

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO



DEPARTAMENTO DE FITOTECNIA
INSTITUTO DE HORTICULTURA

**TOLERANCIA AL ESTRÉS SALINO Y
CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ZARZAMORA
(*Rubus* spp.) 'TUPY' Y FRESA (*Fragaria x
ananassa* Duch.) 'FESTIVAL'**

TESIS DE GRADO

Que como requisito parcial
para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

Presenta

SANDRA LUZ GONZÁLEZ JIMÉNEZ

Bajo la supervisión de: Dra. Ana María Castillo González

Chapingo, México, Julio de 2019

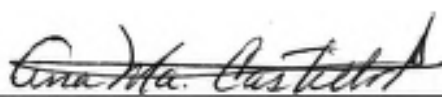


DIRECCIÓN GENERAL ACADÉMICA
CENTRO DE SERVICIOS ESCOLARES
FACULTAD DE EXAMENES PROFESIONALES

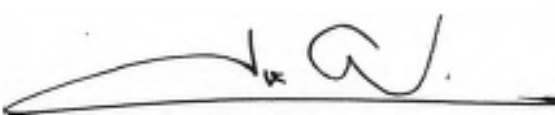
**TOLERANCIA AL ESTRÉS SALINO Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN
ZARZAMORA (*Rubus* spp.) 'TUPY' Y FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.)
'FESTIVAL'**

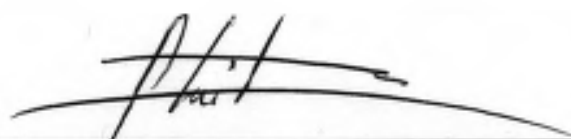
Tesis realizada por **Sandra Luz González Jiménez** bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

DIRECTOR: 
DRA. ANA MARÍA CASTILLO GONZÁLEZ

ASESOR: 
DRA. MARÍA DEL ROSARIO GARCÍA MATEOS

ASESOR: 
DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR

ASESOR: 
DR. EDILBERTO AVITIA GARCÍA

LECTOR EXTERNO: 
DR. MARTÍN RUBÍ ARRIAGA

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN GENERAL.....	1
1.1	Objetivos	4
1.1.1	Objetivo General	4
1.1.2	Objetivos Específicos.....	4
1.2	Hipótesis.....	4
2	REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1	La fresa y la zarzamora	4
2.1.1	Descripción de la fresa	4
2.1.2	Calidad y propiedades nutricionales de los frutos de fresa.....	5
2.1.3	Descripción de la zarzamora.....	6
2.1.4	Propiedades nutricionales del fruto de zarzamora.....	6
2.2	Salinidad y su efecto en las plantas	7
2.2.1	Efectos de la salinidad en la fotosíntesis	9
2.2.2	Tolerancia de las plantas ante la salinidad	10
2.2.3	Respuestas bioquímicas ante la salinidad	11
2.3	Literatura citada.....	14
3	RESPUESTAS NUTRIMENTALES Y FISIOLÓGICAS DE FRESA (<i>Fragaria x ananassa</i> Duch.) A LA EXPOSICIÓN TEMPORAL A SOLUCIONES NUTRITIVAS CON ALTA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA.....	19
3.1	Resumen	19
3.2	Introducción	22
3.3	Materiales y métodos	23
3.3.1	Material vegetal y ubicación del experimento	23
3.3.2	Manejo del cultivo y diseño experimental	24

3.3.3	Parámetros evaluados	25
3.4	Resultados y discusión	29
3.5	Conclusiones	36
3.6	Literatura citada.....	36
4	RESPUESTA DE ZARZAMORA CV. TUPY A LA SALINIDAD.....	19
4.1	Resumen	39
4.2	Introducción	41
4.3	Materiales y métodos	42
4.4	Resultados y discusión	48
4.5	Conclusiones	58
4.6	Literatura citada	58

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Concentración de iones de las soluciones nutritivas salinas utilizadas en el cultivo de fresa cv. Festival en Chapingo, México.....	25
Cuadro 2. Efecto de la CE en la solución nutritiva en el peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de fresa cv. Festival bajo condiciones de invernadero.....	29
Cuadro 3. Rendimiento, número de frutos y concentración de prolina en fresa cv. Festival cultivada bajo diferentes CE en la solución nutritiva.	30
Cuadro 4. Concentración nutrimental (%) en hojas y raíces de fresa cv.Festival cultivada bajo niveles de CE en la solución nutritiva en condiciones de invernadero.....	32
Cuadro 5. Efecto de la CE de la solución nutritiva en las características físicas de los frutos de fresa cv. Festival bajo condiciones de invernadero	33
Cuadro 6. Efecto de la CE de la solución nutritiva en las características químicas de los frutos de la dresa cv. Festival bajo condiciones de invernadero	34
Cuadro 7. Efecto de la CE de la solución nutritiva en la concentración de compuestos antioxidantes y actividad antioxidante (ABTS) en frutos de fresa cv. Festival bajo condiciones de invernadero.	35
Cuadro 8. Concentración de iones de las soluciones nutritivas salinas con diferentes CE utilizadas en el cultivo de zarzamora cv. Tupy en Chapingo, México	43
Cuadro 9. Efecto de la CE en la solución nutritiva en el peso seco de la raíz y parte aérea de zarzamora cv. Tupy bajo condiciones de invernadero	48

Cuadro 10. Rendimiento, número de frutos y concentración de prolina en zarzamora cv. Tupy cultivado bajo diferentes niveles de CE en la solución nutritiva.....	49
Cuadro 11. Longitud y diámetro de caña principal de zarzamora cv. Tupy cultivada bajo diferentes niveles de CE.....	50
Cuadro 12. Azúcares solubles totales de raíz y hojas de zarzamora cv. Tupy cultivada bajo diferentes niveles de CE.	51
Cuadro 13. Contenido de pigmentos en hojas de zarzamoras cultivadas bajo diferentes niveles de CE.	52
Cuadro 14. Efecto de la CE de la solución nutritiva en las características físicas de los frutos de zarzamora cv. Tupy bajo condiciones de invernadero	53
Cuadro 15. Efecto de la CE de la solución nutritiva en las características químicas de los frutos de zarzamora cv. Tupy bajo condiciones de invernadero	54
Cuadro 16. Efecto de la CE de la solución nutritiva en el contenido de compuestos antioxidantes y capacidad antioxidante por el método ABTS en frutos de zarzamora cv. Tupy bajo condiciones de invernadero	57

DEDICATORIAS

A Dios por ponerme cada escalón para que lo lograra

A mis padres y hermano, a quienes les debo mi soporte y mayores alegrías

A mi mamá por sus cuidados amorosos

A mi esposo e hijo, la fuerza y el motivo

A mis familias, Osorio y González por su apoyo incondicional

A mis padrinos por sus consideraciones

A mis amigos y compañeros

A los buenos profesores y maestros de vida

...Y especialmente a mis abuelos, con todo el amor del mundo.

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT), por el financiamiento y oportunidad para realizar mis estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por las enseñanzas y oportunidades dadas durante el desarrollo experimental y académico.

A la Dra. Ana María Castillo González, por su empeño en la correcta dirección y realización en el trabajo de investigación.

A la Dra. Ma. Del Rosario García Mateos por su compromiso, dirección y amistad durante el trabajo de laboratorio y todo el proceso académico.

Al Dr. Luis Alonso Valdés Aguilar, por sus conocimientos y apoyo incondicional.

Al Dr. Edilberto Avitia García, por sus diversos consejos, paciencia y apoyo académico.

Al Dr. Martín Rubí por su ayuda y aportes.

A la Q.F.B. Ángela por el incansable apoyo y colaboración en todo momento.

A mis compañeros, profesores y personal administrativo que durante este proyecto tuvieron la amabilidad de auxiliarme.

A mi amada familia por su trabajo y esfuerzo para que lo lograra.

DATOS BIOGRÁFICOS



Datos personales

Nombre: Sandra Luz González Jiménez

Fecha de nacimiento: 07 de noviembre de 1988

Lugar de Nacimiento: Tepic, Nayarit

CURP: GOJS881107MNTNMN07

Profesión: Lic. En biología / Maestra en Ciencias en Horticultura

Cédula profesional: 10952411

Datos académicos

Bachillerato: Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios 142

Licenciatura: Universidad Veracruzana, Facultad de Biología-Xalapa

Maestría: Universidad Autónoma Chapingo, Instituto de Horticultura

RESUMEN GENERAL

TOLERANCIA AL ESTRÉS SALINO Y CAPACIDAD ANTIOXIDANTE EN ZARZAMORA (*Rubus* spp.) ‘TUPY’ Y FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) ‘FESTIVAL’

La fresa y la zarzamora son frutillas de importancia económica y nutricional en México y son consideradas especies poco tolerantes a la salinidad. El objetivo de esta investigación fue evaluarla respuesta a la salinidad de zarzamora ‘Tupy’ y fresa ‘Festival’. Los tratamientos fueron soluciones salinas con conductividades eléctricas crecientes, para fresa: 2.0 (testigo), 2.3, 2.5 y 2.7 dS·m⁻¹, aplicados cada cuatro días, a partir de la etapa de floración; para zarzamora: 2.0 (testigo), 2.2, 2.4, 2.6, 2.8 y 3.0 dS m⁻¹, aplicadas diariamente hasta fructificación. Las plantas se establecieron en un invernadero de cristal en macetas de plástico con tezontle (2 a 3 mm) con un sistema hidropónico abierto con la solución de Steiner. Se evaluó el rendimiento, número de frutos por planta, biomasa, contenido de prolina en raíz, concentración nutrimental foliar y de pigmentos y calidad de los frutos [peso, índice de redondez, firmeza, azúcares solubles totales (AST), sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT) contenido de fenoles, flavonoides, antocianinas, vitamina C, capacidad antioxidante y porcentaje de inhibición]. En fresa, el rendimiento y número de frutos por planta no fueron afectados; mientras que en zarzamora éstos, la biomasa y los pigmentos disminuyeron. La concentración de prolina en fresa se incrementó 56, 111 y 97% con 2.3, 2.5 y 2.7 de CE, respectivamente; en zarzamora aumentó 77, 56 y 120% con 2.6, 2.8 y 3.0 dS· m⁻¹, respectivamente. Los frutos de fresa no presentaron diferencias estadísticas en el peso, diámetro, firmeza e índice de redondez del fruto. El contenido de AST disminuyó 18% y la relación SST/AT 11% con 2.7 de CE. La concentración de fenoles, flavonoides, antocianinas, la actividad antioxidante y el porcentaje de inhibición disminuyeron con la salinidad, sólo el contenido de vitamina C aumentó conforme la CE se elevó. En los frutos de zarzamora el peso, AST e índice de redondez disminuyeron con 2.6, 2.8 y 3.0 de CE; con 2.8 de CE la firmeza, los SST y AT se incrementaron; el contenido de fenoles totales y flavonoides disminuyó con el aumento de CE. Contrariamente, las antocianinas duplicaron su concentración con la salinidad; la concentración de vitamina C aumentó 10% con 3.0 de CE; la capacidad antioxidante, así como el porcentaje de inhibición aumentaron con 2.8 y 3.0 dS·m⁻¹ en 12 y 15 %, respectivamente. En hojas de fresa con la CE de 2.7 el contenido de P disminuyó 55%, el de Mg 52%; en tanto que el K aumentó 88% y el S 117%. En zarzamora sólo el Ca aumentó con el aumento de CE.

Palabras clave: rendimiento, nutrimentos, calidad de fruto, compuestos antioxidantes, prolina.

ABSTRACT

TOLERANCE TO SALINE STRESS AND ANTIOXIDANT CAPACITY IN BLACKBERRY (*Rubus* spp.) 'TUPY' AND STRAWBERRY (*Fragaria x ananassa* Duch.) 'FESTIVAL'

Blackberry and strawberry crops have an economic and nutritional importance in Mexico and they are considered as not very tolerant species to salinity. The aim of this investigation was to evaluate the response of blackberry 'Tupy' and strawberry 'Festival' to salinity. The treatments were saline solutions with increasing electrical conductivities (EC), applied every four days at the flowering stage for strawberry: 2.0 (control), at 2.3, 2.5 and 2.7 dS·m⁻¹; and for blackberry 2.0 (control), the treatments were of 2.2, 2.4, 2.6, 2.8 and 3.0 dS·m⁻¹ and they were daily applied until fructification. The plants were established in a glass greenhouse, in plastic pots containing tezontle (2 to 3 mm) and they were irrigated with a supplying Steiner solution using an open hydroponic system. The yield, number of fruits per plant, biomass, proline content in root, foliar and pigment nutrient concentration and fruit quality, [weight, roundness index, firmness, total soluble sugars (TSS), total soluble solids (TSSL), titratable acidity (TA) content of phenols, flavonoids, anthocyanins, vitamin C, antioxidant capacity and percentage of inhibition] were evaluated. In strawberry, the yield and number of fruits per plant were not affected; while in blackberry those parameters, biomass, and pigments decreased. In strawberry, the proline concentration increased 56 %, 111 % and 97% at 2.3, 2.5 and 2.7 dS · m⁻¹, respectively; in blackberry, it increased 77 %, 56 % and 120 % at 2.6, 2.8 and 3.0 dS· m⁻¹, respectively. Strawberry fruits did not present statistical differences in weight, diameter, firmness, or fruit roundness index. At 2.7dS· m⁻¹ the TSSL content and the TSSL/TA ratio, decreased in 18% and 11%, respectively. The concentration of phenols, flavonoids, anthocyanins, antioxidant activity and the percentage of inhibition decreased with the salinity treatments, only the vitamin C content increased along with the EC raising. In blackberry fruits their weight, TSS ratio and roundness index decreased at 2.6, 2.8 and 3.0 dS· m⁻¹; and at 2.8 dS· m⁻¹ the firmness, the TSSL ratio and TA also increased; the content of total phenols and flavonoids decreased when the EC increased. Conversely, anthocyanins doubled their concentration with saline EC; the concentration of vitamin C increased 10% at 3.0 dS m⁻¹; the antioxidant capacity, as well as the percentage of inhibition, increased at 2.8 and 3.0 dS· m⁻¹ in 12 and 15%,

respectively. In strawberry leaves at $2.7 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$, the P and Mg content decreased 55% and 52% while the K and S content increased 88% and 117 %, respectively. In blackberry, only the Ca content increased when the CE increased.

Key words: yield, nutrients, fruit quality, antioxidant compounds, proline.

Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura
Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Sandra Luz González Jiménez
Director de Tesis: Dra. Ana María Castillo González

1 INTRODUCCIÓN GENERAL

La salinización del suelo es un factor importante en el rendimiento y desarrollo de cultivos en todo el planeta, aproximadamente un 50 % de los suelos agrícolas mundiales y suelos fertilizados químicamente, tienen problemas de salinidad actualmente (Fageria, Gheyi y Moreira *et al.*, 2011); de la superficie terrestre total, aproximadamente el 6 % está salinizada (FAO, 2019; Munns, 2009).

La salinidad puede deberse a procesos naturales en zonas áridas, donde la precipitación alcance apenas 200 a 300 mm por año (Loescher, Chan y Grumet, 2011), en zonas costeras donde las sales de cloruro de sodio y sulfato de magnesio interactúan constantemente o bien, en suelos sódicos altos en contenido de bicarbonato de sodio y cloruro de sodio (Munns y Tester, 2008; Ríos-Gómez, Salas-García, Monroy-Ata y Solano, 2010). Así, la salinidad se produce sumando tanto los procesos naturales como los inducidos por el hombre, que resulta en la acumulación de sales disueltas en el agua y que inhibe en gran medida el crecimiento de las plantas (Munns, 2009). La concentración de sal en el suelo se mide en términos de conductividad eléctrica, se considera que un suelo salino puede tener una CE de $4 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$ o más, aunque algunos cultivos pueden verse afectados por una CE menor a estos valores (Munns, 2005). G

El efecto general primario de la salinidad es reducir la tasa de crecimiento dando como resultado un menor número de hojas, altura de planta, tamaño de hojas y raíz reducidos, todo esto como resultado de una respuesta osmótica (Munns y Tester, 2008). Por otro parte, puede llegar a generarse toxicidad que el exceso y desbalance de iones produce en las hojas (Saqib, Zörb y Schubert, 2006). Ante la salinidad, las diferentes especies vegetales responden de diversa manera en función de elementos endógenos como su genética, en el caso de los cultivos hortofrutícolas son más los catalogados como poco tolerantes o

intolerantes a la salinidad (Goreta, Bučević-Popović, Pavela-Vrančić y Perica, 2007; Loescher *et al.*, 2011). Varios autores han evaluado el efecto del estrés salino en algunas especies como pepino (*Cucumis sativus* L.) (Lechno, Zamski y Tel-Or, 1997), frijol mungo (*Phaseolus radiatus* L.) (Parveen, Karmoker, Sabanando y Bimal, 2004), olivo (*Olea europea* L.) (Smiljana, Bucevic-Popovic, Pavela-Vrancic, Perica, 2007), S. trigo (*Triticum aestivum* L.) (Saqib *et al.*, 2006) y arroz (*Oryza sativa* L.) (Amirjarni, 2011). Sin embargo, la experimentación con estrés por salinidad también ha ayudado a descubrir que bajo ciertos parámetros, algunas especies medianamente tolerantes o poco tolerantes pueden tener algunas consecuencias benéficas en la calidad de sus frutos (Khayyat, Tefazoli, Eshghi, Rahemi y Rajaei, 2007; Keutgen y Keutgen, 2003, Goykovic y Saavedra, 2007).

La fresa y zarzamora por su parte, son dos cultivos considerados como sensibles a la salinidad (Downton y Läuchli, 1984, Grattan y Hanson, 2006). Algunos estudios han analizado el efecto de la salinidad en plantas de fresa, zarzamora y otras especies del género *Rubus* en el crecimiento y parámetros de calidad del fruto (Garriga, Muñoz, Caligari y Retamales, 2015; Neocleous y Vasilakakis, 2007; Neocleous y Vasilakakis, 2008).

La fresa es cultivada en todo el mundo desde áreas templadas, cálidas y de clima mediterráneo, China y Estados Unidos son los productores más importantes en el mundo (Menzel y Smith, 2014). El cultivo de fresa se considera importante en México al ser un producto de exportación y consumo nacional que se utiliza tanto en fresco como procesado, con una superficie cosechada de 13,849.78 ha y una producción de 658,435.89 t ; Michoacán es el estado de la República donde más se produce (SIAP, 2019), seguido por Baja California y Guanajuato. El cultivar Festival, obtenido en Florida, es uno de los más utilizados en México, se originó en 1995 como cruza entre 'Rosa Linda' y 'Oso Grande' y tiene una calidad parecida a 'Sweet Charlie', un cultivar muy apreciado (Chandler, Legard y Dunigan, 2000). Las zarzamoras son frutos muy consumidos en Norteamérica y la Unión Europea, que se han expandido

gracias a la creación de cultivares mejorados, disponibilidad y un aumento en el consumo general de frutillas como fruta fresca (Clark y Finn 2014), se estima que hay alrededor de 20,035 ha de zarzamora cultivada en todo el mundo (Strick, Clark, Finn y Bañados 2007; Zhao, 2007). En México, en 2017 el valor de producción de zarzamora fue de más de 12 mil millones de pesos, (SIAP, 2019). El mayor productor de zarzamora es Michoacán, seguido del estado de Jalisco y las variedades predominantes son 'Brazos' y 'Tupy', que se consideran tipos semierectos (Strick *et al.*, 2007).

La calidad de los frutos de fresa y zarzamora está controlada por una serie de factores, tanto genéticos como ambientales y las cualidades sustanciales que se toman más en cuenta son la firmeza, forma, color, sólidos solubles totales, porcentaje de acidez y azúcares solubles; sin embargo, otro criterio de calidad extra que se le otorga a las frutillas es su alta capacidad antioxidante, la cual está íntimamente relacionada con la cantidad de compuestos fenólicos como flavonoides, ácidos fenólicos y antocianinas; dichos compuestos les confieren características preventivas ante algunas enfermedades (Gündüz, 2016). El énfasis en destacar la capacidad antioxidante de los alimentos, se sustenta en que el estrés oxidativo es un proceso biológico propuesto como un factor etiológico en las enfermedades crónicas no transmisibles. Existen una serie de compuestos antioxidantes de origen vegetal capaces de actuar directa e independientemente de los sistemas enzimáticos. Por lo que es importante conocer la capacidad antioxidante de los alimentos, como primera entrada para evaluar sus efectos benéficos para el humano (Araya, Clavijo y Herrera, 2006).

El conocimiento del efecto de la salinidad sobre cultivos poco tolerantes, nos permite saber qué tanto afecta este ambiente de estrés, no sólo a los lparámetros de crecimiento del cultivo, sino también indagar sobre las mejoras de calidad que pudiesen tener los frutos a nivel de propiedades antioxidantes a través de sus compuestos bioactivos, importantes para el consumidor, así como para la calidad comercial.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo General

Conocer el efecto de la salinidad en la solución nutritiva en Zarzamora cv. Tupy y Fresa cv. Festival.

1.1.2 Objetivos Específicos

a) Conocer el efecto de salinidad en la solución nutritiva, en el crecimiento, concentración nutrimental, contenido de prolina, rendimiento y calidad de los frutos de zarzamora cv. Tupy y fresa cv. Festival.

b) Determinar si la salinidad mejora el contenido de antioxidantes en los frutos de ambas especies.

1.2 Hipótesis

Las plantas de fresa cv. Festival y zarzamora cv. Tupy cultivadas bajo estrés salino se verán afectadas en el crecimiento, rendimiento, acumulación de biomasa y estado nutrimental: mientras que sus frutos presentarán mejoras en parámetros físicos, químicos y fitoquímicos.

2 REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 La fresa y la zarzamora

2.1.1 Descripción de la fresa

El género *Fragaria* pertenece a la familia de las Rosáceas. La especie más importante de fresa es *Fragaria x ananassa* Duch. un octaploide de 56 cromosomas, híbrido entre las especies *Fragaria chiloensis* y *F. virginiana* (Hancock, Sjulín y Lobos, 2008; Vega, 2008). Se considera que las especies de fresa actuales tienen origen en *Fragaria vesca silvestris* (fresa de bosque) o en su variante *Fragaria semperflorens* (Darrow, 1966).

La fresa es perenne y su comportamiento de producción depende de la zona. En climas subtropicales y mediterráneos registra ciclos de producción largos, en México es manejada como cultivo de un año (Dávalos, García, Jofre, Hernández y Vázquez, 2011). Las fresas se cultivan en una gama amplia de climas, pero existen factores que limitan su productividad según Hancock *et al.*, (2008): calor y sequía, salinidad, inviernos fríos, heladas primaverales y horas frío insuficientes. Las fresas son distintas por su respuesta al fotoperiodo: de día corto, de día largo y neutro. Esto significa que los cultivares de día corto florecerán, si el fotoperiodo no excede cierto límite que generalmente debe ser de 12 horas, los cultivares de día largo sólo florecen en fotoperiodos ≥ 12 horas o más, mientras que las neutras no dependerán del fotoperiodo, aunque sí en gran medida de la temperatura (Galletta y Bringhurst, 1990).

2.1.2 Calidad y propiedades nutricionales de los frutos de fresa

La calidad de las fresas frescas está en función de su composición química y los atributos organolépticos. Los factores más significativos para asegurar la calidad en los frutos de fresa son firmeza, forma, contenido de azúcares, acidez, sólidos solubles totales, color y aroma (Gündüz, 2016; Hancock 1999; Martínez-Bolaños, *et al.*, 2007).

Azúcares simples como glucosa, fructosa y sacarosa representan casi todos los carbohidratos solubles en fresa, la relación entre glucosa/fructosa presenta la misma proporción durante todas las épocas de maduración (Zhao, 2007).

Las fresas contienen altas concentraciones de ácido ascórbico, potasio, magnesio, zinc y calcio (Giampieri, Tulipani, Álvarez-Suárez y Quiles, 2012); la vitamina C aumenta continuamente durante la maduración de la fresa. Como antioxidantes, además de vitamina C, la presencia de enzimas oxidasas y de polifenoles son sumamente importantes (Zhao, 2007).

Por todo lo anterior, se considera a los frutos de fresa como alimentos de gran valor en la salud humana.

2.1.3 Descripción de la zarzamora

La zarzamora pertenece a la familia de las Rosáceas. El género *Rubus* con alrededor de 700 especies, es el más grande de los géneros de esta familia; comprende 12 subgéneros, con pocas especies domesticadas. Las zarzamoras (*Rubus* spp.) pertenecen al subgénero *Eubatus* mientras que las frambuesas rojas y frambuesas negras (*R. occidentalis* L.) pertenecen al subgénero *Idaeobatus* (Zia-UI-Haq, Riaz, De Feo, Jaafar y Moga, 2014). Las zarzamoras son nativas de Eurasia y América del Norte, colonizaron los ambientes como plantas silvestres, convirtiéndose en fuente de alimento para los humanos desde hace miles de años; hasta mediados del S. XVII comenzó a seleccionarse para incrementar sus cualidades. Hasta el siglo XX empezó a ser consumida en otras partes del mundo (Clark y Finn, 2014). En la domesticación de zarzamoras, se hibridaron progenitores con rasgos deseables como frutas grandes y dulces, pocas espinas y altos rendimientos, dando como resultado híbridos complejos. Dentro de este subgénero, el nivel natural de ploidía varía desde diploide ($2x = 2n = 14$ cromosomas) a dodecaploide ($12x = 2n = 84$ cromosomas) (Clark, Stafne, Hall y Finn, 2007).

Las zarzamoras son clasificadas de acuerdo a su arquitectura en tres tipos: semierectas, erectas y rastreras. Dentro de las plantas erectas se producen tallos vegetativos y tallos productores de flores y por lo tanto, de frutos (Strick *et al.*, 2007).

En México, la producción de zarzamora ha involucrado el desarrollo de prácticas de producción únicas que combinadas con el ambiente y clima permite que se produzcan frutos casi todo el año (Clark y Finn, 2014). Los cultivares Tupy y Brazos son muy utilizados en nuestro país.

2.1.4 Propiedades nutricionales del fruto de zarzamora

Los frutos de zarzamora poseen un sabor agradable y tienen un excelente perfil nutritivo (De Souza, *et al.*, 2014), se consumen crudas o cocidas, en jugos o mermeladas. La raíz de la planta puede usarse en cocimiento, mientras que las

hojas resultan útiles para infusión (Zia-Ul-Haq *et al.*, 2014). La calidad organoléptica de los frutos depende de su contenido y composición de azúcares y ácidos, el azúcar más abundante en el fruto es la fructosa (Zhao, 2007).

Los frutos de zarzamora contienen tres tipos de tocoferoles: tocoferol- α , tocoferol β + γ , y tocoferol- δ , carotenoides como β -caroteno y luteína+ zeaxantina, varios tipos de ácidos fenólicos y alta capacidad antioxidante que dependen en gran medida del estado de maduración de la fruta (Rutz, Voss y Zambiasi, 2012).

Se ha demostrado que las zarzamoras contienen mayores cantidades de antocianinas y otros antioxidantes en comparación con otras frutillas (Özlem y Stoner, 2011). Sin embargo hay diferencias genotípicas en la concentración de polifenoles, así como también efecto en ellos y otros constituyentes del fruto, según la temporada o clima (Zhao, 2007).

2.2 Salinidad y su efecto en las plantas

La **salinidad primaria** o natural resulta de la acumulación de sales por procesos naturales en el suelo a lo largo del tiempo. El material parental contiene sales solubles y cuando las rocas se desintegran se liberan las sales, principalmente cloruro de sodio, calcio, magnesio y en menor medida sulfatos y carbonatos. Otra causa de la salinidad natural es la deposición de la sal oceánica transportada a través del viento y la lluvia, principalmente cloruro de sodio (Parihar, Singh, Singh, Singh y Prasad, 2015).

La **salinidad secundaria** es aquella causada por el humano, principalmente por el mal manejo de la irrigación y del uso de fertilizantes, cambiando el balance hidrológico del suelo-agua (Parihar, *et al.*, 2015; Pessarakli y Szabolcs, 1999). Otras actividades antropogénicas que son causa de la salinidad secundaria son: el sobrepastoreo, la deforestación, la contaminación directa por sales y la acumulación de sales transportadas por aire o agua (Pessarakli y Szabolcs, 1999).

El estrés en las plantas se define como cualquier restricción abiótica o biótica que limite la tasa de fotosíntesis y reduzca la capacidad de una planta para convertir la energía en biomasa (Parihar *et al.*, 2015). Todos los suelos contienen sales solubles disueltas y las plantas son capaces de absorber nutrimentos esenciales en forma de sales solubles, pero ante un exceso de ellas en el suelo, el crecimiento de los organismos vegetales se ve mermado; un manejo inadecuado de la irrigación incrementa el riesgo de producir suelos salinos. La salinidad se mide en términos de conductividad eléctrica CE y se expresa en $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ (decisiemens por metro) o mmhos cm^{-1} (milimhos por centímetro) y son consideradas unidades equivalentes, cuanto más alta sea la CE, más sales hay en el suelo (Blaylock, 1994).

El crecimiento de una planta ante la salinidad puede estar limitado tanto por el efecto osmótico de las sales disueltas en el suelo, como por el efecto tóxico de las diferentes sales dentro de la planta (Munns y Tester, 2008). El efecto inmediato de la salinidad sobre la planta comienza con la fase osmótica, se acumulan las sales alrededor de las raíces, reduciendo la tasa de crecimiento de las hojas y brotes y se detiene en gran medida, la fotosíntesis y la transpiración como respuesta de la planta a evitar un shock (Munns y Tester, 2008; Parida y Das, 2005). Si el estrés por salinidad continua, la planta genera un ajuste osmótico por cierto tiempo, se recuperan parcialmente la fotosíntesis y la respiración, además se secuestran solutos, tanto en citoplasma como en la vacuola, aumentando la turgencia de la hoja pero no la elongación. Ante la salinidad prologada, los solutos inorgánicos comienzan a acumularse en el apoplasto deshidratando el contenido del citoplasma, causando muerte de las hojas más viejas, luego de las jóvenes. Por efecto de la reducción del área foliar, se suprime el crecimiento de otros tejidos causando bajos rendimientos.

En el efecto del ion específico, la salinidad puede incrementar la concentración de ciertos iones que tienen efecto inhibitorio en el metabolismo de la planta, regularmente se trata de Na^+ , Cl^- o SO_4^{2-} (Parihar *et al.*, 2015; Blaylock, 1994). Se provoca un desequilibrio iónico y alteraciones en la homeostasis celular,

reduciendo aún más al crecimiento y la productividad (Evangelou y McDonald, 1999); sin embargo el efecto iónico afecta mucho después y tiene un menor efecto comparado con el estrés osmótico, especialmente si la salinidad es de baja a moderada (Munns y Tester, 2008). El efecto más conocido es el provocado por Na^+ y se caracteriza por quemaduras en los márgenes de las hojas, manchas necróticas y poca expansión laminar, lo que reduce la fotosíntesis y el rendimiento. Tiene además efecto antagónico con Ca^+ , Mg^{2+} y K^+ que causa deficiencias de éstos y membranas celulares dañadas (Evangelou y McDonald, 1999). El efecto del ion específico afecta a todos los procesos fisiológicos principales de la planta como la germinación, el crecimiento, los pigmentos fotosintéticos, la fotosíntesis, la captación de nutrimentos el estrés oxidativo y el rendimiento (Parihar *et al.*, 2015).

Para que el organismo sufra menos ante el estrés, se requiere de un mecanismo principal que consiste en minimizar la cantidad de sales que entran por las células de las raíces (sales que después se repartirán en otros tejidos de la planta) y de esta forma, evitar la acumulación de concentraciones tóxicas en el citosol de las células de hojas transpirantes (Munns, 2005).

2.2.1 Efectos de la salinidad en la fotosíntesis

La reducción de la tasa de fotosíntesis en las plantas bajo estrés salino, se debe principalmente a la disminución del potencial hídrico y a altas concentraciones de Cl^- y Na^+ en el cloroplasto (Parihar *et al.*, 2015). Hay efectos directos como la disminución de la disponibilidad de CO_2 causado por el cierre estomático (y por ende la poca disponibilidad de éste en el mesófilo) y alteraciones en el metabolismo fotosintético como transporte de electrones y fotofosforilación; además de otras indirectas y muy importantes como la disminución de los pigmentos fotosintéticos (Chaves , Flexas y Pinheiro, 2009; Sudhir y Murthy, 2004).

La disminución del contenido de clorofila bajo estrés es un fenómeno comúnmente reportado, puede deberse a diferentes motivos, uno de ellos está

relacionado con el deterioro de la membrana (Parihar *et al.*, 2015). En hojas de *Oryza sativa*, la reducción de los contenidos de clorofila a y b de hojas se observó después de tratamientos con NaCl (NaCl 200 mM durante 14 días), donde el contenido de clorofila b se redujo en 41% y el de la clorofila a en 33% (Amirjani, 2011). En estudios *in vitro*, se ha demostrado el efecto de la salinidad a nivel de los fotosistemas, el Na⁺ intercambiable en adición al estrés por NaCl, NaNO₃ y NaHCO₃ causa decremento en la transferencia de energía en el fotosistema II, mientras que las alteraciones en el relación K⁺/Na⁺ alteran tanto el fotosistema II como el I (Sudhir y Murthy, 2004).

2.2.2 Tolerancia de las plantas ante la salinidad

Dentro del reino vegetal, algunas plantas no son tolerantes a la salinidad y son llamadas glicófitas, pero existen otras que han generado ciertos mecanismos de resistencia ante el ambiente salino y se denominan halófitas (Parida y Das, 2005). Las segundas sólo corresponden al 2 % de la población de plantas terrestres, entre las familias más importantes se encuentran Chenopodiaceae, Poaceae, Fabaceae y Asteraceae (Aslam, Boston, Amen, Maria, y Safdar, 2011).

En cuanto a cultivos hortícolas, las plantas se han dividido en cuatro categorías según Blaylock (1994): sensibles a la salinidad ($< 1.3 \cdot \text{dS m}^{-1}$), moderadamente sensibles, ($< 3.0 \text{ dS m}^{-1}$), moderadamente tolerantes ($< 6.0 \cdot \text{dS m}^{-1}$) y tolerantes ($< 10.0 \cdot \text{dS m}^{-1}$).

En términos generales y de acuerdo con Munns y Tester, (2008) la mayoría de las plantas tienen tres tipos de mecanismos para sobrevivir ante la salinidad:

Tolerancia al estrés osmótico. Se reduce la expansión celular en los meristemas de raíces y hojas jóvenes, se hace lento el crecimiento de los brotes y se cierran los estomas. En sistemas limitados por agua, tal como resulta ante el estrés hídrico, se debe garantizar el suministro y/o permanencia de ella; la

expansión celular y la apertura de estomas sólo se reanuda cuando el organismo pueda disponer fácilmente de agua.

Exclusión de Na^+ . Mecanismo en las raíces que asegura que el sodio no se acumule en concentraciones tóxicas; de no suceder, causa la muerte de las hojas más viejas. El Na^+ suele acumularse en las vacuolas de la raíz, reduciendo su transporte a larga distancia.

Tolerancia de los tejidos a Na^+ o Cl^- . Compartimentación a nivel intracelular para evitar concentraciones tóxicas en el citoplasma. Algunos organelos como las vacuolas son capaces de cumplir con esa función. Se incrementa el secuestro de Na^+ en las vacuolas de las hojas. Las células de los tejidos más viejos servirán como esos compartimentos de almacenamiento y eventualmente morirán. Participan enzimas tipo bomba como la H^+ -ATPasa (V-ATPasa) y la pirofosfatasa vacuolar (VPPasa).

Parida y Das (2005) proponen otra serie de mecanismos que la planta puede utilizar ante el estrés salino, como síntesis de solutos compatibles, cambios fotosintéticos, alteración en la estructura de la membrana, inducción de enzimas antioxidantes e inducción de hormonas vegetales.

2.2.3 Respuestas bioquímicas ante la salinidad

Los mecanismos de adaptación de las plantas ante el estrés salino incluyen a procesos celulares que ayuden a lograr estados de equilibrio homeostático.

El metabolismo de carbohidratos, grasas y proteínas requiere de oxígeno, un incremento en los procesos metabólicos naturales se acompaña de la producción de radicales libres como superóxido (O_2^-), peróxido de hidrógeno (H_2O_2), radicales hidroxilo (OH^-), oxígeno singlete (O_2^-) y ácido hipocloroso (HOCL), considerados las especies reactivas de oxígeno (ROS) más importantes (Parihar *et al.*, 2015). Cuando las plantas están sometidas a condiciones de estrés salino, se producen ciertas sustancias que alteran el

equilibrio oxidativo normal y la extinción de antioxidantes se altera, resultando en daño oxidativo (Miller, Suzuki, Ciftci-Yilaz y Mittler, 2010; Parida y Das, 2005). En cloroplastos, una reducción del CO₂ debido al cierre de estomas, conduce a la creación de iones superóxido; en peroxisomas, un estado de alerta al estrés produce varios tipos de ROS en consecuencia; mientras que la respiración mitocondrial se maximiza generando tasas elevadas de transferencia de electrones y por tanto, más cantidad de ROS de las usuales (Miller *et al.*, 2010). Estos tres organelos en conjunto, propician la existencia de una actividad oxidativa muy elevada que requiere mecanismos de defensa inmediatos, entre ellos:

Síntesis de prolina.

La prolina es un aminoácido cuya concentración se incrementa especialmente bajo condiciones de sequía y salinidad. Su precursor biosintético es el ácido L-glutámico. Se acumula principalmente en la zona de crecimiento de la raíz primaria, manteniendo la elongación y turgencia aún a bajos niveles de potencial hídrico (Herrera-Flores, Ortiz, Delgado y Acosta, 2012). La prolina contribuye a estabilizar la estructura de las membranas y proteínas celulares, elimina radicales libres, amortigua el potencial redox y alivia la acidosis citoplasmática (Ashraf, & Foolad, 2007).

Actividad enzimática

Existe una relación entre los niveles de ciertas enzimas en la planta y la tolerancia a los ambientes salinos. Las superóxido dismutasas (SODs) son metaloenzimas capaces de convertir O₂ en H₂O₂, constituyen la principal línea de defensa contra las ROS y se producen en compartimentos celulares donde se genera el transporte de electrones; son capaces de actuar en mitocondrias, cloroplastos, glioxisomas, peroxisomas, apoplasto y citosol, (Alscher, Ertuk y Heat 2002; Parida, Bandhu y Dam, 2002). Otras enzimas importantes incluyen a la catalasa (CAT) y una variedad de peroxidasas como la ascorbato peroxidasa (POD) o la glutatión reductasa (GR) que catalizan la

descomposición del peróxido de hidrógeno (H_2O_2). Las diferencias entre la actividad antioxidante de las enzimas dependen en gran medida del genotipo, si éste es tolerante o no tolerante a la salinidad (Munns, 2005).

Compuestos bioactivos

De manera general, los cambios en el contenido de los metabolitos son evidentes aún a bajas salinidades (Parida *et al.*, 2002). La síntesis de compuestos antioxidantes en plantas estresadas con salinidad es muy variable entre especies, aunque una tendencia general es que el aumento de ellos sea creciente conforme el nivel y el tiempo de salinidad sea mayor, así lo demostraron Parida y Das (2004) en la especie de manglar *Bruguiera parviflora*, en donde los niveles de polifenoles se aumentaron a más del doble en condiciones de salinidad alta (400 mM de NaCl). En fresa, la salinidad en los cultivares Korona y Elsanta han mostrado mejoras en el contenido de compuestos fenólicos totales y antocianinas (Keutgen y Pawelzik, 2007). En brotes de tomate y col los contenidos de antocianinas se incrementaron a concentraciones de NaCl de 50 y 100 mM, los resultados fueron consistentes en raíces, hipocotilos y cotiledones (Eryilmaz, 2006).

La síntesis de carotenoides en frutos de plantas expuestas a salinidad también ha sido estudiado; en tomate, carotenoides y licopeno han aumentado su concentración al regar el cultivo con aguas salobres (Dorai, Papadopoulos y Gosselin, 2001; Goykovic y Saavedra, 2007). El estrés salino también es capaz de incrementar los niveles de compuestos como glucosinolatos en brócoli y otras brasicas (Yuan, Wang, Guo y Wang, 2010).

El ácido ascórbico (AA) o vitamina C afecta a muchos procesos fisiológicos como la regulación del crecimiento y el metabolismo de las plantas bajo las condiciones salinas, ayudando a mejorar la disponibilidad de agua y nutrimentos (Khan, Mazid y Mahammad, 2011). En algunas especies es común que los niveles de ácido ascórbico aumenten bajo el estrés salino, en chile ancho conductividades de 2.8 dS m^{-1} incrementó la concentración de ácido

ascórbico (Ramírez-Serrano, Larrinaga-Mayoral, Murillo-Amador, Hernández-Saavedra y Fujiyama, 2008). El papel protector que el AA cumple en las plantas es posible demostrarlo con aspersiones exógenas de este compuesto a plantas estresadas; dicho efecto protector parece estar relacionado con su actividad antioxidante más que con su posible utilidad como sustrato orgánico, el suministro adicional de AA podría disminuir la acumulación de ROS (Khan *et al.*, 2011).

2.3 Literatura citada

- Alscher, R.G., Ertuk, N., Heath, L.S. (2002). Role of superoxide dismutases (SODs) in controlling oxidative stress in plants. *Journal Experimental Botany*, 53, 1331-41.
- Amirjarni, M. (2011) Effect of Salinity Stress on Growth, Sugar Content, Pigments and Enzyme Activity of Rice. *Internacional Journal of Botany*, 7, 73-81.
- Araya, H., Clavijo, C., Herrera, C. (2006). Capacidad antioxidante de frutas y verduras cultivados en Chile. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 56 (4), 361-365.
- Ashraf, M., Foolad, M.R. (2007). Roles of glicine betaine and proline in improving plan abiotic stress resistance. *Enviromental and Experimental Botany*, 59, 206-216.
- Aslam R, Bostan N, Nabgha-e-Amen M, and Safdar W (2011) A critical review on halophytes: salt tolerant plants. *Journal of Medicinal Plants Research*, 5(33), 7108-7118.
- Blaylock, A.D. (1994). Soil salinity, salt tolerance and growth potential of horticultural and Landscape plants. Department of Plant, Soil and Insect Sciences, University of Wyoming, B988, 4 p.
- Chandler, C.K., Legard, D.E., Dunigan, D.D. (2000). 'Strawberry Festival' Strawberry. *Hortscience*, 35 (7), 1366-1367.
- Chaves, M. M., Flexas, J., Pinheiro, C. (2009) Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103, 551-560
- Clark, J., Finn, C. (2014) Blackberry cultivation in the world. *Rev. Brasileira de Fruticultura* 36, 46-57.
- Clark, J., Stafne, E.T., Hall, H.K., Finn, C. (2007). Blackberry breeding and genetics. *Plant Breed Reviews*, 29, 19-144.
- Darrow, G. M. (1966). Strawberry. U.S.A. Holt, Rinehart and Winston, 447 p.

- Dávalos, G., P.A., Aguilar G., R., Jofre, A.E., Hernández R., A.R., Vázquez S., M.N. (2011). Tecnología para sembrar viveros de fresa. D.F., México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 154 p.
- De Souza, V., Pimienta, P., Teodoro, T., Oliveira, L. , Pío, R., Queiroz, F. (2014) Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry, strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, 156, 362–368.
- Dorai, M., Papadopoulos, A., Gosselin, A.(2001). Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie, EDP Sciences*, 21 (4), 367-383.
- Downton, W., J. S., & Läuchli, A. (1984). Salt tolerance of food crops: Prospectives for improvements. *Critical Reviews in Plant Sciences*, 1(3), 183–201.
- Eryilmaz, F. (2006). The Relationships between Salt Stress and Anthocyanin Content in Higher Plants, *Biotechnology & Biotechnological Equipment*, 20, 1, 47-52
- Evangelou, V.P. y McDonald, L.M. (1999). Influence of Sodium on Soils of Humid Regions. In: Pessarakli, M. (ed.) *Handbook of Plant and crop stress*. 2nd edition (pp. 17-50). U.S.A.: Marcel Dekker, Inc.
- Fageria, N., Gheyi, H., Moreira, A. (2011) Nutrient bioavailability in salt affected soils. *Journal of Plant Nutrition*, 34, 945-962.
- FAO Land and Plant Nutrition Management Service (2019) <http://www.fao.org/land-water/en/>
- Galletta, G. J., Bringham, R.S. (1990). Strawberry Management. In: Galletta G.J., Himelrick, D.G., (eds.) *Small Fruit Crop Management* (pp. 83-153) Florida, USA: Prentice Hall.
- Garriga, M., Muñoz, C.A., Caligari, P., Retamales, J. B. (2015) Effect of salt stress on genotypes of commercial (*Fragaria x ananassa*) and Chilean strawberry (*F. chiloensis*). *Scientia Horticulturae*, 195, 37-47.
- Giampieri, F., Tulipani, S., Álvarez-Suárez, J.M., Quiles, J. (2012). The strawberry: Composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28,9-19.
- Goreta, S., Bučević-Popović, V., Pavela-Vrančić, M., Perica, S. (2007) Salinity-induced changes in growth, superoxide dismutase activity, and ion content of two olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 398-403.
- Goykovic, V., Saavedra, G. (2007) Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *IDESIA*, 25 (3): 47-58.

- Grattan, Steve & Hanson, B.R. (2006). *Agricultural Salinity and Drainage*. University of California , California, U.S.A., 164 p.
- Gündüz, K. (2016). Chapter 30 - Strawberry: Phytochemical composition of strawberry (*Fragaria x ananassa*). In: Simmonds M., S. J. & Preedy, V. R. (Eds.) *Nutritional composition of fruit cultivars* (pp. 733–752). San Diego, CA: Academic Press
- Hancock, J. F. (1999). *Strawberries*. New York, USA. :CABI Publishing. 237 p.
- Hancock, J.F., Sjulín J.M., Lobos, G. (2008). Strawberry. In: Hancock, J.F. (Ed). *Temperate Fruit Breeding: Germoplasm to genomics* (pp. 393-437) Dordrecht, The Netherlands: Kluwer Academic Publishers.
- Herrera-Flores, T., Ortiz-Cereceres, J., Delgado-Alvarado, A., Acosta-Galleros, A. (2012). Crecimiento y contenido de prolina y carbohidratos de plántulas de frijol sometidas a estrés por sequía. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3 (4), 713-724.
- Keutgen, A. J., Keutgen, N. (2003) Influence of NaCl salinity stress on fruit quality in strawberry. *Acta Horticulturae*, 609, 155-157.
- Keutgen, A., Pawelzik, E. (2007) Modifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. *Food Chemistry*, 105, 1487-1494.
- Khan, T. A., Mazid, M., Mohammad (2011). A review of ascorbic acid potentialities against oxidative stress induced in plants. *Journal of Agrobiology*, 28, 97-111.
- Khayyat, M., Tafazoli, E., Eshghi, S., Rahemi, M., Rajaei, S.(2007). Salinity, supplementary calcium and potassium effects on fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 2, 539-544.
- Lechno, S., Zamski, E., Tel-Or, E. (1997). Salt stress- induced responses in cucumber plants. *Journal of Plant Physiology*, 1, 206-211.
- Loescher, W., Chan, Z., Grumet, R. (2011). Options for developing salt-tolerance crops. *Hortscience*, 46, 1085-1092.
- Martínez-Bolaños M., Nieto, A.D., Téliz, O.D., Rodríguez A.J., Martínez D, M.T., Vaquera, H.H., Carrillo M.O. (2008) Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 2, 113-119.
- Menzel, C. & Smith, L. (2014).) The growth and productivity of ‘Festival’ strawberry plants growing in a subtropical environment, New Zealand *Journal of Crop and Horticultural Science*, 42, 60-75 DOI: 10.1080/01140671.2013.85043.
- Miller G, Suzuki N, Ciftci-Yilmaz S, Mittler R (2010) Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell and Environment*, 33, 453-467.

- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, 167, 645:663.
- Munns, R. (2009). Strategies for crop improvement in saline soils, p. 99–110. In: Ashraf, M., M. Ozturk, and H.R. Athar (eds.). *Salinity and water stress: Improving crop efficiency.* , New York, NY: Springer
- Munns, R., Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59,651-681.
- Neocleous, D., Vasilakakis, M. (2007). Effects of NaCl stress on red raspberry. *Scientia Horticulturae*, 112, 282–289.
- Neocleous, D., Vasilakakis, M. (2008). Ruit Quality of Red Rapberry as affected by Salinity. *European Journal of Horticultural Science*, 73, 131-137.
- Özlem, T., Stoner, G., (2011) Phytochemical bioactives in berries. In: Özlem, T. y Hall (Eds.) (pp. 143-170). *Fruit and Cereal Bioactives* . U.S.A.: CRS Press.
- Parida A., Das, A., (2005). Salt tolerance and salinity effects on plants: a review. *Ecotoxicology and Enviromental Safety*, 60, 324-349.
- Parida, A., Bandhu, A., Dam, P. (2002) NaCl stress causes changes in photosyntetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove *Bruguiera parviflora*, in Hydroponic Cultures. *Journal of Plant Biology*, 45(1), 28-36.
- Parida, A., Das, A. (2004) Effects of NaCl stress on nitrogen and phosphorous metabolism in a true mangrove *Bruguiera parviflora* grown under hydroponic culture.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environ Science Pollution Research*, 22, 4056-4075.
- Parveen, R., Karmoker, J. L., Sabanando, Ch., Bimal, Ch. S.(2004). The effect of salinity on ion accumulation and anatomical attributes in mungbean (*Phaseolus radiates* L. cv. Bari-3) seedlings. *Journal of Agriculture & Biology*, 6, 495-498.}
- Pessarakli, M. y Szabolcs, I. (1999). Soil Salinity and Sodicity as Particular Plant/Crop Stress Factors. In: Pessarakli, M. (ed.) *Handbook of Plant and crop stress*. (pp. 1-15). U.S.A.: Marcel Dekker, Inc.
- Ramírez-Serrano, R., Larrinaga-Mayoral, J., Murillo-Amador, B., Hernández-Saavedra, Y., Fujiyama, H. (2008). Respuesta antioxidante enzimática en frutos de chile ancho (*Capsicum annum* L.) bajo condiciones de estrés salino. *Interciencia*, 3 (5), 377-383. }
- Ríos-Gómez, R., Salas-García, C.E., Monroy-Ata, A., Solano E. (2010) Salinity effect on *Prosopislae vigata* seedlings. *Terra Lationamericana*, 28, 99-107.

- Rutz, J.K., Voss, G.B., Zambiasi, R.C. (2012). Influence of degree of maturation on the bioactive compounds in blackberry (*Rubus* spp.) cv Tupy. *Food and Nutrition Sciences*, 2, 1453-1460. <http://dx.doi.org/10.4236/fns.2012.310189>
- Saqib, M., Zörb, C., Schubert, S. (2006). Salt-resistant and salt-sensitive wheat genotypes show similar biochemical reaction at protein level in the first phase of salt stress. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169, 542-548.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2019) <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- Smiljana, G., Bucevic-Popovic, V., Pavela-Vrancic, M., Perica, S. (2007). Salinity-induced changes in growth, superoxide dismutase activity, and ion content of two olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 398-403.
- Strick, B., Clark, J., Finn, C., Bañados, P. (2007) Worldwide Blackberry Production. *Hort Technology: Comprehensive Crop Reports*, 17 (2), 204-213.
- Sudhir, P., Murthy, S. (2004). Effects of salt stress on basic processes of photosynthesis. *Photosynthetica*, 42, 481-486.
- Vega, R., R. (2008). Manejo de la producción de fresa en hidroponía e invernadero. In: Velázquez M., M. A.; Pimentel E., J. L. (eds.). *Agronomía de la Fresa Principios y Nuevas Tecnologías* (pp. 141-159) D.F., México. Instituto Politécnico Nacional.
- Yuan, G., Wang, X., Guo, R., Wang, Q. (2010). Effect of salt stress on phenolic compounds, glucosinolates, myrosinase and antioxidant activity in radish sprouts. *Food Chemistry*, 121, 1014-1019.
- Zhao, Y. (2007) *Berrie Fruit*. Boca Ratón, FL, USA: CRC Press. 430 p.
- Zia-Ul-Haq, M., Riaz, M., De Feo, V., Jaafar, H., Moga, M. (2014). *Rubus fruticosus* L.: Constituents, Biological Activities and Health Related Uses. *Molecules*, 19 (8), 10998–11029.

3 RESPUESTAS NUTRIMENTALES Y FISIOLÓGICAS DE FRESA (*Fragaria x ananassa* Duch.) A LA EXPOSICIÓN TEMPORAL A SOLUCIONES NUTRITIVAS CON ALTA CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

Sandra Luz González-Jiménez, Ana María Castillo-González, Ma. del Rosario García-Mateos, Luis Alonso Valdez-Aguilar, Carmen Ybarra-Moncada, Edilberto Avitia-García

3.1 Resumen

Por el elevado valor nutricional y nutracéutico del fruto, la fresa se ha convertido en un cultivo de importancia socioeconómica para México, donde la superficie cultivada cada día es mayor, lamentablemente enfrenta problemas de salinidad. Por tal motivo, los objetivos de este trabajo fueron conocer el efecto de salinidad moderada en la solución nutritiva y aplicada de forma temporal, en el crecimiento, concentración nutrimental, contenido de prolina, rendimiento y calidad de los frutos de fresa cv. Festival. Las plantas se establecieron (de agosto de 2016 a marzo de 2018), en contenedores de 1.8 L de capacidad con tezontle (2 a 3 mm) en un sistema hidropónico abierto con la solución de Steiner. Los tratamientos fueron: 2.0 (testigo), 2.3, 2.5 y 2.7 dS·m⁻¹ de CE, aplicados cada cuatro días, a partir de la etapa de floración y fructificación. El rendimiento y número de frutos por planta no se afectaron. La concentración de prolina en la raíz se incrementó en 56, 111 y 97% con las conductividades de 2.3, 2.5 y 2.7, respectivamente. La concentración foliar de N, Ca, Na y Cl no se afectó por la salinidad; con la CE de 2.7 el contenido de P disminuyó 55% y el de Mg 52%; en tanto que el K aumentó 88% y el S 117%. No se encontraron diferencias estadísticas en el peso, diámetro, firmeza e índice de redondez del fruto. El contenido de azúcares solubles totales disminuyó 18% y la relación sólidos solubles totales/acidez titulable 11% con 2.7 de CE. La concentración de fenoles, flavonoides, antocianinas, la actividad antioxidante y el porcentaje de inhibición disminuyó con la salinidad; sólo la vitamina C aumentó conforme la CE se elevó. Los aumentos de CE fueron pequeños y no afectaron el rendimiento; la salinidad sólo incremento el contenido de vitamina C en los frutos.

Palabras clave: nutrimentos, antioxidantes, vitamina C, calidad del fruto, prolina.

Abstract

Due to the high nutritional and nutraceutical value of the fruit, the strawberry has become a socioeconomically important crop for Mexico, where the cultivated surface every day is greater, unfortunately it faces salinity problems. The objectives of this work were to determine the effect of moderate salinity in the growth, nutrient status, proline concentration, yield and quality of strawberry fruits cv. Festival. Plants were transplanted into 1.8 L containers filled with volcanic rock (tezontle) (granulometry, 2 - 3 mm) in an open hydroponic system. Plants were irrigated with nutrient solutions with Steiner's formulation at varying electrical conductivities (EC): 2.0 (control), 2.3, 2.5 and 2.7 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$. The nutrient solutions were applied every four days, starting at the moment of flowering and fruit formation. The yield and number of fruits per plant were unaffected, however, compared to control plants, proline root concentration increased by 56%, 111% and 97% with the EC of 2.3, 2.5 and 2.7 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, respectively. Leaf concentration of N, Ca, Na and Cl was not affected by increasing salinity, however, P and Mg decreased by 55% and 52%, respectively, in plants irrigated with solutions of 2.7 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, while K increased by 88% and S by 117%. No statistical differences were detected in the weight, diameter, firmness and roundness index of the fruit. The total soluble sugars content decreased by 18% and the total soluble solids / titratable acidity ratio decreased by 11% in plants treated with solutions of 2.7 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$. The concentration of phenols, flavonoids, anthocyanins, antioxidant activity and the percentage of inhibition decreased with salinity; only vitamin C increased as the EC increased. We conclude that the EC assessed were not high enough to affect the performance of strawberry plants; salinity only increased the vitamin C content in the fruits.

Key words: nutrient status, antioxidants, vitamin C, fruit quality, proline.

Tesis de Doctorado en Ciencias en Horticultura
Instituto de Horticultura. Universidad Autónoma Chapingo
Autor: Sandra Luz González Jiménez
Director de Tesis: Dra. Ana María Castillo González

3.2 Introducción

La salinidad es uno de los mayores problemas que afecta a la agricultura mundial, los suelos agrícolas que comenzaron a incrementar sus rendimientos hasta en un 50 % durante el siglo XX, gracias a la adopción de la fertilización química, son ahora suelos con problemas de salinidad (Fageria, Gheyi y Moreira *et al.*, 2011); una combinación de procesos naturales y malas prácticas agrícolas son los causantes (Munns y Tester, 2008). La salinidad es causada por la interacciones de varias sales como la mezcla de sales de cloruro de sodio y sulfato de magnesio, en zonas costeras, o de bicarbonato de sodio, cloruro de sodio y sulfato de magnesio en suelos sódicos (Ríos-Gómez, Salas-García, Monroy-Ata y Solano, 2010); lo que conduce a altos valores de conductividad eléctrica en el suelo y tienen un efecto negativo en el crecimiento y rendimiento de la mayoría de las plantas cultivadas. La respuesta de las diferentes especies vegetales ante la salinidad varía considerablemente en función de su genética y tolerancia inherente; sin embargo, la generalidad de los cultivos hortofrutícolas se muestran como muy sensibles (Goreta, Bučević-Popović, Pavela-Vrančić y Perica, 2007). La salinidad afecta de dos formas principales a la planta: una por efecto del daño osmótico, que implica un desabastecimiento de agua al interior celular y en consecuencia reducción del crecimiento; y la otra por la toxicidad que el exceso y desbalance de iones genera en las hojas (Saqib, Zörb y Schubert, 2006). No obstante, esta reducción del crecimiento vegetativo puede tener algunas consecuencias benéficas en la calidad del fruto (Khayyat, Tefazoli, Eshghi, Rahemi y Rajaei, 2007; Keutgen y Keutgen, 2003) reportaron una reducción en la producción de frutos de fresa, pero mejor calidad de los frutos con moderado estrés salino, debido al incremento de azúcares reductores y ácidos ocasionado por la disminución del contenido de agua y alta concentración de antioxidantes.

A nivel nacional el cultivo de la fresa es importante desde el punto de vista socioeconómico, debido a que genera empleo y divisas por ser un producto de exportación para su consumo en fresco, congelado y procesado; los principales

estados productores son: Baja California, Baja California Sur, Jalisco, Estado de México, Michoacán, Morelos, Oaxaca y Sinaloa con una superficie sembrada y cosechada de 10,511 ha y con una producción de 517,674 t (INFOSIAP, 2018). Sin embargo, el cultivo es catalogado como sensible a la salinidad; cuando crece en condiciones de salinidad, en niveles que exceden su tolerancia, la planta disminuye su tasa de crecimiento, el número de hojas, el área foliar y la producción de frutos (Garriga, Muñoz, Caligari y Retamales, 2015; Neocleous y Vasilakakis, 2007).

Varios autores han evaluado el efecto del estrés salino en algunas especies como frijol mungo (*Phaseolus radiatus* L.) (Parveen, Karmoker, Sabanando y Bimal, 2004), olivo (*Olea europea* L.) Smiljana, Bucevic-Popovic, Pavela-Vrancic, Perica, (2007), trigo (*Triticum aestivum* L.) (Saqib *et al.*, 2006) y fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) (Garriga *et al.*, 2015), cuyas investigaciones se basaron principal y exclusivamente con dosis de cloruro de sodio como único causante de la salinidad; sin embargo, esta situación naturalmente en los suelos, es causada por la presencia de iones de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Na^+ , sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y en algunos casos K^+ y NO_3^- , dependiendo del tipo de suelo (Ríos-Gómez *et al.*, 2010; Parihar, Singh, Singh, Singh y Prasad, 2015).

A pesar de la importancia económica del cultivo de la fresa para México y del impacto en la salud humana que tiene el consumo de los frutos, poco se sabe acerca de la tolerancia a la salinidad y de su impacto en la calidad del fruto en los cultivares comerciales más importantes en el país. Es por ello que la presente investigación tuvo como objetivos: conocer el efecto de la salinidad moderada en la solución nutritiva, en el crecimiento, concentración nutrimental, contenido de prolina, rendimiento y calidad de los frutos de fresa cv. Festival.

3.3 Materiales y métodos

3.3.1 Material vegetal y ubicación del experimento

La investigación se realizó en un invernadero de cristal de la Universidad Autónoma Chapingo, ubicada entre los 19° 20' latitud norte y 98° 53' longitud oeste a 2,240 m de altitud; la temperatura y humedad relativa durante el ciclo del cultivo (de agosto de 2016 a marzo de 2018) se registró con un datalogger HOBO U12-012; la temperatura media en ese periodo varió de 18 a 23 °C y la humedad relativa de 46 a 63 %. Se utilizaron plántulas de fresa del cultivar Festival procedentes de Zamora, Michoacán, las que se establecieron en contenedores de 1.8 L de capacidad con tezontle de 2 a 3 mm de diámetro en un sistema hidropónico abierto.

3.3.2 Manejo del cultivo y diseño experimental

Para la elaboración de las soluciones nutritivas se utilizó agua destilada; también se consideró el balance de aniones y cationes de las relaciones iónicas de Steiner (1984). Los tratamientos de salinidad, expresados en términos de conductividad eléctrica (CE), fueron: 2.0 (testigo), 2.3, 2.5 y 2.7 dS·m⁻¹, la concentración de los iones que integraron a las soluciones nutritivas completas se presentan en el Cuadro 1; los micronutrientes se abastecieron con 0.035 g·L⁻¹ de la mezcla TradeCorp® AZ. A las tres semanas después del trasplante (SDT) las plantas se regaron diaria y manualmente con 200 mL de la solución nutritiva de CE de 2.0dS·m⁻¹ (testigo), a las 12 SDT el volumen fue de 300 mL y a partir de las 30 SDT fue de 500 mL, en todos los casos se tuvo un drenaje aproximado del 30 %. Los tratamientos se aplicaron cada cuatro días, a partir de las 40 SDT (floración y fructificación) hasta las 77 SDT (9 meses de aplicación de tratamientos), el resto de los días se regaba con la solución del testigo (CE de 2.0).

El diseño experimental fue completamente al azar con 4 tratamientos y 10 repeticiones cada uno; la unidad experimental fue una maceta con una planta.

Cuadro 1. Concentración de iones de las soluciones nutritivas salinas utilizadas en el cultivo de fresa cv. Festival en Chapingo, México.

C.E. (dS m ⁻¹)	mmol L ⁻¹										pH
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻²	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	
2.0	15.76	1.00	0.82	1.00	0.00	0.87	6.97	4.00	0.60	1.00	5.9
2.3	15.76	1.00	1.29	1.00	1.36	0.87	6.97	4.70	0.79	2.36	5.9
2.5	15.76	1.00	1.96	1.00	2.04	0.87	6.97	5.05	1.11	3.04	5.9
2.7	15.76	1.00	2.62	1.00	2.73	0.87	6.97	5.40	1.42	3.73	5.9

3.3.3 Parámetros evaluados

Rendimiento por planta: se cosechó y pesó el total de frutos por cada tratamiento y repetición.

Peso fresco y seco de planta: se seleccionaron al azar tres repeticiones por tratamiento, cada una se seccionó en hojas y corona con raíz, se registró el peso fresco y seco por separado con una balanza digital OHAUS® MODELO Scout Pro; para el secado se usó una estufa con aire forzado BINDER® a 65 °C por 72 h o hasta peso constante.

Análisis nutrimental: Se formó una muestra compuesta, integrada por dos plantas, las que se separaron en hojas y corona con raíz, con lo cual se obtuvieron tres repeticiones por tratamiento. Se determinó la concentración de N, P, K, Ca, Mg, S, Na y Cl. La determinación de N se realizó por el método de micro Kjeldahl y la de los demás elementos por espectrometría de emisión atómica de inducción con plasma acoplado ICP modelo 725-ES de Agilent®, en todos los casos se siguió la metodología descrita por Alcántar y Sandoval (1999).

Prolina: se determinó con el método de Bates (1973); de tres repeticiones por tratamiento, se pesaron 0.5 g de muestra fresca de ápices de raíz. Las lecturas se realizaron a 520 nm en un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La concentración de prolina se estimó a partir de una curva

patrón de 0 a 39 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ de prolina Sigma Aldrich®. Todo lo anterior se hizo por triplicado.

Durante el periodo de fructificación, se cosecharon todos los frutos de todas las repeticiones, cuando estos alcanzaron el color rojo brillante y se evaluaron las variables siguientes:

Peso fresco: se registró de en la totalidad de frutos por tratamiento, con una balanza digital OHAUS® MODELO Scout Pro.

Índice de redondez: en todo los frutos que se registró el peso, se midió la longitud y diámetro ecuatorial, con un vernier digital General® No. 143, con estos datos se calculó la relación longitud/diámetro con la que se obtuvo el índice de redondez, donde los valores menores a uno son considerados como ovalados, mayores a uno como alargados y valores de uno como redondos (Martínez-Bolaños *et al.*, 2008).

Firmeza del fruto: se evaluó en los mismos frutos utilizados para el índice de redondez, con un penetrómetro QaSupplies® modelo FT O2 con punta de 2.3 mm de grosor a la altura del diámetro ecuatorial. Los resultados se expresan en Newtons (N).

Sólidos solubles totales (SST): se registró con un refractómetro digital Atago® modelo PAL-1, en la totalidad de los frutos.

Acidez titulable (AT): se utilizó la técnica descrita por la AOAC (1980); el porcentaje de acidez se calculó con base en el ácido cítrico, que es el ácido que se encuentra en mayor cantidad en los frutos de fresa. Con los datos de SST y AT se calculó la relación SST/AT.

Azúcares solubles totales (AST): se determinó con el método de antrona descrito por Witham, Blaydes y Devlin (1971). Las lecturas se realizaron a 600 nm en un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La

concentración de azúcares se estimó a partir de una curva patrón que contenía hasta 250 µg de glucosa por mL.

Determinación de compuestos antioxidantes en frutos

Extracto metanólico: en un mortero de porcelana se trituraron 3 g de pulpa de fresa (obtenida de la mezcla de 10 frutos por tratamiento) con 30 mL de metanol acuoso al 80 % (v/v), la mezcla se homogeneizó con agitación en un vórtex, posteriormente, se colocó en sonicación por 15 min a temperatura ambiente, la mezcla se dejó reposar por 24 horas se centrifugó por 10 min a 1,400 x g. Con este extracto se cuantificaron los compuestos fenólicos (Chang, Yang, Wen y Chern, 2002).

Fenoles: se tomaron 250 µL del sobrenadante del extracto metanólico previamente preparado, se agregaron 250 µL del reactivo Folin-Ciocalteu 0.2 N y 2 mL de una solución 0.7 M de Na₂CO₃, la mezcla se incubó por 2 h a temperatura ambiente y en oscuridad. Se registró la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La concentración se calculó a partir de una curva patrón preparada con ácido gálico y se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco (mg EAG · 100 g⁻¹ p.f.) de acuerdo al método de Waterman y Mole (1994).

Flavonoides: se tomaron 500 µL del extracto metanólico obtenido previamente, se agregaron 1.5 mL de etanol al 95 %, 100 µL de solución AlCl₃ al 10 %, 100 µL de CH₃COOK 1 M y 2.8 mL de agua destilada; la mezcla se incubó por 30 min en temperatura ambiente. La absorbancia se leyó a 415 nm en un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La concentración se determinó con una curva patrón de flavonol quercetina (Chang *et al.*, 2002). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de quercetina por 100 g de peso fresco (mg EQ · 100 g⁻¹ p.f.).

Antocianinas: se prepararon dos tubos de ensayo (tubo 1 y tubo 2) con 200 µL del extracto metanólico, previamente obtenido; al tubo 1 se le adicionaron 1.8

mL de una solución amortiguadora (HCl/KCl) de pH=1, al tubo 2 se le agregaron 1.8 mL de una solución amortiguadora (CH₃COOH/CH₃COONa·3H₂O) de pH=4.5. Se leyó la absorbancia de ambas mezclas a 510 y 700 nm con un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La absorbancia total (A_t) se calculó de la siguiente manera:

$$A_t = [(A_{510} - A_{700})_{\text{pH} = 1.0}] - [(A_{510} - A_{700})_{\text{pH} = 4.5}]$$

La concentración de antocianinas (AN) se calculó de la siguiente manera:

AN= $A_t \times \text{PM} \times \text{FD} \times 1000 / (\epsilon \times 1)$. Donde: A_t es la absorbancia total; PM es el peso molecular (449.2 g·mol⁻¹) del estándar cianidina 3-glucósido; FD es el factor de dilución y ϵ es la absortividad molar del estándar (26,900). La concentración se expresó en mg de antocianinas por 100 g de peso fresco, según lo descrito por Giusti y Wrolstad (2001).

Contenido de vitamina C: se hizo con el método 967.21 de la AOAC (1995); se pesaron 0.5 g de muestra fresca, los que se maceraron con 5 mL de ácido metafosfórico al 1 %, se dejaron reposar por 45 minutos, posteriormente se filtró y aforó a 5 mL. Del extracto se tomó 1 mL y se diluyó en 9 mL de dicloroindofenol (12 mg L⁻¹). Se leyó la absorbancia a 515 nm con un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV, se utilizó agua desionizada como blanco.

Actividad antioxidante del fruto: se determinó con el método ABTS descrito por Re, *et al.* (1999). La determinación se hizo con una curva estándar con trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico). Los resultados se expresaron en μmol equivalente de trolox por g de peso fresco. Para calcular el porcentaje de inhibición del radical libre ABTS $\cdot^+$, se empleó la fórmula: % de inhibición = $[(A_i - A_f)/A_i] \times 100$; donde A_i es la absorbancia inicial del radical libre y A_f es la absorbancia final de la reacción con la muestra.

Análisis estadístico

Con los datos se realizó un análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa SAS versión 9 (SAS Institute, 2002).

3.4 Resultados y discusión

Respuesta de la planta y rendimiento

El peso fresco y seco total, el de las hojas y de la raíz disminuyó con las conductividades de 2.3 a 2.7 (Cuadro 2); esto es debido, al estrés hídrico que sufre la planta, causado por el exceso de sales disueltas en la solución externa, lo que limita la absorción de agua por las raíces, por lo que el peso fresco fue menor; lo que a su vez pudo tener efectos negativos en la síntesis de carbohidratos y originó menor peso seco (Munns y Tester, 2008; Parihar *et al.*, 2015).

Cuadro 2 .Efecto de la CE en la solución nutritiva en el peso fresco y seco de la raíz y parte aérea de fresa cv. Festival bajo condiciones de invernadero.

C.E. (dS m ⁻¹)	PFT	PST	PFH (g)	PSH	PFR	PSR
2.0	90.80±3.45a ^z	15.10±0.8 a	38.94±1.20a	7.61±0.29 a	51.86±2.30a	7.49±0.55a
2.3	62.44±2.42b	10.86±0.3 b	24.12±1.95b	4.81±0.31 b	38.32±1.50 b	6.05±0.16b
2.5	64.32±2.73b	11.07±0.6 b	24.46±1.90b	4.96±0.30 b	39.86±0.96b	6.10±0.32ab
2.7	55.78±4.25b	9.50±0.6 b	18.38±1.57b	3.80±0.40 b	37.40±2.70b	5.69±0.23b
CV	10.7	12.1	14.28	14.17	10.80	12.48
DMS	13.33	2.55	6.84	1.35	8.18	1.43

^zMedias ± error estándar. Letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación. PFT: peso fresco total; PST: peso seco total; PFH: peso fresco de hojas; PSH: peso seco de hojas; PFR: peso fresco de raíz; PSR: peso seco de raíz. DMS: diferencia mínima significativa.

El rendimiento y número de frutos por planta no se afectaron por el incremento en la CE (Cuadro 3); a pesar de que la salinidad es uno de los factores ambientales que afecta la producción de los cultivos, en este trabajo con el cv.

Festival, los incrementos en la CE fueron pequeños, además la salinidad se dio cada cuatro días a partir de la etapa de floración (40 SDT), por lo que no se registró una disminución en la producción.

Cuadro 2. Rendimiento, número de frutos y concentración de prolina en fresa cv. Festival cultivado bajo diferentes niveles de CE en la solución nutritiva.

C.E. dS m⁻¹	Rendimiento (g · planta⁻¹)	Número de frutos por planta	Prolina en raíz (mg · mL⁻¹)
2.0	91.15±10.54 a ^z	11.7±0.95 a ^z	7.90±0.49 c ^z
2.3	93.41±11.97 a	12.0±1.54 a	12.30±0.03 b
2.5	94.47±13.05 a	13.2±1.76 a	16.62±0.18 a
2.7	111.97±15.50 a	13.5±1.86 a	15.54±0.66 a
CV	41.73	39.77	9.17
DMH	49.13	6.03	1.53

^zMedias ± error estándar. Letras distintas son diferentes estadísticamente (Tukey, P≤0.05). CV: coeficiente de variación.

La concentración de prolina en la raíz se incrementó en 56 %, 111 % y 97 % con las conductividades de 2.3, 2.5 y 2.7dS · m⁻¹, respectivamente (Cuadro 3). Resultados similares se observaron en el cv. Camarosa y los genotipos chilenos Bau y Cucao (Garriga *et al.*, 2015) y en los cultivares Camarosa y Chandler (Turhan y Eris, 2009) en respuesta a la salinidad. La acumulación de prolina en las hojas y en la raíz, normalmente ocurre bajo situaciones de estrés salino debido a que esta molécula es un osmoprotector que contribuye al ajuste osmótico del citoplasma celular. En esta situación, la prolina como un osmorregulador, ayuda a estabilizar las estructuras subcelulares como membranas y proteínas y amortigua el potencial redox (Parihar *et al.*, 2015).

La concentración foliar de N, Ca, Na y Cl no fué afectada por el aumento de la CE, pero la de P disminuyó 55 %, en tanto que la de K se incrementó 88 % con la CE de 2.7 con respecto al control; el Mg sólo disminuyó con la más alta CE; mientras que el S aumentó con la más alta conductividad (2.7), pero sin diferencia significativa con las conductividades de 2.3 y 2.5. En la raíz sólo la concentración de S se afectó por las altas conductividades, el más alto valor se

registró con la CE de 2.5; el contenido de los demás elementos no se afectó por las diferentes conductividades (Cuadro 4).

La presencia de cantidades excesivas de sales solubles en el medio compite con la absorción y metabolismo de los elementos esenciales para la planta. Se ha reportado que el incremento en la absorción de Na, Cl o sulfatos disminuye la absorción de P, K, N y Ca (Parihar *et al.*, 2015). En este trabajo con el cv. Festival, si se observó una disminución en la concentración de P por la mayor absorción de S (sulfatos) en las soluciones salinas. Sin embargo, en otro trabajo con los cultivares de fresa Korona y Elsanta cultivadas con 0, 40 y 80 mmol en la solución nutritiva, se registró mayor absorción de P en los tratamientos con salinidad (Keutgen y Pawelsik, 2009).

La concentración de K y Ca no disminuyó, probablemente debido a que la concentración de Na en la solución nutritiva no fue muy alta; incluso la concentración foliar de K fue mayor con la más alta CE; esto coincide con lo encontrado en los cvs. Korona y Elsanta cultivados en las condiciones de salinidad de 40 y 80 mmol·L⁻¹ de NaCl, lo que sugiere una absorción eficiente de K en las plantas de fresa. En contraste, en olivo cvs. Leccino y Oblica, la concentración de K si disminuyó conforme la salinidad aumento de 66 a 166 mM de NaCl (Goreta *et al.*, 2007). En esta investigación con 'Festival' no se observó efecto significativo de la salinidad sobre la concentración foliar de Ca, mientras que la de Mg disminuyo. Así mismo, la absorción de Cl no afectó la absorción del N (Cuadro 4), debido a que la salinidad no se aplicó de forma continua. El Na⁺ y el Cl⁻ no afectaron la concentración de N, Ca, K, lo que no coincide con lo indicado por Parihar *et al.* (2015), debido a que la salinidad no fue dada exclusivamente por NaCl, como en la mayoría de trabajos al respecto, sino que también fue dada con sulfatos de Mg y de Ca, por lo que no se tuvo una intensa absorción de estos dos iones conforme aumentó la salinidad, que provocara la disminución en la planta de otros elementos esenciales.

Cuadro 3. Concentración nutrimental (%) en hojas y raíces de fresa cv. Festival cultivado bajo diferentes niveles de conductividad eléctrica en la solución nutritiva en condiciones de invernadero.

C.E. (dS m ⁻¹)	N	P	K	Ca	Mg	S	Na	Cl
HOJA								
2.0	2.84±0.00 a ^z	0.40±0.04 a	1.11±0.09 b	1.12±0.04 a	0.46±0.00 a	0.12±0.00 b	0.23±0.01 a	0.021±0.00a
2.3	2.80±0.02 a	0.44±0.02 a	0.95±0.02 b	1.37±0.14 a	0.49±0.00 a	0.23±0.03 ab	0.24± 0.02 ^a	0.039±0.00a
2.5	2.56±0.28 a	0.38±0.03 a	1.03±0.06 b	1.19±0.20 a	0.37±0.03 a	0.21±0.00 ab	0.33±0.01 a	0.035±0.00a
2.7	3.29±0.10 a	0.18±0.00 b	2.09±0.31 a	0.72±0.01 a	0.22±0.02 b	0.26±0.00 a	0.31±0.02 a	0.037±0.00a
CV	9.04	13.42	18.38	16.52	8.80	12.74	13.05	15.74
DMS	1.05	0.19	0.97	0.73	0.13	0.10	0.14	0.02
RAIZ								
2.0	2.29±0.22 a ^z	0.26±0.00 a	0.54±0.11 a	1.97±0.27 a	0.51±0.00 a	0.22±0.00 b	0.39±0.04 a	0.042±0.00 a
2.3	1.96±0.16 a	0.30±0.03 a	0.44±0.04 a	2.49±0.00 a	0.41±0.04 a	0.24±0.01 ab	0.36±0.04 a	0.045±0.00 a
2.5	1.85±0.20 a	0.36±0.00 a	0.46±0.12 a	2.53±0.02 a	0.69±0.21 a	0.28±0.00 a	0.48±0.00 a	0.051±0.00 a
2.7	2.18±0.15 a	0.34±0.03 a	0.51±0.00 a	2.33±0.17 a	0.41±0.00 a	0.26±0.00 ab	0.37±0.04 a	0.039±0.00 a
CV	13.26	11.97	26.29	12.53	31.96	4.37	15.45	15.34
DMS	1.11	0.15	0.52	1.18	0.65	0.04	0.25	0.02

^zMedias ± error estándar. Letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$). CV: coeficiente de variación.

Calidad del fruto

En fruto no hubo efecto de la CE en el peso fresco, diámetro, firmeza e índice de redondez; sin embargo, la longitud del fruto fue 6.6 % mayor con respecto al testigo con las conductividades de 2.3 y 2.7, pero sin diferencia con la de 2.5 (Cuadro 5).

El contenido de azúcares solubles totales disminuyó 18 % con la máxima CE (2.7) en comparación con el testigo y la relación SST/AT fue afectada sólo cuando las plantas se trataron con las soluciones de CE más alta (Cuadro 6). El valor óptimo de SST para frutos rojos está entre 6 y 9 % (Hancock, 1999), valores que se alcanzaron en esta investigación con todas las conductividades. El porcentaje de acidez titulable (0.8 %) fue el adecuado en todos los niveles de salinidad, ya que Dale y Luby (1991), indican como intervalo óptimo de 0.42 a 1.24 %.

Cuadro 5. Efecto de la CE de la solución nutritiva en las características físicas de los frutos de fresa cv. Festival bajo condiciones de invernadero.

C.E. dS m ⁻¹	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Índice de redondez	Firmeza (N)
2.0	8.01±0.30 a ^z	29.70±0.55 b	25.03±0.32 a	1.23±0.05 a	2.28±0.06 a
2.3	8.51±0.34 a	31.65±0.60 a	24.99±0.32 a	1.26±0.01 a	2.30±0.06 a
2.5	7.74±0.26 a	30.31±0.53 ab	24.44±0.25 a	1.24±0.01 a	2.25±0.07 a
2.7	8.51±0.27 a	31.67±0.47 a	25.10±0.26 a	1.27±0.01 a	2.30±0.07 a
CV	34.96	17.02	11.28	24.02	29.67
DMS	20.53	1.90	1.01	0.09	1.12

^zMedias ± error estándar. Letras distintas son diferentes estadísticamente (Tukey, P≤0.05). CV: coeficiente de variación. DMS: Diferencia mínima significativa.

La relación SST/AT adecuada es de 8.5 a 14 (Keutgen y Pawelzik, 2007), por lo que los frutos de 'Festival' presentaron una relación adecuada con valores de 9 a 10 en todos los tratamientos (Cuadro 6).

El contenido de azúcares solubles totales también se encontró en el intervalo adecuado (de 5.6 a 7 g·100 g de peso fresco) según (Dale y Luby, 1991), quienes establecen los valores de 4.1 a 6.6 % como los mejores para fresa.

Cuadro 5. Efecto de la CE de la solución nutritiva en las características químicas de los frutos de fresa cv. Festival bajo condiciones de invernadero.

C.E. dS m⁻¹	AST (g 100 g.p.f.⁻¹)	SST (%)	AT (%)	Relación SST/AT
2.0 (Testigo)	6.84±0.30 a ^z	8.5±0.18 a	0.824±0.01 a	10.52±0.25 a
2.3	6.80±0.27 a	8.46±0.20 a	0.824±0.01 a	10.41±0.29 a
2.5	7.17±0.32 a	8.35±0.16 a	0.827±0.02 a	10.16±0.26 ab
2.7	5.60±0.23 b	7.96±0.17 a	0.882±0.02 a	9.32±0.34 b
CV	14.55	19.8	14.60	20.10
DMS	1.04	0.59	0.06	1.05

^zMedias ± error estándar. Letras distintas son diferentes estadísticamente (Tukey, P≤0.05). CV: coeficiente de variación. AST: azúcares solubles totales; SST: sólidos solubles totales; AT: acidez titulable. DMS: diferencia mínima significativa.

Los resultados encontrados coinciden con los observados en el cv. comercial Camarosa (sensible a salinidad) y los ecotipos chilenos Bau y Cucao (menos sensibles) cultivados con 0, 30 y 60 mM NaCl en la solución nutritiva, en los cuales no se afectó el peso, tamaño, firmeza y SST de los frutos solo la AT se incrementó en los ecotipos chilenos, aunque en este caso la salinidad se aplicó de forma continua.

La concentración de fenoles, flavonoides y antocianinas disminuyó cuando las plantas recibieron soluciones nutritivas con CE desde 2.3 dS · m⁻¹; en contraste, la concentración de vitamina C aumentó conforme se elevó la CE. La actividad antioxidante disminuyó con el incremento de la CE (Cuadro 7).

Estos resultados no coinciden con lo reportado para otros cultivos como jitomate en el cual el número total de frutos comerciales no fueron afectados por CE de 2.2, 3.5 y 4.5 dS·m⁻¹; sin embargo, el contenido de licopeno, ácido ascórbico, fenoles totales y actividad antioxidante se incrementaron significativamente (Moya, Oyanedel y Verdugo, 2017)

Cuadro 5. Efecto de la CE de la solución nutritiva en la concentración de compuestos antioxidantes y actividad antioxidante (ABTS) en frutos de fresa cv. Festival bajo condiciones de invernadero.

C.E. (dS m ⁻¹)	Fenoles (mg EAG 100 g ⁻¹ p.f.)	Flavonoides (mg EQ 100 g ⁻¹ p.f.)	Antocianinas (mg 100 g ⁻¹ p.f.)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹ p.f.)	Actividad antioxidante (μmol trólox g ⁻¹ p.f.)	Inhibición (%)
2.0	273.183±4.11a ^z	10.58±0.11 a	43.66±0.20 ^a	24.20±0.21d	12.10±0.43a	67.43±0.86ab
2.3	124.545±0.98b	9.16±0.15 b	29.97±0.48b	26.76±0.39c	12.57±0.24a	68.18±1.13a
2.5	119.093±2.75b	8.33±0.24 c	18.36±0.21c	30.97±0.36b	11.57±0.07a	63.62±0.33b
2.7	99.773±1.90c	5.49±0.12d	17.19±0.12c	32.37±0.29a	9.18±0.31b	52.71±1.43c
CV	5.62	3.86	2.10	2.23	5.25	3.25
DMS	18.21	0.68	1.20	1.34	1.25	4.23

^zMedias ± error estándar. Letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, P≤0.05). CV: coeficiente de variación. DMS: Diferencia mínima significativa.

En los frutos de fresa cv. Camarosa y el ecotipo chileno Bau, la concentración de antocianinas tendió a disminuir con el incremento de la salinidad dada por NaCl a 0, 30 y 60 mM (Garriga *et al.*, 2015) como sucedió también en los frutos de 'Festival' evaluados en esta investigación. Sin embargo, en los cultivares Elsanta (sensible) y Korona (menos sensible) tratados con 40 y 80 mmol L⁻¹ de NaCl en la solución nutritiva, se observó incrementó en la capacidad antioxidante conforme aumentó la salinidad; el contenido de fenoles y antocianinas se incrementó, mientras que la concentración de ácido ascórbico y de antocianinas disminuyó, en tanto que el contenido de fenoles fue similar entre tratamientos (Keutgen y Pawelzik, 2007).

En este caso en los frutos del cv. Festival, al parecer no fue necesaria la síntesis de compuestos antioxidantes, con excepción de la vitamina C; ya que la acumulación de prolina y tal vez la mayor absorción de K, permitió un efecto osmoprotector para incrementar el potencial osmótico de las células con las mayores conductividades eléctricas; así mismo, la mayor concentración de vitamina C en el fruto, como una respuesta al estrés causado por la salinidad, disminuyó el efecto del estrés oxidativo, causado por la acumulación de especies reactivas de oxígeno (ROS) que se presenta bajo condiciones de salinidad (Zhu, 2001; Munns y Tester, 2008).

3.5 Conclusiones

La fresa cv. Festival puede crecer bajo condiciones temporales de alta CE aplicadas durante la etapa de floración y fructificación, con ligera disminución de la acumulación del peso fresco y seco de la planta, pero sin afectación en su estado nutrimental y rendimiento; la respuesta de la planta al estrés (evaluada en esta investigación), fue la acumulación de prolina en la raíz. La salinidad no afectó los índices de calidad del fruto; pero disminuyó la concentración de antioxidantes, con excepción de la vitamina C, la cual se incrementó conforme aumentó la CE.

3.6 Literatura citada

- Alcántar, G. G., Sandoval, M. (1999) Manual de Análisis Químico de Tejido Vegetal. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, México. 156 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1980) Official Methods of Analysis. 12^a ed. Washington, D.C. USA. 1018 p.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1995) Official Methods of Analysis 16th ed. Washington, D.C. 2490 p.
- Bates, L. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and soil*, 39, 205-207.
- Chang, C. C., Yang, M. H., Wen, H. M., Chern, J. C. (2002) Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10, 178- 182.
- Dale, A., Luby, J. J. (1991). The Strawberry Into the 21st Century. Proceedings of the Third North American Strawberry Conference. Portland, Oregon, U.S.A.: Timber Press. 152 p.
- Fageria, N., Gheyi, H., Moreira, A. (2011) Nutrient bioavailability in salt affected soils. *Journal of Plant Nutrition*, 34, 945-962.
- Garriga, M., Muñoz, C.A., Caligari, P.D.S., Retamales, J. B. (2015) Effect of salt stress on genotypes of commercial (*Fragaria x ananassa*) and Chilean strawberry (*F. chiloensis*). *Scientia Horticulturae*, 195, 37-47.
- Giusti, M. M., Wrolstad, R.E. (2001). Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00 (1), F1.2.1–F1.2.13.
- Goreta, S., Bučević-Popović, V., Pavela-Vrančić, M., Perica, S. (2007) Salinity-induced changes in growth, superoxide dismutase activity, and ion

content of two olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 398-403.

- Hancock, J. F. (1999). Strawberries. New York, USA.: CABI Publishing 237 p.
- INFOSIAP (Información Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2019) http://infosiap.siap.gob.mx:8080/agricola_siap_gobmx/AvanceNacionalCultivo.do 11/02/2019
- Keutgen, A. J. , Keutgen, N. (2003) Influence of NaCl salinity stress on fruit quality in strawberry. *Acta Horticulturae*, 609, 155-157.
- Keutgen, A., Pawelzik, E. (2007) Modifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. *Food Chemistry*, 105, 1487-1494.
- Keutgen, A. J., Pawelzik, E. (2009) Impacts of NaCl stress on plant growth and mineral nutrient assimilation in two cultivars of strawberry. *Environmental and Experimental Botany*, 65, 170-176.
- Khayyat, M., Tafazoli, E., Eshghi, S., Rahemi, M., Rajaei, S. (2007). Salinity, supplementary calcium and potassium effects on fruit yield and quality of strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.). *American-Eurasian Journal of Agricultural & Environmental Sciences*, 2, 539-544.
- Martínez-Bolaños, M., Nieto, A.D., Téliz, O.D., Rodríguez, A. J., Martínez D, M. T., Vaquera, H.H., Carrillo, M. O. (2008) Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 2, 113-119.
- Moya, C., Oyanedel, E., Verdugo, G. (2017) Increased electrical conductivity in nutrient solution management enhances dietary and organoleptic qualities in soilless culture tomato. *HortScience*, 52, 868-872.
- Munns, R., Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- Parveen, R., Karmoker, J. L., Sabanando, Ch., Bimal, Ch. S.(2004). The effect of salinity on ion accumulation and anatomical attributes in mungbean (*Phaseolus radiates* L. cv. Bari-3) seedlings. *Journal of Agriculture & Biology*, 6, 495-498.
- Parihar, P., Singh, S., Singh, R., Singh, V.P., Prasad, S. M. (2015). Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environ Science Pollution Research*, 22, 4056-4075.
- Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231-1237.
- Ríos-Gómez, R., Salas-García, C.E., Monroy-Ata, A., Solano, E. (2010) Salinity effect on *Prosopis laevigata* seedlings. *Terra Lationamericana*, 28, 99-107.

- Saqib, M., Zörb, C., Schubert, S. (2006). Salt-resistant and salt-sensitive wheat genotypes show similar biochemical reaction at protein level in the first phase of salt stress. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 169, 542-548.
- SAS Institute (2002) SAS/STAT. User's Guide. Release 9.0. SAS Institute Inc. Cary, North Carolina. USA. 4424 p.
- Smiljana, G., Bucevic-Popovic, V., Pavela-Vrancic, M., Perica, S. (2007). Salinity-induce changes in growth, superoxide dismutase activity, and ion content of two olive cultivars. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 170, 398-403.
- Steiner, A. A. (1984) The universal nutrient solution. In: proceedings 6th international congress on soilless culture. Lunteren, The Netherlands. 633-649 pp.
- Turhan, E, Eris, A. (2009) Changes of growth, amino acids, and ionic composition in strawberry plants under salt stress conditions. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 40, 3280-3294.
- Waterman, P., Mole, G. S. (1994). Analysis of Phenolic Plant Metabolites. Oxford, U.K.: Blackwell Scientific Publications. 238 p.
- Witham, F. H., Blaydes ,D.F.,Devlin, R.(1971).Experiments in plant physiology. New York, USA: Van Nostrand Reinhold Company. 245 p.
- Zhu, J. K. (2001). Plant salt tolerance. *Trends in Plant Science*, 6, 66-71.

4 RESPUESTA DE ZARZAMORA CV. TUPY A LA SALINIDAD

Sandra Luz González-Jiménez, Ana María Castillo-González, Ma. del Rosario García-Mateos, Luis Alonso Valdez-Aguilar, Carmen Ybarra-Moncada, Edilberto Avitia-García

4.1 Resumen

Después de la fresa, la zarzamora se ha colocado, como la segunda frutilla más producida en México, de 2003 a 2017 la producción se ha multiplicado diez veces (27,644 a 270,399 t), en parte debido a que los frutos tienen un alto valor nutricional. Sin embargo, se desconoce el efecto de la salinidad en el cultivo. Por ello, el objetivo del presente trabajo fue conocer el efecto de la salinidad en el crecimiento, contenido de prolina, rendimiento y calidad de los frutos de zarzamora cv. Tupy. Se establecieron plantas en contenedores de 19 L con tezontle (2 a 3 mm) y se regaron con la solución nutritiva de Steiner mediante un sistema hidropónico abierto (de noviembre de 2016 a junio de 2018). Los tratamientos fueron soluciones nutritivas salinas con conductividades eléctricas (CE) de 2.0 (testigo), 2.2, 2.4, 2.6, 2.8 y 3.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, aplicadas diariamente desde las 45 semanas después del trasplante. El rendimiento, número de frutos, peso seco, pigmentos fotosintéticos, diámetro de caña principal y azúcares solubles en la raíz disminuyeron. La concentración de prolina en la raíz se incrementó 77 %, 56 % y 120% con CE de 2.6, 2.8 y 3.0, respectivamente. En el fruto, el peso, longitud, ancho e índice de redondez disminuyeron con CE de 2.6, 2.8 y 3.0; la firmeza se incrementó hasta en 10 % con 2.8 de CE. Los azúcares solubles totales disminuyeron y se incrementaron los porcentajes de sólidos solubles totales y acidez titulable. El contenido de fenoles totales disminuyó 19 % y 33% con 2.8 y 3.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, respectivamente; el de flavonoides disminuyó hasta 29.5 % con la más alta CE. Contrariamente las antocianinas duplicaron su concentración con CE de 2.2 a 2.8, la vitamina C aumentó 10% y la capacidad antioxidante 21 % con la CE de 3.0.

Palabras clave: *Rubus* spp., vitamina C, antocianinas, capacidad antioxidante, calidad del fruto, prolina.

Abstract

After the strawberry the blackberry has been placed as the second small fruits most produced in Mexico, from 2003 to 2017 production has increased 10 times, from 27,644 t to 270,399 t), in part because the fruits have a high nutritional value. However, the effect of salinity on the crop is unknown. Therefore, the objective of this work was to know the effect of salinity on growth, proline content, yield and quality of blackberry fruits cv. Tupy. Plants were established in 19 L containers filled with volcanic rock (tezontle) (granulometry, 2 - 3 mm) in an open hydroponic system (from November 2016 to June 2018). Plants were

irrigates with nutrient solutions with Steiner's formulation at varying electrical conductivities (EC): 2.0 (control), 2.2, 2.4, 2.6, 2.8 and 3.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, applied daily from 45 weeks after transplanting. The yield, the number of fruits per plant, dry weight, photosynthetic pigments, the diameter of main cane and total soluble sugars content in root decreased. The proline root concentration increased by 77 %, 56 % and 120% with EC of 2.6, 2.8 and 3.0, respectively. In the fruit, the weight, length, width, and roundness index decreased with CE of 2.6, 2.8, and 3.0; the firmness increased by 10% with CE of 2.8. The total soluble sugars content decreased; the total soluble solids and titratable acidity increased. The total phenols content decreased by 19 % and 33 % with 2.8 and 3.0 $\text{dS} \cdot \text{m}^{-1}$, respectively; the flavonoids content decreased by 29.5 % with the highest CE. The anthocyanin doubled their concentration with CE from 2.2 to 2.8; the vitamin C content increased by 10% and the antioxidant capacity by 21 % with CE of 3.0.

Key words: *Rubus* spp., vitamin C, anthocyanins, antioxidant capacity, fruit quality, proline.

4.1 Introducción

El estrés salino causa enormes pérdidas en la agricultura a nivel mundial, más del 6 % de la superficie terrestre se ve afectada por esta situación, ya sea por efecto de la salinidad (suelos con alta concentración de sales solubles) o sodicidad (suelos que tienen baja concentración de sales solubles pero alto porcentaje de Na^+ intercambiable) (Munns, 2005). La salinidad es causada por la interacciones de varias sales como la mezcla de sales compuestas por cloruro de sodio y sulfato de magnesio (en zonas costeras), o de bicarbonato de sodio, cloruro de sodio y sulfato de magnesio (en suelos sódicos) (Ríos-Gómez, Salas-García, Monroy-Ata y Solano, 2010), provocando así altas conductividades eléctricas. Los efectos perjudiciales de la salinidad en las plantas se engloban en el crecimiento y limitación de su productividad, afectando todos sus procesos tales como la germinación, fotosíntesis, adquisición de agua, desequilibrio nutrimental, estrés oxidativo y rendimiento (Parihar, Singh, Singh, Singh y Prasad, 2015).

Las zarzamoras y otras especies del género *Rubus* presentan una alta expansión de producción debido a la combinación de factores como la creación de cultivares mejorados, mercado en ascenso y un aumento en el consumo mundial de frutillas, especialmente como fruta fresca (Clark y Finn, 2014). Después de la fresa, la zarzamora se ha colocado a través de los años como la segunda frutilla más producida en México (FIRA, 2016) y en un periodo que abarca desde 2003 hasta 2017, la producción de zarzamora se ha multiplicado diez veces de 27,644 t a 270,399 t. El estado con mayor producción de zarzamora en México es Michoacán, seguido de Jalisco; los cultivares predominantes son Brazos y Tupy, los cuales se consideran tipos semierectos (Strick, Clark, Finn y Bañados, 2007). Los frutos cuentan con propiedades antioxidantes debido a cantidades altas de compuestos fenólicos, principalmente antocianinas (Zhao, 2007). La zarzamora, al igual que otras frutillas, ha sido considerada como sensible a altas conductividades eléctricas (a 25 °C, la conductividad de 2.5 dS m^{-1} puede reducir el rendimiento de 10 a 25

%) (Amacher, Koenig y Kitchen, 2000). Algunos autores han evaluado el efecto del estrés salino en otras especies de frutillas como fresa (Garriga, Muñoz, Caligari y Retamales, 2015; Keutgen y Pawelzik, 2007; Kaya, Kirnak, Higgs y Saltali *et al.*, 2002) y frambuesa (Neocleous y Vasilakakis, 2007; Neocleous y Vasilakakis, 2008), cuyas investigaciones se basaron principal y exclusivamente en altas dosis de NaCl como causante de la salinidad; sin embargo, la naturaleza del suelo salino puede ser provocada por la presencia e interacción de otros iones como Ca^{2+} , Mg^{2+} , Cl^- , Na^+ , sulfato (SO_4^{2-}), bicarbonato (HCO_3^-) y en algunos casos K^+ y NO_3^- (Ríos-Gómez *et al.*, 2010; Parihar *et al.*, 2015).

La creciente derrama económica proveniente de la producción de zarzamora en México y el mundo, sus beneficios a la salud, y el interés en la proyección de nuevos sitios de cultivo no habituales (como zonas tropicales y/o áridas) de esta especie, son razones suficientes para indagar en las relaciones existentes entre el entorno salino y sus efectos en la planta y frutos; por lo que la presente investigación tuvo como objetivos conocer el efecto de la salinidad en plantas de zarzamora cv. Tupy en parámetros como crecimiento, concentración de pigmentos fotosintéticos, contenido de prolina, rendimiento y calidad de fruto.

4.2 Materiales y métodos

4.3.1 Material vegetal y ubicación del experimento

La investigación se realizó en un invernadero de cristal de la Universidad Autónoma Chapingo, Estado de México (19° 20' latitud norte y 98° 53' longitud oeste a 2,240 m de altitud), durante el periodo de investigación (de noviembre de 2016 a junio de 2018) se registró la temperatura y la humedad relativa con un data logger HOBO U12-012; la temperatura media durante todo el experimento fue de 22.7 °C, con una máxima de 42 °C y una mínima de 8.2 °C; la humedad relativa promedio fue de 52.14 %. Se utilizaron plántulas de zarzamora cultivar Tupy procedentes de Zamora, Michoacán, las cuales fueron establecidas en contenedores de 19 L con tezontle de 2-3 mm como sustrato, en un sistema hidropónico abierto.

4.3.2 Manejo del cultivo y diseño experimental

Las soluciones nutritivas tuvieron como base el balance de aniones y cationes de la solución universal de Steiner (1984). Los tratamientos consistieron en diferentes niveles de salinidad expresados en términos de conductividad eléctrica (CE): 2.0 (testigo), 2.2, 2.4, 2.6, 2.8 y 3.0 dS m⁻¹. En el Cuadro 8 se presenta la composición de las soluciones; los micronutrientes se abastecieron con 0.035 g·L⁻¹ de la mezcla TradeCorp® AZ. A las 5 semanas después del trasplante (SDT) las plantas se regaron diaria y manualmente con 1800 mL de la solución nutritiva de CE de 2.0 dS·m⁻¹ (testigo), a las 20 SDT el volumen fue de 2500 mL y a partir de las 40 SDT fue de 3000 mL; en todos los casos se mantuvo un drenaje del 25 al 30 %. Los tratamientos se aplicaron diariamente a partir de las 45 SDT hasta las 77 SDT (8 meses). El diseño experimental fue completamente al azar con 6 tratamientos y 10 repeticiones por tratamiento, la unidad experimental consistió en un contenedor con una planta.

Concentración de iones de las soluciones nutritivas salinas con diferentes CE utilizadas en el cultivo de zarzamora cv. Tupy en Chapingo, México.

C.E. (dS·m ⁻¹)	mmol L ⁻¹										
	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ⁻²	HCO ₃ ⁻	Cl ⁻	NH ₄ ⁺	K ⁺	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	Ph
2.0 (testigo)	15.36	1.78	0.48	2.22	0.56	0.87	7.40	4.34	1.01	0.90	6.0
2.2	15.36	1.78	1.40	2.22	0.85	0.87	7.40	4.78	1.49	1.19	6.0
2.4	15.36	1.78	2.06	2.22	1.48	0.87	7.40	5.24	1.69	1.82	6.0
2.6	15.36	1.78	2.66	2.22	2.14	0.87	7.40	5.64	1.89	2.48	6.0
2.8	15.36	1.78	3.30	2.22	2.76	0.87	7.40	6.09	2.08	3.10	6.2
3.0	15.36	1.78	3.96	2.22	3.38	0.87	7.40	6.52	2.28	3.72	6.2

4.3.3 Parámetros evaluados

Peso seco de planta: se seleccionaron al azar cinco repeticiones por tratamiento, cada planta se seccionó en parte aérea y raíz, se registró el peso seco con una balanza digital OHAUS® MODELO Scout Pro, para secar el material se usó una estufa con aire forzado BINDER® a 65 °C por 72 h o hasta peso constante.

Rendimiento por planta: se cosechó y pesó el total de frutos por repetición con una balanza digital OHAUS® MODELO Scout Pro.

Número de frutos por planta: se cuantificaron todos los frutos maduros completos (con todas las drupeolas formadas y que alcanzaron el color negro brillante).

Contenido de prolina: se determinó con el método de Bates (1973); de cinco repeticiones por tratamiento, para lo cual se tomaron 0.5 g de muestra fresca de ápices de raíz. Las lecturas se realizaron a 520 nm en un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La concentración de prolina se estimó a partir de una curva patrón de 0 a 39 $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ de prolina SigmaAldrich®. Todo lo anterior se hizo por triplicado.

Contenido de pigmentos fotosintéticos (PF): Se determinaron los contenidos de clorofila a (CLA), clorofila b (CLB) y carotenoides (CCAR) como lo sugieren la AOAC (1980) y la técnica descrita por Witham, Blaydes y Devlin (1971).

Longitud y diámetro de la caña principal: al final del ciclo se midió la longitud con un flexómetro marca Truper® modelo Gripper-5m desde la base hasta la punta de la caña principal, el diámetro se evaluó en la base de la misma caña con un vernier digital General® No. 143.

Azúcares solubles totales (AST): se determinó con el método de antrona descrito por Witham *et al.* (1971), en raíz y 30 hojas de reciente maduración por tratamiento. Las lecturas se realizaron a 600 nm en un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La concentración de azúcares se estimó a partir de una curva patrón que contenía hasta 250 μg de glucosa por

mL. Durante el periodo de fructificación se cosecharon los frutos de todas las repeticiones de cada tratamiento, con excepción de aquellos cuyas drupeolas no estuvieron completamente formadas; los frutos fueron cosechados cuando alcanzaron el 100% del color púrpura (o negro) y se evaluaron las variables siguientes:

Peso fresco de fruto: se registró el peso de la totalidad de frutos por repetición, con una balanza digital OHAUS® MODELO Scout Pro.

Índice de redondez: en los mismos frutos que se registró el peso, se midió la longitud y diámetro ecuatorial, con un vernier digital General® No. 143, con estos datos se calculó la relación longitud/diámetro; donde los valores menores a uno fueron considerados como ovalados, mayores a uno como alargados y valores de uno como redondos (Martínez-Bolaños *et al.*, 2008).

Firmeza del fruto: Se evaluó en los mismos frutos utilizados para el índice de redondez, con el penetrómetro Qa Supplies® modelo FT O2 con punta de 2.3 mm de grosor a la altura del diámetro ecuatorial, los resultados se expresaron en Newtons (N).

Sólidos solubles totales (SST): se registraron con un refractómetro digital Atago® modelo PAL-1, en la totalidad de los frutos.

Acidez titulable (AT): se utilizó la técnica descrita por la AOAC (1980); el porcentaje de acidez se calculó con base en el ácido cítrico.

Azúcares solubles totales (AST): se determinó con el método de antrona descrito por Witham *et al.* (1971) en 15 frutos por tratamiento. Se realizó el mismo procedimiento para AST descrito para raíz y hojas.

Determinación de compuestos antioxidantes en frutos

Preparación del extracto metanólico: en un mortero de porcelana se trituraron 5 g de pulpa de zarzamora (obtenida de la mezcla de 10 frutos por planta) con 50 mL de metanol acuoso al 80 % (v/v), la mezcla se homogeneizó con agitación

en un vórtex, posteriormente, se colocó en sonicación por 15 min a temperatura ambiente, la mezcla se dejó reposar por 24 h y se centrifugó por 10 min a 1,400 x g. Con este extracto se cuantificaron los compuestos fenólicos (Chang, Yang, Wen y Chern, 2002).

Fenoles totales: se tomaron 250 µL del sobrenadante del extracto metanólico previamente preparado, se agregaron 250 µL del reactivo Folin-Ciocalteu 0.2 N Y 2 mL de una solución 0.7 M de Na₂CO₃, la mezcla se incubó por 2 h a temperatura ambiente y en oscuridad. Se registró la absorbancia a 765 nm en un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La concentración se calculó a partir de una curva patrón preparada con ácido gálico y se expresó en mg equivalentes de ácido gálico por 100 g de peso fresco (mg EAG · 100 g⁻¹ p.f.) de acuerdo al método de Waterman y Mole (1994) con modificaciones.

Flavonoides: se tomaron 500 µL del cada extracto metanólico obtenido previamente, se agregaron 1.5 mL de etanol al 95 %, 100 µL de solución AlCl₃ al 10 %, 100 µL de CH₃COOK 1 M y 2.8 mL de agua destilada; la mezcla se incubó por 30 min en temperatura ambiente. La absorbancia se leyó a 415 nm en un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La concentración se determinó con una curva patrón a base de flavona quercetina (Chang *et al.*, 2002). Los resultados se expresaron en mg equivalentes de quercetina por 100 g de peso fresco (mg EQ · 100 g⁻¹ p.f.).

Antocianinas: se prepararon dos tubos de ensayo diferentes con 200 µL del extracto metanólico previamente obtenido; al tubo 1 se le adicionaron 1.8 mL de una solución amortiguadora (HCl/KCl) de pH=1, al tubo 2 se le agregaron 1.8 mL de una solución amortiguadora (CH₃COOH/CH₃COONa·3H₂O) de pH=4.5. Se leyó la absorbancia de ambas mezclas tanto a 510 como a 700 nm con un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La absorbancia total (A_t) se calculó de la siguiente manera: $A_t = [(A_{510} - A_{700})_{pH = 1.0}] - [(A_{510} - A_{700})_{pH = 4.5}]$ La concentración de antocianinas (AN) se calculó de la siguiente manera:

$$ANT = A_t \cdot PM \cdot FD \cdot 1000 / (\epsilon \cdot 1)$$

Donde: A_t es la absorbancia total; PM es el peso molecular ($449.2 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$) del estándar cianidina 3-glucósido; FD es el factor de dilución y ϵ es la absortividad molar del estándar ($26,900$). La concentración se expresó en mg de antocianinas $\cdot 100 \text{ g}^{-1}$ p. f. (Giusti y Wrolstad, 2001).

Contenido de vitamina C: se realizó con el método 967.21 de la AOAC (1995); se pesaron 0.5 g de muestra fresca, se maceraron con 5 mL de ácido metafosfórico al 1% , se dejaron reposar por 45 minutos, posteriormente, se filtró y aforó a 5 mL . Del extracto se tomó 1 mL y se diluyó en 9 mL de dicloroindofenol (12 mg L^{-1}). Se leyó la absorbancia a 515 nm con un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV, se utilizó agua desionizada como blanco.

Actividad antioxidante del fruto: a través del método descrito por Re *et al.*, (1999) se generó un radical libre $\text{ABTS}^{\cdot+}$ (ácido 2,2'-azino-bis (3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico), para este procedimiento 10 mL de una solución 7 mM de ABTS se mezclaron con 6.61 mg de $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_8$ en un frasco forrado y se procedió a reposar 16 horas en oscuridad. Posteriormente, se tomó 1 mL de esta solución se le agregó etanol anhidro hasta que la mezcla alcanzara una absorbancia de 0.7 ± 0.1 (máxima concentración del radical libre $\text{ABTS}^{\cdot+}$ formado), evaluada con un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV a una longitud de onda de 734 nm (A_i =absorbancia inicial). Para determinar la actividad antioxidante de la muestra, a 2 mL de la solución del radical libre $\text{ABTS}^{\cdot+}$, se le agregaron $20 \mu\text{L}$ del extracto metanólico de la muestra, la mezcla se incubó durante 7 min a 30°C en oscuridad; después de esto, se leyó la absorbancia a 734 nm (A_F = absorbancia de muestra), en un espectrofotómetro ThermoSpectronic® modelo Genesys 10 UV. La determinación de la actividad antioxidante se hizo con una curva estándar con trólox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico). Los resultados se expresaron en μmol equivalente de trólox por g de peso fresco. Para calcular el porcentaje de inhibición del radical libre $\text{ABTS}^{\cdot+}$, se empleó la fórmula:

porcentaje de inhibición = $[(A_i - A_f) / A_i] \cdot 100$; donde A_i es la absorbancia inicial del radical libre y A_f es la absorbancia final de la reacción con la muestra.

Análisis estadístico

Con los datos se realizó un análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa SAS versión 9 (SAS Institute, 2002).

4.3 Resultados y discusión

Respuesta de la planta y rendimiento

El peso seco total (PST), de la parte aérea (PSPA) y de la raíz (PSR) fueron afectados por todos los tratamientos; el PST de las plantas con CE de 2.8 y 3.0 dS m^{-1} tuvieron decrementos del 44 % ; las plantas con 3.0 dS m^{-1} fueron las más afectadas con una disminución del 41 % en el PSPA y del 45 % en el PSR (Cuadro 9).

Cuadro 9 .Efecto de la CE en la solución nutritiva en el peso seco de la raíz y parte aérea de zarzamora cv. Tupy bajo condiciones de invernadero.

C.E. ds m^{-1}	PSPA	PSR	PST
2.0 (Testigo)	89.96±6.67 a ^x	106.18±5.21 a	196.14±10.17 a
2.2	81.13±4.96 ab	106.08±10.44 a	187.21±14.54 a
2.4	66.55±3.92 ab	73.02 ±7.62 b	139.57±10.33 b
2.6	65.53±6.06 b	87.33±8.19 ab	152.86±14.03 ab
2.8	68.18±5.26 ab	68.04±5.56 b	136.22±8.9 b
3.0	63.56±5.19 b	72.98±4.00 b	136.54±8.23 b
DMS	22.64	29.97	47.43

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05), ^xMedias ± error estándar. DMS: Diferencia mínima significativa PST: peso seco total; PSPA: peso seco parte aérea; PSR: peso seco de raíz.

La inhibición del crecimiento por el estrés hídrico-osmótico generado por los tratamientos salinos, constituye la causa principal (Munns y Tester, 2008; Munns, 2005) de los decrementos del peso seco; las modificaciones en la transpiración causadas por el exceso de sales disueltas, puede desencadenar reducción en el crecimiento y la falta de absorción de agua y nutrimentos en las raíces (Parihar *et al.*, 2015).

El rendimiento disminuyó significativamente en las plantas con 2.4, 2.6, 2.8 y 3.0 dS m⁻¹, con en una reducción del 42, 43, 59 y 60 %, respectivamente. El número de frutos por planta también se vio afectado, con disminución de hasta el 50 % en prácticamente todos los tratamientos (Cuadro 10). La reducción del rendimiento puede deberse al menor número de flores que se presentó y a un follaje reducido y por tanto fotosintéticamente menos activo (Parihar *et al.*, 2015).

Cuadro 10. Rendimiento, número de frutos y concentración de prolina en zarzamora cv. Tupy cultivado bajo diferentes niveles de CE en la solución nutritiva.

C.E. dS m ⁻¹	Rendimiento (g · planta ⁻¹)	Número de frutos por planta	Prolina en raíz (mg · mL ⁻¹)
2.0 (testigo)	84.80±10.45 a ^x	22.2±1.89 a	92.89±4.61 c
2.2	61.76±6.63 ab	14.6±0.99 b	100.50±3.37 c
2.4	48.19±7.10 bc	10.9±1.08 b	102.89±3.81 c
2.6	46.15±4.66 bc	12.9±0.88 b	165.22±6.14 ab
2.8	34.72±4.00 c	11.1±0.86 b	145.22±8.63 b
3.0	33.77±2.11 c	10.2±0.67 b	206.45±21.17 a
DMS	49.13	6.03	41.71

^xMedias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05).^xMedias ± error estándar. DMS: Diferencia mínima significativa

La concentración de prolina en la raíz se incrementó en 77 %, 56 % y 120 % con las conductividades de 2.6, 2.8 y 3.0 dS · m⁻¹, respectivamente (Cuadro 10).

La prolina juega un papel adaptativo en la mediación osmótica, en el ajuste y protección de las estructuras subcelulares de las plantas estresadas por salinidad y en la amortiguación del potencial redox (Parvaiz y Satyawati, 2008; Parihar *et al.*, 2015) por lo cual es común su incremento ante efectos de dicho estrés.

La longitud de caña principal no se vio afectada por los tratamientos, mientras que el diámetro disminuyó a partir de la CE de 2.6 (Cuadro 11). En algunas plantas sometidas a estrés por salinidad el Na es retenido en las vacuolas de las bases de los tallos y raíces, o a través de las células de todo el tallo, sobre todo en aquellas plantas consideradas de tallo largo, pero las altas concentraciones del ion en el xilema pueden afectar el crecimiento del mismo (Tester y Davenport, 2003).

Cuadro 11. Longitud y diámetro de la caña principal de zarzamora cv. Tupy cultivada bajo diferentes niveles de CE.

C.E. dS m ⁻¹	Longitud (cm)	Diámetro (mm)
2.0	129.8±2.07 a ^x	10.46± 0.34 a
2.2	131.4±4.67 a	10.34±0.42 a
2.4	137.8±6.54 a	9.12±0.71 ab
2.6	133.8±6.44 a	7.44±0.34 b
2.8	125.6±4.09 a	8.10±0.31 b
3.0	117.8±4.79 a	7.98±0.49 b
DMS	21.94	2.01

^xMedias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Medias ± error estándar. DMS: Diferencia mínima significativa.

Los AST de en la hoja no fueron afectados significativamente, pero en la raíz disminuyeron desde 21 hasta 70 % con las conductividades de 2.2 y 3.0, respectivamente (Cuadro 12).

Todos los pigmentos fotosintéticos se vieron afectados (Cuadro 13): el contenido de carotenoides disminuyó a partir de la CE de 2.4 hasta 46 % con la

CE de 3.0. Los contenidos de clorofila A, B y total disminuyeron con el aumento de la salinidad, hasta 54 %, 41 % y 50 %, respectivamente con 3.0 de CE.

Cuadro 12. Azúcares solubles totales de raíz y hojas de zarzamora cv. Tupy cultivada bajo diferentes niveles de CE.

C.E. dS m ⁻¹	AST raíz (%)	AST hoja (%)
2.0 (Testigo)	0.37±0.01a ^x	2.02±0.08 a
2.2	0.29±0.01 cb	1.96±0.06 a
2.4	0.31±0.02 b	2.04±0.15 a
2.6	0.23±0.01 cd	2.15±0.06 a
2.8	0.22±0.02 d	1.78±0.07 a
3.0	0.11±0.00 e	1.95±0.08 a
DMS	0.05	0.37

^xMedias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Medias ± error estándar. DMS: Diferencia mínima significativa.

Resultados similares se encontraron en frambueso sometido a tratamientos con niveles de hasta 60 mM de cloruro de sodio (Neocleous y Vasilakakis, 2007). Efectos parecidos también se han documentado en arroz (Amirjani, 2011) y en algunas variedades de mostaza (*Brassica juncea*) (Mittal, Kumari y Sharma, 2012), ambos trabajos realizados también con estrés por NaCl. Bajo estrés salino prolongado, la aceleración de la senescencia en hojas disminuye los contenidos de clorofila y carotenoides; la tasa fotosintética se afecta por una disminución en el suministro de CO₂, por cambios en la actividad enzimática y por una reducción del área foliar (Parida, Bandhu y Dam, 2002; Munns y Tester, 2008). Otra explicación dada por Hanafy, Harb, Higazy y Morgan (2008) es que la biosíntesis de clorofilas podría ser inhibida por el efecto depresivo que genera la salinidad en la absorción de iones participantes en la formación de cloroplastos como Mg y Fe.

Cuadro 5. Contenido de pigmentos en hojas de zarzamora cultivadas bajo diferentes niveles de CE.

C.E. dS m ⁻¹	CAR	CA	CB	CT
	mg g.p.f ⁻¹			
2.0 (Testigo)	3.92±0.09 a ^x	0.63±0.02 a	0.29±0.02 a	0.92±0.03 a
2.2	3.60±0.10 a	0.54±0.01 b	0.24±0.01 ab	0.79±0.02 b
2.4	3.00±0.12 b	0.42±0.02 c	0.24±0.01 bc	0.64±0.03 c
2.6	2.39±0.08 c	0.37±0.01 cd	0.21±0.01 ab	0.62±0.02 c
2.8	2.37±0.12 c	0.33±0.01 d	0.21±0.01 bc	0.55±0.03cd
3.0	2.12±0.04 c	0.29±0.01 d	0.17±0.00 c	0.46±0.01 d
DMS	0.41	0.07	0.05	0.12

^xMedias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Medias ± error estándar. DMS: Diferencia mínima significativa CAR: Contenido de carotenoides; CA: contenido de clorofila A; CB: Contenido de clorofila B.

Calidad del fruto

El peso fresco, longitud y diámetro del fruto disminuyó a partir de la CE de 2.6, con una reducción máxima del 20 % (Cuadro 14). El índice de redondez disminuyó con las conductividades de 2.8 y 3, por lo que este grado de salinidad condujo a frutos más ovalados que los obtenidos con las salinidades menores.

La firmeza se incrementó 11 % con la CE de 2.8, con respecto al testigo (Cuadro 14). La disminución en el peso del fruto por efecto de la salinidad (con NaCl) también se observó en fresa cultivares Korona y Elsanta (Keutgen y Pawelzik, 2008); así mismo, también reportaron disminución en la firmeza, contrario a lo que se registró en este trabajo en zarzamora, pero en coincidencia con lo reportado en pimiento rojo, en donde la firmeza se incrementó con salinidad dada con Ca⁺² (2.48 mM)+ NaCl (30 mM) (Rubio, García, Rubio y Martínez, 2009).

Cuadro 14. Efecto de la CE de la solución nutritiva en las características físicas de los frutos de zarzamora cv. Tupy bajo condiciones de invernadero.

C.E. dS m ⁻¹	Peso (g)	Longitud (mm)	Diámetro (mm)	Índice de redondez	Firmeza (N)
2.0	4.00±0.10 a ^x	18.32±0.26 a	18.58±0.18 a	0.99±0.01 a	1.84±0.02 b
2.2	4.37±0.10 a	18.90±0.29 a	19.02±0.18 a	0.99±0.08 a	1.92±0.04 ab
2.4	4.30±0.14 a	18.61±0.37 a	18.64±0.23 a	0.99±0.01 a	1.98±0.04 ab
2.6	3.57±0.12 b	16.86±0.30 b	17.32±0.22 b	0.96±0.01 ab	1.94±0.03 ab
2.8	3.22±0.10 b	15.88±0.37 b	17.35±0.16 b	0.90±0.01 c	2.04±0.05 a
3.0	3.32±0.09 b	16.13±0.29 b	17.20±0.20 b	0.93±0.01 bc	1.95±0.03 ab
DMS	0.43	1.14	0.75	0.05	0.14

^xMedias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). Medias ± error estándar. DMS: Diferencia mínima significativa.

Alta concentración de Ca²⁺ en las soluciones nutritivas salinas, incrementa la captación y transporte del mismo en las plantas; mantiene la homeostasis celular y da resistencia a los daños por Na⁺ (Marschner, 2002); en el presente trabajo se utilizaron concentraciones balanceadas de varios iones, incluyendo aumentos de Ca²⁺ conforme la CE era aumentada (Cuadro 8); dentro de las funciones del Ca²⁺ (aparte de la protección ante el estrés salino), es proveer de firmeza al fruto y mantener la estructura de la membrana celular lo cual en parte, puede explicar el ligero incremento de la firmeza en los frutos de zarzamora con conductividad alta y una disminución moderada en otros parámetros físicos del fruto.

El contenido de AST presentó una tendencia a disminuir con la salinidad, de tal forma que con las conductividades de 2.8 y 3.0 se registraron los valores más bajos, pero los SST y la AT fueron más altos con estas conductividades; la proporción SST/AT disminuyó a partir de la CE de 2.6(Cuadro 21). Los frutos de todos los tratamientos de salinidad, mostraron valores del contenido de AST por arriba del valor mínimo para diversas variedades de zarzamora (2.75 g · 100 g

de peso fresco) según lo reporta De Souza *et al.* (2014), con excepción del tratamiento con 3.0 dS m⁻¹, el cual no alcanzó un contenido aceptable (Cuadro 15).

Cuadro 7. Efecto de la CE de la solución nutritiva en las características químicas de los frutos de zarzamora cv. Tupy bajo condiciones de invernadero.

C.E. dS m ⁻¹	AST (g 100 g.p.f. ⁻¹)	SST (%)	AT (%)	Relación SST/AT
2.0 (Testigo)	3.81±0.27 a ^x	11.26±0.15 b	0.89±0.02 b	12.81±0.24 a
2.2	3.76±0.22 ab	11.30±0.16 b	0.86±0.03 b	13.38±0.20 a
2.4	2.87±0.13 bc	11.18±0.20 b	0.87±0.03 b	13.07±0.28 a
2.6	3.48±0.32 abc	11.88±0.19 ab	0.97±0.03 ab	12.44±0.31 b
2.8	2.78±0.15 c	12.51±0.25 a	1.04±0.05 a	12.14±0.26 b
3.0	1.81±0.12 d	12.19±0.32 a	1.09±0.03 a	11.38±0.19 c
DMS	0.90	0.77	0.14	1.05

^xMedias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05) Medias ± error estándar.. DMS: Diferencia mínima significativa AST: azúcares solubles totales; SST:sólidos solubles totales; AT: acidez titulable.

El incremento en los sólidos solubles totales puede estar asociado a una reducción en el contenido de agua en el fruto y en la acidez, con el aumento de Na⁺, Cl⁻ o K⁺, o incluso de otros iones con los que se aumenta la salinidad (Del Amor, Martínez y Cerdá, 2001).

La concentración de fenoles y flavonoides disminuyó con el aumento de la CE; en contraste, las antocianinas, vitamina C, capacidad antioxidante y porcentaje de inhibición aumentaron conforme la CE fue mayor (Cuadro 16).

Estos resultados coinciden con los reportados en otros cultivos como frambuesa sometida a salinidad por NaCl, ya que la capacidad antioxidante, fenoles y ácido ascórbico tuvieron incrementos significativos conforme la salinidad iba en

aumento. Las antocianinas no se afectaron por ninguno de los tratamientos (Neocleous y Vasilakakis, 2008); en contraste en jitomate sometido a distintas conductividades (2.2, 3.5 y 4.5 dS m⁻¹) los frutos tuvieron incrementos en las concentraciones de ácido ascórbico, compuestos fenólicos totales y actividad antioxidante (Moya, Oyanedel y Verdugo, 2017); mientras que en fresa cvs. Elsanta (sensible) y Korona (menos sensible) tratadas con 40 y 80 mmol L⁻¹ de NaCl, se observó un incremento en la capacidad antioxidante, el contenido de fenoles y de antocianinas (Keutgen y Pawelzik, 2007).

Ante el estrés que implica la salinidad, las plantas presentan distintos mecanismos que detoxifiquen las especies reactivas de oxígeno (ROS) en la célula, uno de ellos es la síntesis de compuestos antioxidantes como fenoles (que incluyen a flavonoides y antocianinas) y ciertos ácidos orgánicos como el ácido ascórbico.

La estructura polifenólica tiene la capacidad de eliminar especies radicales y funcionar como quelante de metales (Jaleel *et al.*, 2009), mientras que el ácido ascórbico (vitamina C) ayuda a la misma función de desintoxicación y protección celular en plantas sometidas a estrés (Miller, Suzuki, Ciftci-Yilmaz y Mittler, 2010).

La capacidad antioxidante de una célula está íntimamente relacionada a la síntesis de compuestos como los mencionados anteriormente, sobre todo los compuestos fenólicos y las antocianinas, esto ha sido demostrado en especies como el arándano (Kalt, McDonald y Donner, 2000).

Cuadro 8. Efecto de la CE de la solución nutritiva en el contenido de compuestos antioxidantes y actividad antioxidante por el método ABTS en frutos de zarzamora cv. Tupy bajo condiciones de invernadero.

C.E. (dS m ⁻¹)	Fenoles (mg EAG 100 g ⁻¹ p.f.)	Flavonoides (mg EQ 100 g ⁻¹ p.f.)	Antocianinas (mg 100 g ⁻¹ p.f.)	Vitamina C (mg 100 g ⁻¹ p.f.)	Actividad antioxidante (μmol E trólox g ⁻¹ p.f.)	Inhibición (%)
2.0	644.30±5.10a ^x	37.14±2.97 a	48.63±4.62 b	19.03±0.59 b	10.72±0.17 bc	70.72±1.01 bc
2.2	617.76±7.19 ab	29.76±1.49 b	95.23±4.93 a	20.02±0.59 ab	10.35±0.15 c	68.54±0.88c
2.4	594.36±12.0 bc	27.72±0.89 b	96.24±3.69 a	20.04±0.24 ab	10.15±0.26 c	67.34±1.53 c
2.6	565.39±6.48 cd	27.17±0.45 b	93.94±5.44 a	19.04±0.28 b	10.36 ±0.13 c	68.60±0.75 c
2.8	541.82±5.82d	27.16±0.73 b	96.94±4.00 a	20.04±0.32 ab	11.38±0.11 b	74.58±0.63 b
3.0	484.78±7.51e	26.17±0.89 b	65.96±2.58 b	20.99±0.08 a	12.95±0.14 a	83.84±0.84 a
DMS	31.69	5.85	17.81	1.65	0.69	4.08

Medias con letras iguales no son estadísticamente diferentes (Tukey, 0.05). ^xMedias ± error estándar. DMS: Diferencia mínima significativa.

4.4 Conclusiones

Los resultados indican que el rendimiento en la zarzamora cv. Tupy tiende a disminuir, así como también la acumulación del peso seco, grosor del tallo y contenido de los pigmentos fotosintéticos, a partir de conductividades por arriba de 2.4 dS m^{-1} , indicando que no es apta para crecer y desarrollarse en ambientes salinos. El incremento en el contenido de prolina indicó un mecanismo de defensa de la planta ante el estrés. La salinidad mejoró algunos parámetros de calidad del fruto, como la capacidad antioxidante, contenido de antocianinas, vitamina C, acidez titulable y sólidos solubles totales, aunque afectó negativamente los azúcares solubles totales y el tamaño del fruto.

4.5 Literatura citada

- Amacher J., Koenig, R., Kitchen, B. (2000). Salinity and Plant Tolerance. *All Achieved Publications* (Electronical Publishing) Paper 43. https://digitalcommons.usu.edu/extension_histall/43/?utm_source=digitalcommons.usu.edu%2Fextension_histall%2F43&utm_medium=PDF&utm_campaign=PDFCoverPages
- Amirjarni, M. (2011) Effect of Salinity Stress on Growth, Sugar Content, Pigments and Enzyme Activity of Rice. *Internacional Journal of Botany*, 7, 73-81.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1980) *Official Methods of Analysis*. 12^a ed. Washington, D.C. USA. 1018 p..
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists) (1995) *Official Methods of Analysis* 16th ed. Washington, D.C. 2490 p.
- Bates, L. (1973) Rapid determination of free proline for water stress studies. *Plant and soil*, 39, 205-207.
- Chang, C. ,Yang, M. , Wen, H., Chern J. (2002) Estimation of total flavonoid content in propolis by two complementary colorimetric methods. *Journal of Food and Drug Analysis*, 10, 178- 182.
- Clark, J., Finn, C. (2014) Blackberry cultivation in the world. *Rev. Brasileira de Fruticultura*, 36, 46-57.

- Del Amor, F., Martínez, V., Cerdá, A. (2001) Salt Tolerance of Tomato Plants as Affected by Stage of Plant Development. *Hortscience*, 36 (7), 1260-1263.
- FIRA (Fideicomisos Instituidos en Relación a la Agricultura) (2016). *Panorama Agroalimentario, Berries* 2016. 41 p.
- Garriga, M., Muñoz, C.A., Caligari, P.D.S., Retamales, J. B. (2015) Effect of salt stress on genotypes of commercial (*Fragaria x ananassa*) and Chilean strawberry (*F. chiloensis*). *Scientia Horticulturae*, 195, 37-47.
- Giusti, M., Wrolstad, M.E. (2001) Characterization and Measurement of Anthocyanins by UV-Visible Spectroscopy. *Current Protocols in Food Analytical Chemistry*, 00 (1), F1.2.1–F1.2.13.
- Jaleel, C., Riadh, K., Gopi, R., Manivannan, P., Ine's, J., Al-Jaburi, H., Chan Xing, Z., Hong-Bo, S., Panneerselvam, R. (2009) Antioxidant defense responses: physiological plasticity in higher plants under abiotic constraints. *Acta Physiologiae Plantarum*, 31, 427-436.
- Hanafy, A., Harb, E., Higazy, M., Morgan, S. (2008). Effect of silicon and boron foliar applications on wheat plants grown under saline soil conditions. *International Journal of Agricultural Research*, 3, 1-26.
- Kalt, W., McDonald, J., Donner, H. (2000) Phenolics, and Antioxidant Capacity of Processed Lowbush Blueberry Products. *Journal of food science*, 65 (3), 390-393.
- Kaya, C., Kirnak, H., Higgs, D., Saltali, K. (2002) Supplementary calcium enhances plant growth and fruit yield in strawberry cultivars grown at high (NaCl) salinity. *Scientia Horticulturae*, 93, 65-74.
- Keutgen, A., Pawelzik, E. (2007) Modifications of taste-relevant compounds in strawberry fruit under NaCl salinity. *Food Chemistry*, 105, 1487–1494.
- Keutgen A, Pawelzik, E. (2008) Quality and nutritional value of strawberry fruit under long term salt stress. *Food chemistry*, 107, 1413–1420.
- Marschner (2002) *Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants* 3th edition. U.S.A. Academic Press, 651 p.
- Martínez-Bolaños, M., Nieto, A.D., Téliz, O.D., Rodríguez, A.J., Martínez D., M.T., Vaquera, H.H., Carrillo M.O. (2008) Comparación cualitativa de fresas (*Fragaria x ananassa* Duch.) de cultivares mexicanos y estadounidenses. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 2, 113-119.
- Miller G, Suzuki N, Ciftci-Yilmaz S, Mittler R (2010) Reactive oxygen species homeostasis and signaling during drought and salinity stresses. *Plant, Cell and Environment*, 33, 453-467.
- Mittal, S., Kumari, N., Sharma, V. (2012). Differential response of salt stress on *Brassica juncea*: Photosynthetic performance, pigment, proline, D1 and antioxidant enzymes. *Plant Physiology and Biochemistry*, 54, 17-26.

- Moya, C., Oyanedel, E., Verdugo, G. (2017) Increased electrical conductivity in nutrient solution management enhances dietary and organoleptic qualities in soilless culture tomato. *HortScience*, 52, 868-872.
- Munns, R. (2005) Genes and Salt Tolerance: bringing them together. *New Phytologist*, 167, 645–663.
- Munns, R., Tester, M. (2008) Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology*, 59, 651-681.
- Neocleous, D., Vasilakakis, M. (2007). Effects of NaCl stress on red raspberry (*Rubus idaeus* L. 'AutumnBliss'). *Scientia Horticulturae*, 112 (3). 282-289.
- Neocleous, D., Vasilakakis, M. (2008) Fruit Quality of Red Raspberry as Affected by Salinity. *European Journal of Horticultural Science*, 73(3), 131-137.
- Parida, A., Bandhu, A., Dam, P. (2002) NaCl stress causes changes in photosynthetic pigments, proteins and other metabolic components in the leaves of a true mangrove *Bruguiera parviflora*, in Hydroponic Cultures. *Journal of Plant Biology*, 45 (1), 28-36.
- Parihar, P., S Singh, R., Singh, V. P., Singh, S., Prasad, M. (2015) Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environ Science Pollution Research*, 22, 4056-4075.
- Parvaiz, A., Satyawati, S. (2008) Salt stress and phyto-biochemical responses of plants - a review. *Plant Soil Environment*, 54 (3), 89–99.
- Re. R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., Rice, C. (1999) Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free Radical Biology & Medicine*, 26, 1231-1237.
- Ríos-Gómez, R., Salas-García, C.E., Monroy-Ata, A., Solano E. (2010) Salinity effect on *Prosopis laevigata* seedlings. *Terra Lationamericana*, 28, 99-107.
- Rubio, J., García, F., Rubio, F., Martínez, V. (2009) Yield, blossom-end rot incidence, and fruit quality in pepper plants under moderate salinity are affected by K⁺ and Ca²⁺ fertilization. *Scientia Horticulturae*, 119, 79-87.
- SAS Institute (2002) SAS/STAT. User's Guide. Release 9.0. SAS Institute Inc., Cary, North Carolina. USA. 4424 p.
- SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) (2019) <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>
- De Souza, V., Pimenta, P., Teodoro, T., Oliveira, L., Pío, R., Queiroz, F. (2014) Determination of the bioactive compounds, antioxidant activity and chemical composition of Brazilian blackberry, red raspberry,

- strawberry, blueberry and sweet cherry fruits. *Food Chemistry*, 156, 362–368.
- Steiner, A. A. (1984) The universal nutrient solution. In: proceedings 6th international congress on soilless culture. Lunteren, The Netherlands. 633-649 pp.
- Strick, B., Clark, J., Finn, C., Bañados, P. (2007) Worldwide Blackberry Production. *Hort Technology: Comprehensive Crop Reports*, 17 (2), 204-213.
- Tester, M., Davenport, R. (2003). Na⁺ Tolerance and Na⁺ Transport in Higher Plants. *Annals of Botany*, 91, 503-527
- Waterman, P. G., Mole, S. (1994) *Analysis of Phenolic Plant Metabolites*. Blackwell Scientific Publications. Oxford, U.K. 238 p.
- Witham, F. H., Blaydes, D.F., Devlin, R.M. (1971) *Experiments in plant physiology*. New York, USA: Van Nostrand Reinhold Company. 245 p.
- Zhao, Y. (2007) *Berrie Fruit*. Boca Ratón, FL, USA. CRC Press. 430 p.