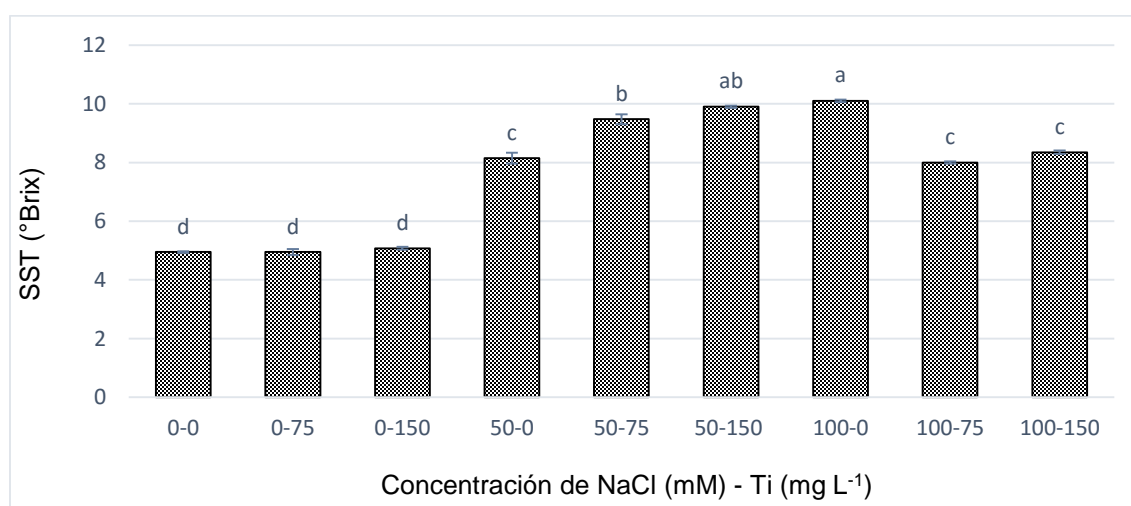


Figura 40: Efectos interactivos del NaCl y Ti en sólidos solubles totales (SST, °Brix) del jugo de frutos de tomate. Medias ± DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

9.2.5. Firmeza del fruto

Los efectos principales de ambos factores de estudio en la firmeza del fruto fueron significativos (**Figura 41a**). Por un lado, se observa que la firmeza de los frutos se reduce cuando las plantas son tratadas con NaCl en comparación con el testigo, asimismo se muestra que no existe diferencia estadística entre los dos niveles de NaCl evaluados (50 y 100 mM). En el caso del Ti, la respuesta fue contraria a la

observada para NaCl, la aspersión foliar de ambas concentraciones de Ti (75 y 150 mg L⁻¹), incrementó de manera significativa la firmeza de los frutos (**Figura 41b**).

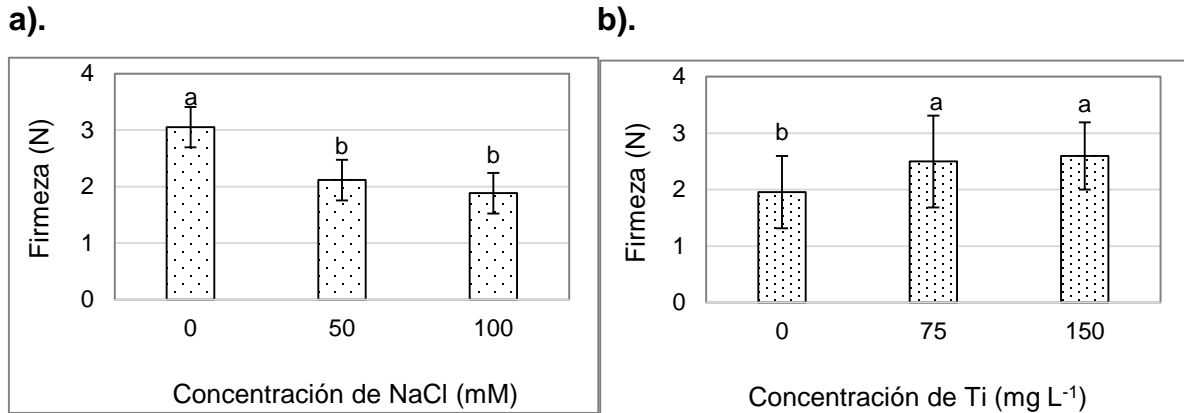


Figura 41: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en la firmeza de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

La interacción de los factores de estudio afectó de manera significativa la firmeza del fruto. Existió una relación inversa entre la firmeza y el nivel de NaCl en la solución nutritiva. También se observó la tendencia del Ti a incrementar la firmeza de los frutos independientemente de la concentración de NaCl en la solución nutritiva; sin embargo, estos incrementos no son estadísticamente significativos (**Figura 42**).

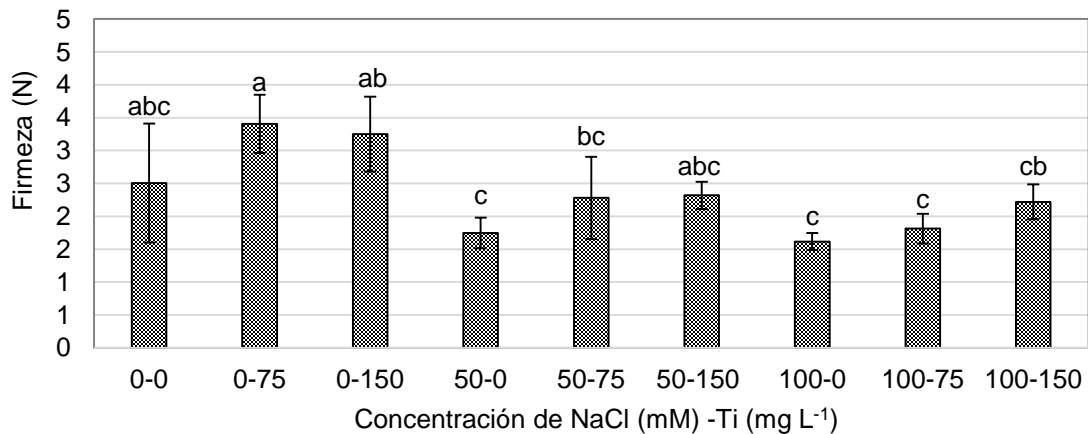
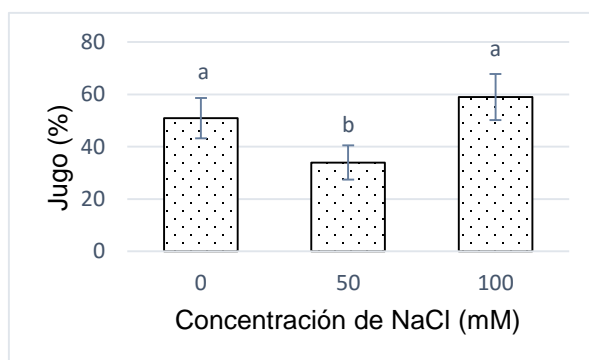


Figura 42: Efectos interactivos del NaCl y Ti en la firmeza de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

9.2.6. Porcentaje de jugo en el fruto

En la **Figura 43a**, se observa que el porcentaje de peso del jugo de fruto disminuyó 33.3% en el tratamiento con 50 mM de NaCl en comparación con el testigo; siendo esta reducción significativa desde el punto de vista estadístico. Por el contrario, esta variable se incrementó en 15.9% en el tratamiento con 100 mM de NaCl, respecto al testigo; sin embargo, ésta no fue significativa. Destaca que el tratamiento con 100 mM NaCl incrementó en 73.8% el porcentaje de jugo de fruto registrado con el tratamiento con 50 mM NaCl. Por otro lado, en la **Figura 43b** es evidente que la aplicación de 75 mg L⁻¹ Ti disminuyó el porcentaje del jugo en el fruto en promedio en 24.9%, respecto al testigo.

a).



b).

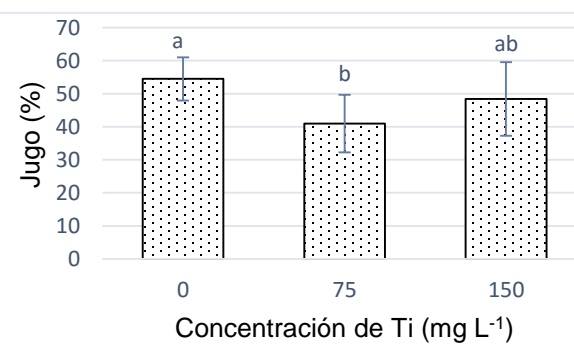


Figura 43: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en el porcentaje de jugo en los frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 44** se puede observar que la interacción de los factores de estudio mostró efectos significativos en el porcentaje de jugo del fruto. La aplicación de Ti en ambas concentraciones (75 y 150 mg L⁻¹) en ausencia de salinidad, disminuyó el peso del jugo 50% en promedio, con respecto al testigo. En los tratamientos con 50 mM de NaCl, la aplicación foliar de 75 y 150 mg L⁻¹ de Ti redujo el porcentaje del

jugo en fruto en 49.5 y 60.3%, respectivamente, en comparación con el testigo correspondiente (50 mM NaCl y sin titanio). Por el contrario, con alta salinidad (100 mM NaCl), la adición foliar de Ti aumenta el porcentaje de jugo en el fruto; dichos incrementos son del orden de 29.3 y 58.3% con dosis de 75 y 150 mg Ti L⁻¹, en comparación con el testigo.

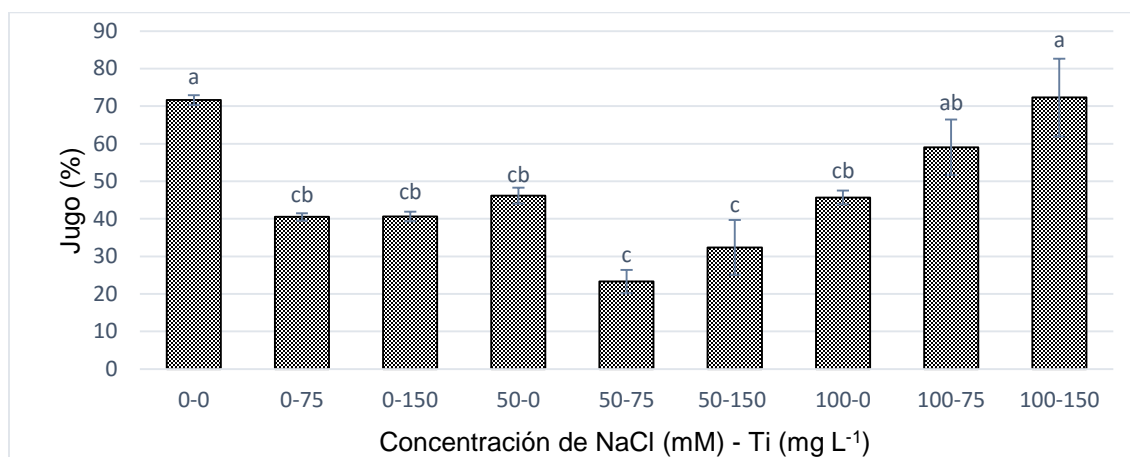


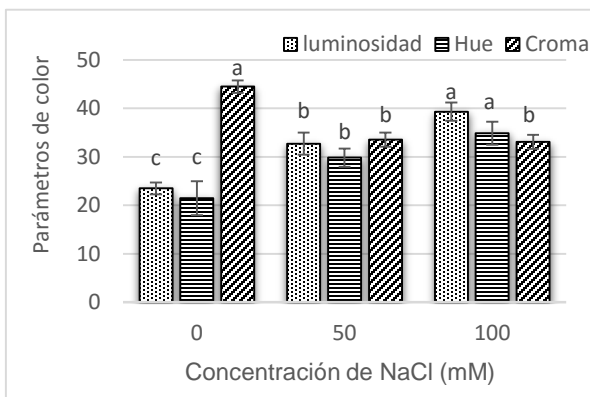
Figura 44: Efectos interactivos del NaCl y Ti en el porcentaje de jugo en los frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

9.2.7. Atributos del color del fruto

La adición en tres niveles de NaCl (0, 50, y 100 mM) vía fertirriego presenta efectos diferenciales en la luminosidad, tono (ángulo Hue), y el índice de saturación (Croma) del fruto (**Figura 45a**). La luminosidad y el ángulo Hue aumentan conforme se incrementa la concentración de NaCl en la solución nutritiva; por otro lado, el índice de saturación disminuye con el incremento de la salinidad en comparación con el testigo.

Por otra parte, la aplicación foliar de Ti en ambas concentraciones evaluadas reduce la luminosidad significativamente; por el contrario, el Ti guarda una relación positiva con el croma (índice de saturación); mientras que no influye en el ángulo Hue (**Figura 45b**).

a).



b).

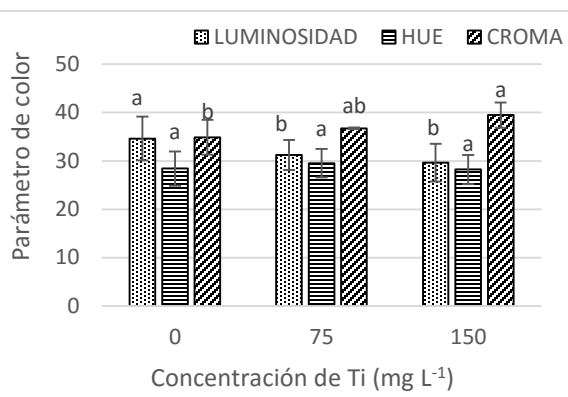


Figura 45: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en los atributos del color de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 46** se presenta el efecto de la interacción de los factores de estudio en los atributos del color de los frutos. Se observa que el de Ti aplicado vía foliar en ausencia de salinidad, no tuvo influencia en la luminosidad, hue y croma. Por otra parte, en los tratamientos con 50 mM de NaCl, la dosis de Ti guarda una relación negativa con la luminosidad; mientras que con el tratamiento de 50 mM NaCl y 150 mg Ti L⁻¹ se presenta un aumento significativo en el índice de saturación (croma), respecto al testigo. En los tratamientos con alta salinidad (100 mM NaCl), el Ti no tuvo efectos significativos en los atributos de color.

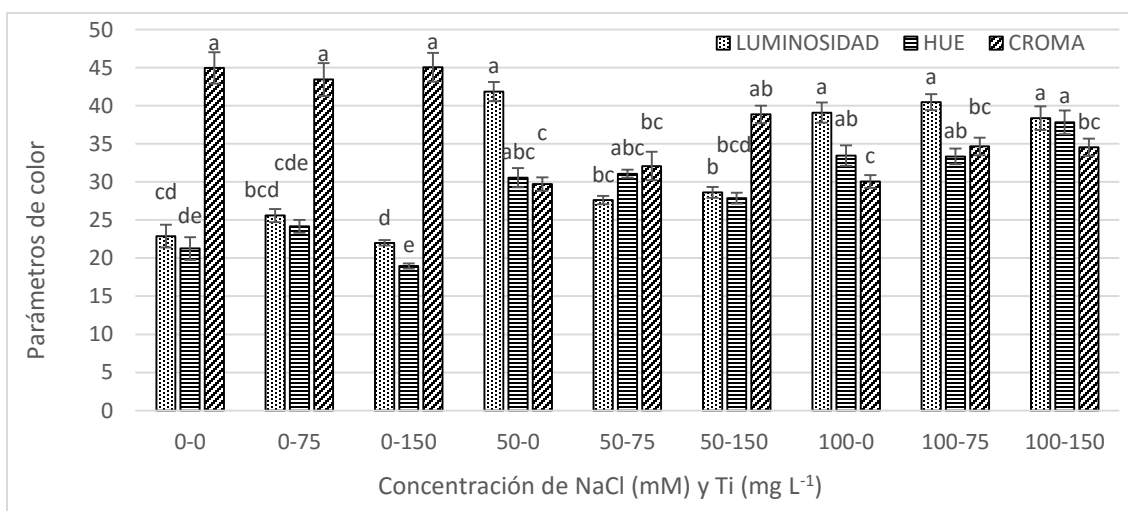


Figura 46: Efectos interactivos del NaCl y Ti en los atributos del color de frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

9.2.8. Licopeno

La adición de NaCl a la solución nutritiva disminuyó significativamente la concentración de licopeno del fruto en comparación con el testigo (**Figura 47a**). Estos decrementos fueron del orden de 30.9 y 63.2% para niveles de 50 y 100 mM NaCl, respectivamente, con reducción promedio de 36.7%, en comparación con el testigo. El efecto principal de la aspersión foliar de Ti no fue significativo en la concentración de licopeno del fruto (**Figura 47b**).

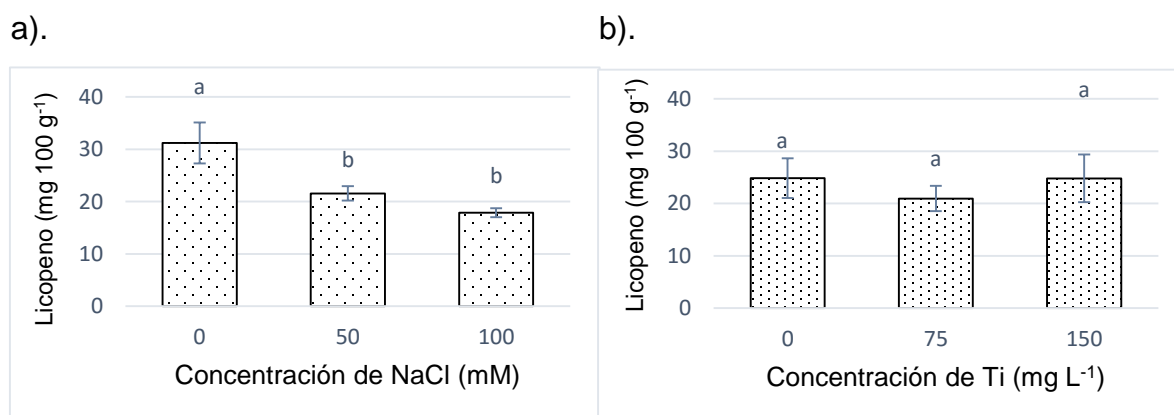


Figura 47: Efectos principales del NaCl (a) y Ti (b) en la concentración de licopeno en frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas en cada subfigura, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

En la **Figura 48** se presenta el efecto de la interacción de los factores de estudio en la concentración de licopeno en frutos, mismo que fue significativo. Se observa que bajo condiciones salinas (50 y 100 mM de NaCl) en la solución nutritiva, disminuye significativamente el contenido de licopeno del fruto, independientemente de la dosis de Ti suministrado vía foliar. Por otra parte, las dosis de Ti de 75 y 150 mg L⁻¹ ocasionaron respuestas diferentes desde el punto de vista estadístico entre sí, solo en ausencia de salinidad; el Ti solo presentó efectos significativos en la concentración de licopeno de fruto, en ausencia de salinidad.

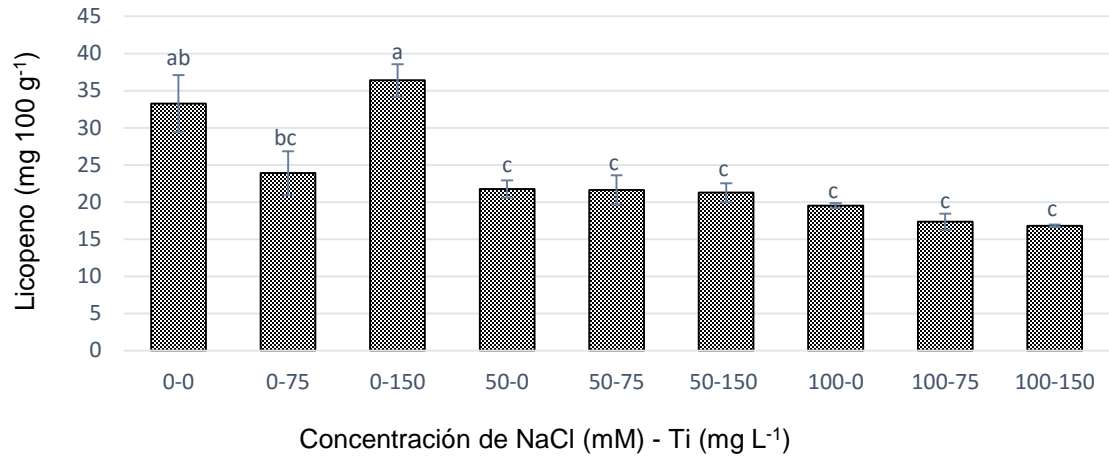


Figura 48: Efectos interactivos del NaCl y Ti en la concentración de licopeno en frutos de tomate. Medias \pm DE con letras distintas, indican diferencias estadísticas significativas (Tukey, 0.05).

10. DISCUSIÓN

10.1. Parámetros de crecimiento

10.1.1. Efectos de NaCl en el crecimiento

El tomate es una especie moderadamente sensible a la salinidad; la mayoría de sus cultivares comerciales reducen de manera significativa su producción con niveles de salinidad superiores a 2.5 dS m^{-1} (Singh *et al.*, 2012); en este estudio dos de las CE de las soluciones nutritivas evaluadas, fueron superiores a tal nivel de referencia (7 y 12 dS m^{-1} correspondiendo a niveles de 50 y 100 mM , respectivamente).

La adición de NaCl a la solución nutritiva tuvo de manera general efectos negativos en la producción biomasa seca de la planta. En el experimento realizado con aspersión foliar de Si, el órgano más afectado fue el tallo (**Cuadro 8**), mientras que, en el ensayo con suministro foliar de Ti, los efectos negativos del NaCl se observan además de en los tallos, en la biomasa seca de la raíz (**Cuadro 12**). El detrimento en la biomasa seca de los diferentes órganos de plantas expuestas a salinidad es ocasionado por la reducción de la capacidad del aparato fotosintético, a la disminución en la conductancia estomatal y a la menor absorción de nutrientes (Puteh y Mondal, 2013). En plántulas de pepino Wang *et al.* (2006) observaron expuestas por 5 d a NaCl, que la superficie de absorción de la raíz se redujo de manera considerable, lo que comprometió su capacidad de absorción, y también se disminuyó la vitalidad de la raíz; por el contrario, se registró un incremento significativo en la permeabilidad de la membrana.

Otras variables relacionadas con el crecimiento y la estructura de la planta como son la altura, el diámetro del tallo y el número de hojas, también fueron afectadas de manera negativa por el NaCl (**Cuadros 9 y 13**). En estudios con tomate Cherry, se advierten también estos efectos del NaCl; con reducciones en el número de hojas y en la altura, de más del 50% en plantas tratadas con dosis de NaCl de 50 mM y superiores, respecto al testigo (Hassan *et al.*, 2015). De la misma manera, en especies muy distintas al tomate, como el arbusto espinoso *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd., el tratamiento con 80 y 60 mM NaCl redujo la altura de planta, el número de hojas en más de 50% (Sohail *et al.*, 2009).

10.1.2. Efectos de Si y Ti en el crecimiento

Por otra lado, no se observaron efectos principales significativos de la aplicaciones foliares de Si y Ti en los pesos de biomasa seca de los órganos de las plantas de tomate; tampoco efecto del Si entre niveles de NaCl en estas variables (**Cuadros 8 y 12**). En contraste con los hallazgos aquí reportados, en tomate establecido en suelo, se reportó incremento lineal en el peso de la biomasa seca de hojas en el intervalo de fertilización con Si de 0 a 800 kg SiO₂ ha⁻¹; siendo éste de un total de 25% respecto al testigo (Marodin *et al.*, 2014). Asimismo, en arroz, el tratamiento con Si aplicado al suelo en dosis de 250 y 500 kg ha⁻¹, incrementó el peso de biomasa seca de las hojas y las concentraciones de este elemento en tallos y hojas (Gholami y Falah, 2013). En lo que respecta al Ti, Kleiber y Markiewicz (2013) reportaron en tomate, que la aplicación de éste al suelo en dosis de 0 a 960 g ha⁻¹, no tuvo efecto significativo en los contenidos de materia seca. En otra especies, el Ti ha incrementado la producción de biomasa seca; tal es el caso de chile tratado vía foliar con 2 mg Ti L⁻¹ (López-Moreno *et al.*, 1995), y de manzano con aplicaciones foliares de 0.5 mg Ti por planta a partir de TiCl₄ (Wojcik y Wojcik, 2001).

Por otra parte, la aplicación foliar de 75 mg Si L⁻¹ redujo, si bien no de manera significativa respecto al testigo, la altura de planta, diámetro de tallo y el número de hojas (**Cuadro 9**). Por el contrario, Xue *et al.* (2012) reportaron que aplicaciones foliares de Si en tomate incrementaron de manera significativa el diámetro de tallo. En chile, la aplicación de Si tanto vía foliar como radical no tuvo influencia en el crecimiento de la planta (Jayawardana *et al.*, 2014). En la fruta de la pasión (*Passiflora edulis*), se observa una respuesta bifásica al tratamiento con Si en el diámetro de tallo; es decir, el tratamiento con dosis de 0.21 g Si por maceta lo incrementa de manera significativa, mientras que dosis superiores lo reducen. Esta misma respuesta se tuvo en la altura de planta, siendo la mejor dosis de Si 0.28 g por maceta. En este estudio no se tuvo efecto del Si en el número de hojas (Souza *et al.*, 2016).

10.1.3. Efectos de la interacción de los factores de estudio (NaCl x Si y NaCl Ti) en el crecimiento

En estudios realizados en tomate con plantas tratadas con NaCl, se ha reportado que el Si mitiga los efectos negativos de la salinidad; dado que la biomasa sea y el área foliar se reducen solo en 31 y 22%, respectivamente, en comparación con el testigo; mientras que, cuando no se aplica Si, estos decrementos son del orden de 55 y 58%, respectivamente ([Romero-Aranda et al., 2006](#)). En este estudio, se advierten efectos positivos en algunos parámetros de crecimiento, particularmente en la condición salina más alta (150 mM NaCl); donde, el diámetro de tallo evaluado a los 50 y 75 DDTI, fue significativamente mayor con el tratamiento con 150 mg Si L⁻¹, al de plantas testigo; así también esta dosis de Si incrementó significativamente la altura de planta a los 50 DDTI; y el número de hojas fue también bajo esta condición de alta salinidad, incrementado con la aplicación foliar de 75 mg Si L⁻¹ (**Cuadro 11**).

Por otra parte, el efecto principal de aplicación foliar de Ti no tuvo influencia en el número de hojas, altura de planta y diámetro de tallo (**Cuadro 14**). Por el contrario, en la especie ornamental boca de dragón (*Antirrhinum majus* L.), la aplicación foliar de ascorbato de Ti en dosis de hasta 100 mg L⁻¹, aumentó la altura de la planta y el número de hojas. En este mismo estudio se observó efecto negativo del Ti en el diámetro de tallo, tanto en boca de dragón como en la especie también ornamental *impatiens* (*Impatiens walleriana* 'Accent White' ([Whitted-Haag et al., 2014](#))).

10.2. Parámetro de calidad del fruto

10.2.1. Efecto del NaCl en la calidad del fruto

Si bien la salinidad reduce el rendimiento en tomate como ya lo evidencian los resultados presentados en esta investigación, algunos indicadores de calidad de fruto son afectados positivamente con el incremento de la salinidad ([Zhang et al., 2016](#)).

El NaCl incrementó de manera significativa la acidez del jugo de tomate, registrándose en consecuencia, reducciones en el valor del pH del jugo del fruto cuando las plantas se trataron con 50 y 100 mM NaCl, en comparación con el testigo

(**Figuras 17a y 33a**). Lo anterior significa que el incremento en la acidez titulable causado por la adición de NaCl se relaciona de manera negativa con el valor de pH, tal como lo reporta [Rezende-Fontes et al. \(2000\)](#). Valores de pH menores a 4.5 en tomate son deseables cuando el objetivo es la industrialización, dado que inhiben la proliferación de microorganismos en el producto final ([Giordano et al., 2000](#)).

De la misma manera, el tratamiento con NaCl incrementó la conductividad eléctrica del jugo y los °Brix en ambos casos respecto al testigo (**Figuras 21a, 23a, 37a y 39a**). Los incrementos en °Brix son ocasionados por el efecto osmótico que se genera por el bajo potencial osmótico en la zona radical de las plantas que impide el flujo de agua a partes aéreas y frutos ([Wu y Kubota, 2008](#)).

De acuerdo a [Lu et al. \(2012\)](#), la salinidad moderada fomenta la actividad de la enzima sacarosa invertasa y esto se traduce en mayor acumulación de azúcares. Asimismo, el incremento en la acidez titulable en frutos de plantas tratadas con NaCl, obedece a que plantas con altas concentraciones de azúcares totales, principalmente azúcares reductores, tienen una mayor concentración de ácidos orgánicos libres y menor concentración de iones hidrógeno que plantas con niveles bajos de azúcares ([Getinet et al., 2008](#)).

Entre las variables que son afectadas de manera negativa por el NaCl está la firmeza del fruto (**Figuras 25a y 41a**) y el porcentaje de jugo en fruto (**Figuras 27a y 43a**). Coincidiendo con los resultados aquí presentados, en frutos de tomate cv. Daniela, se redujo de manera significativa la firmeza del fruto con los tratamientos 30 y 60 mM NaCl ([Flores et al., 2003](#)); no obstante, en otro estudio realizado también en frutos de tomate cv. Daniela, se reporta que concentraciones de hasta 20, 40 y 60 mM NaCl, incrementaron la firmeza del fruto en etapa de madurez comercial ([Botella et al., 2000](#)). En la literatura no se encuentran reportes del efecto del NaCl en el porcentaje de jugo.

Por otra parte, la adición de NaCl incrementa la luminosidad y el hue de fruto, y por el contrario reduce el croma (**Figuras 29a y 45a**). [Botella et al. \(2000\)](#) reporta que en tomate, 20 a 60 mM NaCl incrementan la intensidad del color.

Los niveles de NaCl estudiados redujeron significativamente la concentración de licopeno en frutos (**Figura 31a y 47a**). [Giannakoula e Ilias \(2013\)](#), reportan por el

contrario, que en variedades nativas de tomate, el tratamiento con 150 mM NaCl incrementa los contenidos de licopeno y de otros antioxidantes; los incrementos en respuesta al estrés salino obtenidos oscilaron de 20 a 80%. Lo anterior indica que los efectos de NaCl en licopeno son variables entre genotipos de la misma especie.

10.2.2. Efecto del Si y Ti en la calidad del fruto

El Si tuvo pocos efectos significativos en los parámetros de calidad de fruto. Por un lado, el tratamiento con 75 mg Si L⁻¹ redujo el pH del jugo del fruto manera significativa respecto al testigo (**Figura 17b**); mientras que la dosis de 150 mg Si L⁻¹ redujo la conductividad eléctrica (**Figura 21b**) y la luminosidad de fruto (**Figura 29b**), e incrementa la firmeza (**Figura 25b**). Jarosz (2014) reportó que en tomate cv. Cunero cultivado en invernadero, el Si no influyó los parámetros de calidad del fruto, ni el rendimiento comercial. En otro estudio realizado en tomate, se reportan incrementos en la acidez titulable cuando las plantas son tratadas vía foliar con Si (Xue *et al.*, 2012). Liu (1997) concluyó que el tratamiento con Si incrementa de manera importante la resistencia de tomate a enfermedades; probablemente por los efectos que tiene el Si en la firmeza del fruto. En trigo, los efectos de las aplicaciones foliares de Si en el rendimiento y calidad en cinco cultivares, no fueron significativos (Segalin *et al.*, 2013).

En lo que al titanio respecta, se observa que este elemento redujo de manera significativa el pH y los sólidos solubles totales (**Figuras 33b y 39b**, respectivamente). Valores de pH bajos en frutos se relacionan de manera positiva con una menor tasa de respiración y por tanto con el mantenimiento de una mejor calidad por más tiempo (Tigist *et al.*, 2013). En este sentido, el Ti podría funcionar como un retardador de la senescencia de los frutos al incrementar el pH; probablemente el efecto del Ti en la acidez del fruto pudiera ser mayor si se aplica a otras concentraciones, incluso menores a las aquí estudiadas, con el objetivo de buscar la acción hormética (respuesta bifásica, a dosis bajas efecto benéficos y a dosis altas, efecto inhibidor o tóxico; Mattson, 2008) del Ti. Asimismo es probable que la aplicación del Ti a la raíz sea otra alternativa, dado que por ejemplo, ha mostrado mayor efectividad que su aplicación al follaje, en el incremento en la concentración de ácidos orgánicos (Simon *et al.*, 1991). Por otra parte, entre los

efectos benéficos que se han reportado del Ti se encuentra el incremento de los sólidos solubles totales en tomate por la estimulación de la enzima fosfofructocinasa (Simon *et al.*, 1991); respuesta que no fue observada en esta investigación.

El tratamiento foliar con Ti incrementó la firmeza de los frutos (**Figura 41b**). En ciruelo (*Prunus domestica*), el tratamiento foliar con Ca, Mg y Ti, incrementó la firmeza de frutos; tal respuesta fue atribuida de manera indirecta al Ti, dado que éste incrementó significativamente las concentraciones de Ca, Fe, Cu y Zn en la cáscara y la pulpa (Alcaraz-López *et al.*, 2003). Asimismo, aplicaciones de Ti en frambuesa (*Rubus idaeus* L.) antes de la cosecha, incrementaron los sólidos solubles totales y la firmeza (Grajkowski y Ochmian, 2007).

Otros efectos significativos del Ti se registraron en atributos de color, redujo la luminosidad e incrementó el croma del fruto (**Figura 45b**). López-Camelo y Gómez (2004) asocian estas tendencias con colores de frutos más rojos; en este caso, los frutos de plantas tratadas vía foliar con Ti fueron más rojos que aquellos provenientes de plantas no tratadas con Ti.

10.2.3. Efecto de la interacción de los factores de estudio (NaCl x Si y NaCl x Ti) en la calidad del fruto

Los efectos de la interacción de los factores de estudio NaCl y Si muestran tendencias interesantes. Por un lado, el Si sin estrés salino, incrementa de manera significativa el valor del pH del fruto (**Figura 18**); sin embargo, la acidez titulable fue también aumentada de manera significativa con el tratamiento con Si en ausencia de salinidad (**Figura 20**). Como se mencionó anteriormente, el valor del pH y la acidez titulable se relacionan de manera negativa; relación que no fue observada en este caso.

Por otro lado, la aspersion foliar de 150 mg Ti L⁻¹ con 50 mM NaCl redujo la conductividad eléctrica del fruto, en comparación con el testigo con el mismo nivel de salinidad (**Figura 22**). Así también en ausencia de salinidad, el tratamiento foliar con 150 mg Ti L⁻¹, aumentó la concentración de sólidos solubles totales en frutos (**Figura 24**).

Al analizar los efectos conjunto del Na y Ti en los indicadores de calidad del fruto que fueron evaluados, se observa que el Ti tiene efectos diferenciales en éstas, y que son dependientes de la concentración de NaCl en la solución nutritiva; al igual que el Si.

El valor de pH del jugo como indicador de calidad del fruto de tomate oscila entre 4 y 4.5 (Jones, 1999), y los valores aquí registrados se encuentran de manera general dentro de este intervalo. El valor más bajo fue registrado en el tratamiento con 100 mM NaCl y sin aplicación foliar de Ti (4). Por el contrario, el valor más alto (4.2) fue obtenido en frutos de plantas sin tratamiento con NaCl y Ti. En ausencia de NaCl en la solución nutritiva, la aspersión foliar de 75 mg Ti L⁻¹ redujo significativamente el pH del fruto, respecto al testigo; esta tendencia se observa también cuando las plantas fueron tratadas con 50 mM NaCl (**Figura 34**). Los resultados indican que bajo salinidad moderada el Ti es el agente que causa la reducción del pH del fruto al incrementar la concentración de ácidos orgánicos en el fruto (Simon *et al.*, 1991). Por el contrario, el efecto del Ti en la reducción del pH de fruto es contrarrestado en condiciones salinas altas, en este caso 100 mM NaCl, donde ambas dosis de Ti incrementaron de manera significativa el valor de pH del fruto, con aumentos de 2 y 1.4 % con 75 y 150 mg Ti L⁻¹, respectivamente, en comparación con el tratamiento con 100 mM y sin aplicación foliar de Ti (**Figura 34**).

Respecto al valor de CE, el Ti no tiene efecto significativo cuando las plantas no fueron tratadas con NaCl. Con la concentración baja de NaCl evaluada (50 mM), la aspersión foliar de Ti incrementa de manera significativa la CE de forma ascendente, es decir, con 75 y 150 mg Ti L⁻¹, se tuvieron aumentos en la CE de 30.3 y 32.2 %, respectivamente, en comparación con el tratamiento con el mismo nivel de NaCl y sin Ti. Por el contrario, al aumentar a 100 mM la concentración de NaCl, el Ti reduce significativamente la CE. En este último caso, las reducciones respecto al tratamiento con 100 mM NaCl en ausencia de Ti fueron de 17.4 y 25.2 %, para Ti a dosis de 75 y 150 mg L⁻¹, respectivamente (**Figura 38**).

La acidez titulable es un indicador de calidad que está en función de los ácidos orgánicos de los frutos, debido a su intervención en la biosíntesis de maduración y del sabor del tomate (Huang *et al.*, 2015). Los efectos del Ti en la acidez titulable

siguen la misma tendencia que los efectos observados en el valor del pH, con excepción del efecto que el Ti tiene en ausencia de la condición salina. En este caso particular, el Ti tiene un efecto negativo, dado que aumenta de manera significativa la acidez titulable del jugo del fruto, siendo este incremento significativo con la concentración de 75 mg L^{-1} , en comparación con el testigo. Asimismo, sobresale la magnitud en la que el Ti redujo el valor de la acidez titulable en frutos provenientes de plantas crecidas en presencia de alta salinidad, del orden de 32 y 34.7 % al asperjar Ti en concentraciones de 75 y 150 mg L^{-1} , respectivamente (**Figura 36**).

Los valores de sólidos solubles totales se relacionan de manera directa con los obtenidos en conductividad eléctrica de frutos. Los sólidos solubles totales son incrementados de manera significativa en plantas asperjadas con Ti y tratadas con 50 mM NaCl. Por el contrario, en plantas tratadas con 100 mM NaCl, el Ti redujo el valor de esta variable de manera significativa. En ausencia de NaCl en la solución nutritiva, existe un incremento significativo en los sólidos solubles totales, cuando las plantas son tratadas con 75 mg Ti L^{-1} (**Figura 40**).

11. CONCLUSIONES

El tratamiento de plantas de tomate con NaCl a niveles de 50 y 100 mM reduce parámetros de crecimiento; asimismo, influye de manera diferencial los parámetros de calidad de fruto de tomate cv. Rio Grande. Entre los parámetros que son afectados de manera positiva se encuentran la conductividad eléctrica y la concentración de sólidos solubles totales. Por el contrario, el NaCl reduce la firmeza del fruto y la concentración de licopeno.

El Si aplicado vía foliar no causa efectos en el crecimiento de tomate y pocos parámetros de calidad que se ven influenciados por este elemento. Destaca su efecto significativo en el incremento de la firmeza del fruto. Por su parte el Ti reduce el valor del pH del jugo y también la de sólidos solubles totales en fruto.

La concentración de NaCl en la solución nutritiva, influye en las respuestas ocasionadas por el Si y por el Ti en la calidad del fruto.

12. LITERATURA CITADA

- Alcántar-González G, Trejo-Téllez LI.** 2013. Nutrición de Cultivos. Primera edición. Editorial Colegio de Postgraduados. México. 454 p.
- Alcaraz-López C, Botia M, Alcaraz CF, Riquelme F.** 2003. Effects of foliar sprays containing calcium, magnesium and titanium on plum (*Prunus domestica* L.) fruit quality. *Journal of Plant Physiology* 160: 1441-1446.
- Al Hassan TM, Martínez-Fuentes M, Ramos-Sánchez FJ, Vicente O, Boscaiu M.** 2015. Effects of Salt and Water Stress on Plant Growth and on Accumulation of Osmolytes and Antioxidant Compounds in Cherry Tomato. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca* 43(1): 1-11.
- Boland FE.** 1990. Fruits and fruit products. In: Official methods of analysis of the association of analytical methods (AOAC). Helrich, K (ed.). Virginia, USA. pp. 910-911.
- Arias R, Lee TC, Logendra L, Janes H.,** 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 1697-1702.
- Botella MA, Del Amor F, Amorós A, Serrano M, Martínez V, Cerda A.** 2000. Polyamine, ethylene and other physico-chemical parameters in tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruits as affected by salinity. *Physiologia Plantarum* 109: 428-434.
- Carvajal M, Frutos MJ, Giménez JL, Alcaraz CF, Martínez SF.** 1992. Aporte foliar de titanio a plantas de pimiento pimentonero: Influencia sobre el balance de nutrición en pericarpio de fruto. *Suelo y Planta* 12: 532-562.
- De la Cruz-Millán MG.** 2012. Fertilización foliar con potasio, calcio y silicio en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.). Tesis de Maestría en Ciencias. Departamento de Fitotecnia. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, Estado de México 74 p.
- Flores P, Navarro JM, Carvajal M, Cerda A, Martínez V.** 2003. Tomato yield and quality as affected by nitrogen source and salinity. *Agronomie* 23(2003): 249-256.

- Fluck RC, Halsey LH.** 1973. Impact forces and tomato bruising. Florida Agricultural Experiment Station Journal Series 5109: 239-242.
- Fraser PD, Truesdale MR, Bird CR, Schuch W, Bramley PM.** 1994. Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development. *Plant Physiology* 105: 405-413.
- Getinet H, Seyoum T, Woldetsadik K.** 2008. The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 87: 467-478.
- Gholami Y, Falah A.** 2013. Effects of two different sources of silicon on dry matter production, yield and yield components of rice. *International Journal of Agriculture and Crop Sciences* 5(3): 227-231.
- Giannakoula AE, Ilias F.** 2013. The effect of water stress and salinity on growth and physiology of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Archives of Biological Sciences* 65(2): 611-620.
- Giordano LDB, Silva JBC, Barbosa V.** 2000. Escolha de cultivares e plantio. *In: Tomate para processamento industrial.* J. B. C. Silva and L. D. B. Giordano (eds.). Emprapa. Brasilia, Brazil. pp. 36-59.
- Gómez-Méndez E.** 2012. Producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* L) bajo condiciones protegidas e hidroponía en Tabasco. Tesis de Doctorado en Ciencias Postgrado en Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México, México. 113 p.
- Grajkowski J, Ochmian I.** 2007. Influence of three biostimulants on yielding and fruit quality of three primocane raspberry cultivars. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum CultUS* 6: 29-36.
- Hernández-Apaolaza L.** 2014. Can silicon partially alleviate micronutrient deficiency in plants? *Planta* 240: 447-458.
- Huang W, Liao S, Lv H, Khaldun ABM, Wang Y.** 2015. Characterization of the growth and fruit quality of tomato grafted on a woody medicinal plant, *Lycium chinense*. *Scientia Horticulturae* 197: 447-453.
- Jarosz Z.** 2014. The effect of silicon application and type of medium on yielding and chemical composition of tomato. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 13(4): 171-183.

- Jayawardana HARK, Weerahewa HLD, Saparamadu MDJS.** 2014. Effect of root or foliar application of soluble silicon on plant growth fruit quality and anthracnose development of *Capsicum*. *Tropical Agricultural Research* 26(1): 74-81.
- Jones JBJr.** 1999. *Tomato Plant Culture: In the field, greenhouse, and home garden*, CRC Press, Washington, D. C. 420 p.
- Kaniszewski S.** 1982. Influence of irrigation and nitrogen fertilization on the yield and plants nutrient status of leek. *Biuletyn Warzywniczy* 26: 95-106.
- Kaya C, Levent TA.** 2011. Mitigation effects of silicon on tomato plants bearing fruit grown at high boron levels. *Journal of Plant Nutrition* 34(13): 1985-1994.
- Kleiber T, Markiewicz B.** 2013. Application of "Tytanit" in greenhouse tomato growing. *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus* 12(3): 117-126.
- Kopsell AD, Sams EC, Casey B.T, Kopsell E.D.** 2010. Fruit Tissue Elements and Carotenoids in Micro-Tina' Tomato Respond to Foliar Chelated Titanium. *HortScience* 45(8): S290-S291 (supplement).
- Lara LS.** 2009. Evaluación de varios bioestimulantes foliares en la producción del cultivo de soya (*Glycine max* L.), en la zona Babahoyo Provincia de los Ríos. Tesis de Grado. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador. 99 p. Disponible en línea en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6573/1/D-39141.pdf>, consultado: julio 1, 2017.
- Liu HY.** 1997. Preliminary report on effect of Si fertilizer on tomato growth. *Journal of Guizhou Agricultural College* 16: 76-77 (In Chinese).
- Long J.** 2003. *Conquista y comida: consecuencias del encuentro de dos mundos*. UNAM, Universidad Autónoma de México. Tercera edición. México. 530 p.
- López-Camelo AF, Gómez PA.** 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira* 22(3): 534-537.
- López-Moreno JL, Giménez JL, Moreno A, Fuentes JL, Alcaraz CF.** 1995. Plant biomass and fruit yield induction by Ti(IV) in P-stressed pepper crops. *Fertilizer Research* 43: 131-136.

- López-Vidal O, Escalona-Buendía H. Pelayo-Saldívar C. Cruz-Salazar J. Villa-Hernández JM. Rivera-Cabrera F. Villegas-Torres O. Alia-Tejagal I. Pérez-Flores LJ. Díaz de León-Sánchez F.** 2014. Carotenoides, capacidad antioxidante y compuestos volátiles del aroma durante la maduración del jitomate. *Revista Internacional de Botánica Experimental Fiton* 83: 185-192.
- Lu S-w, Qi F, Li T-I.** 2012. Effects of salt stress on sugar content and sucrose metabolism in tomato fruit. *China Vegetables* 20: 56-61.
- Markiewicz B, Kleiber T.** 2014. The effect of titanium applications on the content of selected microelements and the biological value of tomato fruits. *Journal Elementology Chair of Plant Nutrition* 19(3): 1065-1072.
- Marodin JC, Resende JTV, Morales RGF, Silva MLS, Galvão, Zanin DS.** 2014. Yield of tomato fruits in relation to silicon sources and rates. *Horticultura Brasileira* 32: 220-224.
- Mattson MP.** 2008. Hormesis defined. *Ageing Research Reviews* 7: 1-7.
- Moretti CL, Sargent SA.** 2000. Alteração de sabor e aroma em tomates causado por impacto. *Scientia Agricola* 57: 385-388.
- Noonari S.** 2015. Economic Implications of Tomato Productions in Nushahro Feroze District of Sindh Pakistan. *International Journal of Agricultural Extension and Rural Development Studies* 2(2): 19-28.
- Nuez F.** 2001. *El cultivo del tomate*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.
- Plants Database-USDA.** 2017. *Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme (Dunal) Spooner, G.J. Anderson & R.K. Jansen Show All garden tomato. Disponible en línea en: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=SOLYC>, consultado: junio 1, 2016.
- Polese JM.** 2007. *Cultivo de tomates*. Ediciones Omega. Barcelona, España. 95 p.
- Puteh AB, Mondal MMA.** 2013. Salinity effect on dry mass partitioning in different plant parts and ion uptake in leaves of rice mutants. *Journal of Environmental Science and Natural Resources* 6(1): 239-245.

- Raliya R, Wei-Ning W, Biswas P.** 2015. Mechanistic evaluation of translocation and physiological impact of titanium dioxide and zinc oxide nanoparticles on the tomato (*Solanum lycopersicum* L.) plant. *Metallomics* 7(12): 1584-1594.
- Renquist, RA, Reid JB.** 1998. Quality of processing tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit from four bloom dates in relation to optimal harvest timing. *New Zealand Journal of Crop Horticultural Science* 26: 161-168.
- Rezende-Fontes PC, Arruda-Sampaio R, Luiz-Finger F.** 2000. Fruit size, mineral composition and quality of trickle-irrigated tomatoes as affected by potassium rates. *Pesquisa Agropecuaria Brasileira* 35: 21-25.
- Rodríguez RR, Tabarez RJM, Medina SJA.** 2001. Cultivo moderno del tomate. Ediciones Mundi-Prensa. Segunda edición. México, D. F., México. 255 p.
- Romero-Aranda MR, Jurado O, Cuartero J.** 2006. Silicon alleviates the deleterious salt effect on tomato plant growth by improving plant water status. *Journal of Plant Physiology* 163: 847-855.
- Schwarz D, Thompson AJ, Kläring H-P.** 2014. Guidelines to use tomato in experiments with a controlled environment. *Frontiers in Plant Science* 5: 625.
- Segalín SR, Huth C, Rosa TD'A, Pahin DB, Mertz LM, Nunes UR, Martín TN.** 2013. Foliar application of silicon and the effect on wheat seed yield and quality. *Journal of Seed Science* 35(1): 86-91.
- SIAP.** 2015. Se consolida México como primer exportador mundial de tomate. Boletín de la Secretaría de Agricultura Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. Disponible en línea en: <http://www.sagarpa.gob.mx/saladeprensa/2012/Paginas/2015B466.aspx>, consultado: febrero 13, 2017.
- SIAP.** 2016. Exportaciones de tomate aumentan 22.7 por ciento en cinco meses. Comunicado de prensa de la SAGARPA. Disponible en línea en: http://www.sagarpa.gob.mx/Delegaciones/bajacaliforniasur/boletines/2016/a_gosto/Documents/2016BS345.pdf, consultado: octubre 3, 2016.
- Simon L, Balogh A, Hajdu F, Albert J, Pais I.** 1991. The effect of titanium on the carbohydrate content and phosphofructokinase activity in tomatoes. *Zoldsegetermesztes Kutato Intezet Bulletinje* 24: 117-125.

- Singh J, Divakar-Sastry EV, Sing V.** 2012. Effect of salinity on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) during seed germination stage. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 18: 45-50.
- Snyder HG, Matichenkov VV, Datnoff EL.** 2007. Silicon *In: Handbook of Plant Nutrition.* Barker AV, Pilbeam DJ (eds.). Editorial Board. Is an imprint of CRC Taylor and Francis Group. New York, EUA. pp. 551-568.
- Sohail M, Saied AS, Gebauer J, Buerkert A.** 2009. Effect of NaCl Salinity on Growth and Mineral Composition of *Ziziphus spina-christi* (L.) Willd. *Journal of Agriculture and Rural Development in the Tropics and Subtropics* 110(2): 107-114.
- Souza CBN, Gomes DGDM, Silva CIDJ, De Assis FA, Da Silveira FA, Pasqual M.** 2016. Effects of silicon on the growth and genetic stability of passion fruit. *Acta Scientiarum Agronomy* 38(4): 503-511.
- Steiner A.** 1984. The universal nutrient solution. *In: ISOSC Proceedings 6th International Congress on Soilless Culture.* pp. 633-649.
- Tigist M, Workneh TS, Woldetsadik K.** 2013. Effects of variety on the quality of tomato stored under ambient conditions. *Journal of Food Science and Technology* 50: 477-486.
- UPOV.** 2001. Guidelines for the conduct of test for distinctness, uniformity and stability: tomato. Disponible en línea en: http://www.upov.int/en/publications/tg-rom/tg044/tg_44_10.pdf, consultado: mayo 21, 2016.
- USDA.** 2017. United States Department of Agricultural. Natural Resources Conservation Service. Disponible en línea en: <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=SOLYC>, consultado: mayo 21, 2016.
- Velasco HE, Nieto AR, Navarro LER.** 2012. Cultivo del tomate en hidroponía e invernadero. Editorial Mundi-Prensa México. Primera reimpresión. 126 p.
- Vibrans H.** 2009. Malezas de México: jitomate silvestre. Disponible en línea en: <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/solanaceae/lycopersicon-esculentum/fichas/ficha.htm>, consultado: julio 24, 2016.

- Wang SP, Guo SR, Hu XH, Li J, Jiao YS.** 2006. Effects of NaCl stress on the content of photosynthetic pigments in the leaves of cucumber (*Cucumis sativus* L.) seedlings. *Acta Agriculturae Universitatis Jiangxiensis* 28(1): 32-38.
- Whitted-Haag B, Kopsell DE, Kopsell DA, Rhykerd RL.** 2014. Foliar Silicon and Titanium Applications Influence Growth and Quality Characteristics of Annual Bedding Plants. *The Open Horticulture Journal* 7: 6-15.
- Wojcik P, Wojcik M.** 2001. Growth and nutrition of M.26 Emla apple rootstock as influenced by titanium fertilization. *Journal of Plant Nutrition* 24: 1575-1588.
- Wu M, Kubota Ch.** 2008. Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Scientia Horticulturae* 116: 122-129.
- Xue G, Zhang G, Sun Y, Liao S, Chen Y.** 2012. Influences of spraying two different forms of silicon on plant growth and quality of tomato in solar greenhouse. *Chinese Agriculture Science Bulletin* 28(16): 272-276.
- Zbigniew J.** 2013. The effect of silicon application and type of substrate on yield and chemical composition of leaves and fruit of cucumber. *Journal of Elementology* 18(3): 403-414.
- Zhang P, Senge M, Dai Y.** 2016. Effects of salinity stress on growth, yield, fruit quality and water use efficiency of tomato under hydroponics system. *Reviews in Agricultural Science* 4: 46-55.