



CENTRO INTERDISCIPLINARIO DE
INVESTIGACIÓN PARA EL DESARROLLO
INTEGRAL REGIONAL UNIDAD MICHOACÁN



CIIDIR IPN-MICHOACÁN

**ESTRATEGIAS PARA LA PRODUCCIÓN DE JITOMATE
(*Solanum lycopersicum* (L.)) EN CONDICIONES SALINAS:
HALOFITORREMEDIACIÓN E INJERTO SOBRE
PARIENTES SILVESTRES**

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE

MAESTRA EN CIENCIAS EN PRODUCCIÓN AGRÍCOLA SUSTENTABLE

PRESENTA

Ing. Alba Daniela Flores Valencia

DIRECCIÓN

Dra. Dioselina Álvarez Bernal

Dr. Marcos Alfonso Lastiri Hernández

Jiquilpan, Michoacán, México, diciembre 2021



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14
REP. 2017

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de Jiquilpan, Mich. siendo las 12 horas del día 17 del mes de noviembre del 2021 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de la Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Posgrado de: CIIDIR IPN Unidad Michoacán para examinar la tesis titulada:

Estrategias para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum*) en condiciones salinas: biofitorremediación e injerto sobre parientes silvestres del (la) alumno (a):

Apellido Paterno:	Flores	Apellido Materno:	Valencia	Nombre (s):	Alba Daniela
-------------------	--------	-------------------	----------	-------------	--------------

Número de registro: B 1 9 0 8 2 9
Aspirante del Programa Académico de Posgrado: Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable

Una vez que se realizó un análisis de similitud de texto, utilizando el software antiplagio, se encontró que el trabajo de tesis tiene 12 % de similitud. Se adjunta reporte de software utilizado.

Después que esta Comisión revisó exhaustivamente el contenido, estructura, intención y ubicación de los textos de la tesis identificados como coincidentes con otros documentos, concluyó que en el presente trabajo SI NO SE CONSTITUYE UN POSIBLE PLAGIO.

JUSTIFICACIÓN DE LA CONCLUSIÓN: *(Por ejemplo, el % de similitud se localiza en metodologías adecuadamente referidas a fuente original)*
El resultado del 12% que arrojó el programa Turnitin® no implica plagio, dicho resultado se debe a que la estudiante citó de forma adecuada las fuentes, sin embargo, el software toma palabras comunes como similitud por ello aumenta el %. Cabe hacer mención que la mayor similitud se encuentra en la parte de la sección de materiales y métodos la cual se referenció de las fuentes originales.

****Es responsabilidad del alumno como autor de la tesis la verificación antiplagio, y del Director o Directores de tesis el análisis del % de similitud para establecer el riesgo o la existencia de un posible plagio.**

Finalmente, y posterior a la lectura, revisión individual, así como el análisis e intercambio de opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR** **SUSPENDER** **NO APROBAR** la tesis por **UNANIMIDAD** o **MAYORÍA** en virtud de los motivos siguientes:
La tesis está sustentada en una revisión documental adecuada y bien referenciada, además cuenta con una sólida experimentación permitiendo con ello, la obtención de resultados valiosos para implementar estrategias de agricultura biosalina en el cultivo de jitomate.

COMISIÓN REVISORA DE TESIS

Dra. Dióselina Álvarez Bernal
Director de Tesis
Nombre completo y firma

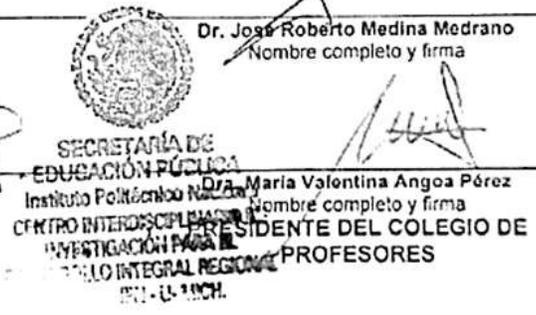
Dr. Marcos Alfonso Lastiri Hernández
2° Director de Tesis (en su caso)
Nombre completo y firma

Dr. Hipólito Cortez Madrigal
Nombre completo y firma

Dr. José Roberto Medina Medrano
Nombre completo y firma

M. en C. Salvador Ochoa Estrada
Nombre completo y firma

Dra. María Valentina Angoa Pérez
Nombre completo y firma





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 06 del mes de diciembre del año 2021, el (la) que suscribe Alba Daniela Flores Valencia alumno(a) del Programa de Maestría en Ciencias en Producción Agrícola Sustentable, con número de registro B190829, adscrito(a) al CIIDIR-IPN Unidad Michoacán, manifiesto(a) que es el (la) autor(a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del (de la, de los) Dra. Dioselina Álvarez Bernal y Dr. Marcos Alfonso Lastiri Hernández y cede los derechos del trabajo titulado “Estrategias para la producción de jitomate (*Solanum lycopersicum* (L.)) en condiciones salinas: halofitorremediación e injerto sobre parientes silvestres”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del (de la) autor(a) y/o director(es) del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a las siguientes direcciones: afloresv1900@alumno.ipn.mx, dalvarez@ipn.mx y marcos.lastiri5@gmail.com . Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Alba Daniela Flores Valencia

AGRADECIMIENTOS

Al CIIDIR-IPN Michoacán por haber creído en mi persona y brindar la oportunidad de estudio.

Gracias a CONACYT por el apoyo económico y el seguro médico que recibí durante un periodo de dos años.

A mis directores, por siempre haber permanecido al pendiente de las necesidades laborales de mi persona y nuestro proyecto con paciencia, también por sus consejos y motivaciones personales.

Agradezco a mis padres por tantos años de incansable lucha para salir adelante, por los valores inculcados y el tiempo de calidad invertido.

Al comité tutorial por su orientación en nuestro proyecto de investigación y a los profesores que impartieron clases como parte del programa académico.

Gracias a los técnicos del laboratorio, la directora del centro y todo el personal en conjunto, por su paciencia, amistad y dedicación.

Finalmente agradezco a mis amistades y hermanas académicas, por sus consejos motivadores y su ayuda incondicional tanto en el ámbito laboral como en el personal.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	10
ABSTRACT	11
INTRODUCCIÓN.....	12
I. MARCO TEÓRICO	15
1.1. LA SALINIDAD DEL SUELO	15
1.1.1. EFECTOS DE LA SALINIDAD DEL SUELO EN LAS PLANTAS	16
1.1.2. EFECTOS POSITIVOS DE LA SALINIDAD EN LAS HORTALIZAS.....	17
1.1.3. EL PAPEL DEL AGUA DE RIEGO EN LA SALINIDAD DEL SUELO.....	17
1.2. AGRICULTURA BIOSALINA.....	19
1.3. HALÓFITAS	20
1.3.1. MECANISMOS UTILIZADOS POR LAS HALÓFITAS PARA SOBREVIVIR EN AMBIENTES SALOBRES	20
1.3.2. USOS DE LAS HALÓFITAS.....	21
1.3.3. LAS HALÓFITAS EN LA AGRICULTURA BIOSALINA.....	22
1.4. BIORREMEDIACIÓN	22
1.4.1. FITORREMEDIACIÓN	23
1.4.2. FITODESALINIZACIÓN	23
1.4.3. <i>Bacopa monnieri</i> (L.) Wettst	23
1.5. EL JITOMATE (<i>Solanum lycopersicum</i> (L.)).....	24
1.5.1. VARIABLES DE IMPORTANCIA.....	25
1.5.2. EL INJERTO Y EL CULTIVO DE JITOMATE	25
1.5.3. EL INJERTO DE JITOMATE COMERCIAL SOBRE TINGUARAQUE	26
1.6. LA CIÉNEGA DE CHAPALA DEL ESTADO DE MICHOACÁN (CCM) Y SU PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA	27
1.6.1. SITUACIÓN HIDROLÓGICA.....	28
1.6.2. LOS SUELOS DE LA CCM	29
II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	30
III. JUSTIFICACIÓN.....	32
IV. HIPÓTESIS	34

V. OBJETIVOS	35
5.1. OBJETIVO GENERAL.....	35
5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	35
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	36
6.1. ZONA DE ESTUDIO.....	36
6.2. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DE RIEGO	36
6.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL SUELO.....	37
6.4. MATERIAL VEGETAL.....	38
6.5. GERMINACIÓN DE SEMILLAS	39
6.6. DESARROLLO DE INJERTOS	39
6.7. TRASPLANTE Y DISEÑO EXPERIMENTAL.....	40
6.8. MANEJO AGRONÓMICO	41
6.9. ANÁLISIS DE LAS PLANTAS	42
6.10. ANÁLISIS DE LOS FRUTOS.....	43
6.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	46
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	47
7.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SUELOS	47
7.2. DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE JITOMATE	49
7.3. ANÁLISIS DE LOS FRUTOS.....	53
7.4. CALIDAD DE LOS FRUTOS EN LA NORMATIVIDAD MEXICANA (NMX-FF-031-1997-SCFI)	61
7.5. ANÁLISIS GENERAL DE CATIONES EN LOS SUELOS Y EL CULTIVO DE JITOMATE	63
VIII. CONCLUSIONES	70
IX. REFERENCIAS.....	71

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Indicadores químicos de suelos salinos y sódicos.....	15
Tabla 2. Valores aceptables para agua con calidad de riego.....	18
Tabla 3. Valores de los parámetros de aguas para riego con bajo riesgo a la salinidad del suelo.....	19
Tabla 4. Características del agua de la toma local: pH, CE, Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ , K ⁺ , CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ , SO ₄ ²⁻ y RAS.....	37
Tabla 5. Valores de pH, CE, CO ₃ ²⁻ , HCO ₃ ⁻ , Cl ⁻ y SO ₄ ²⁻ de los suelos previo y posteriores al experimento sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey (p ≤ 0.05).....	47
Tabla 6. Resultados de la medición de las variables de altura, grosor del tallo, materia seca, rendimiento y número de frutos en las plantas de los grupos del experimento sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey (p ≤ 0.05).....	49
Tabla 7. Resultados de la medición de las variables índice de redondez, peso, firmeza, sólidos solubles, humedad, pH, acidez titulable, número y peso de semillas, cenizas, proteínas, lípidos, licopeno y β-caroteno de los frutos de los grupos del experimento sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey (p ≤ 0.05).....	53
Tabla 8. Clasificación de los frutos del experimento según la NMX-FF-031-1997-SCFI.....	61
Tabla 9. Resultados de la cuantificación de los cationes solubles Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ y K ⁺ en los suelos del experimento sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey (p ≤ 0.05).....	64
Tabla 10. Resultados de la cuantificación de los cationes Ca ²⁺ , Mg ²⁺ , Na ⁺ y K ⁺ en la raíz del cultivo de jitomate, sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey (p ≤ 0.05).....	65

Tabla 11. Resultados de la cuantificación de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en el follaje del cultivo de jitomate, sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$)..... 66

Tabla 12. Resultados de la cuantificación de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ los frutos del cultivo de jitomate, sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$)..... 68

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. <i>Bacopa monnieri</i>	39
Figura 2. Injertos de <i>S. lycopersicum</i> en cámara de humedad.....	40
Figura 3. Plantas de <i>S. lycopersicum</i> cv. “Río Grande” en la sexta semana después de la germinación.....	40
Figura 4. Distribución de bloques completamente al azar de las unidades experimentales.....	41
Figura 5. Frutos cosechados.....	43
Figura 6. Fruto dañado por necrosis apical.....	62

RESUMEN

La Ciénega de Chapala del estado de Michoacán se enfrenta a una progresiva salinización del suelo como consecuencia del uso de agua con alto contenido salino en la producción agrícola. Los cultivos susceptibles, como el jitomate (*S. lycopersicum*), han manifestado reducciones considerables en sus rendimientos. La región precisa de una o varias soluciones sustentables que permitan la producción rentable mientras se aprovechan los recursos agua y suelo disponibles, por ejemplo, la halofitorremediación y el injerto sobre parientes silvestres de mayor tolerancia a la salinidad. El objetivo fue evaluar la halofitorremediación de la especie halófita *Bacopa monnieri* y un portainjerto silvestre, (*S. lycopersicum* var. *ceraciforme*), en el cultivo comercial de jitomate cv. "Río Grande". Para lograrlo, se diseñó un experimento de cuatro tratamientos, [[T1]]: cultivo de jitomate bajo riego no salino (0.7 dS/m); [[T2]]: cultivo de jitomate bajo riego salino (2 dS/m por NaCl); [[T3]]: *B. monnieri* como acompañamiento del cultivo de jitomate bajo riego salino; y [[T4]]: un injerto del cultivo de jitomate sobre un patrón de la forma silvestre de *S. lycopersicum* var. *ceraciforme*, bajo riego salino. Como variables respuesta se consideraron: tamaño y cantidad de planta, desarrollo, rendimiento, calidad del fruto e intercambio catiónico en raíz, hojas y fruto. Los resultados fueron sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$) en un programa RStudio versión 1.4 1103. El cultivo respondió a [[T3]] con un aumento en la materia seca, firmeza, acidez, cenizas, lípidos, β -caroteno, magnesio, potasio, semillas más pesadas y una disminución de la concentración de sodio en la zona radicular y aérea con respecto a [[T2]]. Por su parte, [[T4]] demostró aumentar el contenido de materia seca, sólidos solubles, cenizas, lípidos, β -caroteno, magnesio y potasio, también disminuyendo el contenido de sodio en la zona radicular y aérea. En conclusión, ambos tratamientos mejoraron al cultivo en condiciones de salinidad, sin embargo, se observó un mayor número de efectos positivos bajo la influencia de [[T3]].

Palabras clave: Jitomate, B. monnieri, injerto, halofitorremediación, irrigación salina.

ABSTRACT

The Cienega de Chapala in the state of Michoacan faces a progressive salinization of the soil as a consequence of the use of water with a high saline content in agricultural production. Susceptible crops, such as tomato (*S. lycopersicum*), have shown considerable reductions in their yields. The region requires one or more sustainable solutions that achieve profitable production while taking advantage of available water and soil resources, for example, halofitorremediation and grafting on wild relatives with greater tolerance to salinity. The objective was to evaluate the halofitorremediation of the halophyte species *Bacopa monnieri* and a wild rootstock, (*S. lycopersicum* var. *ceraciforme*), in the commercial cultivation of tomato cv. "Rio Grande". To achieve this, an experiment with four treatments was designed, [[T1]]: tomato cultivation under non-saline irrigation (0.7 dS / m); [[T2]]: tomato cultivation under saline irrigation (2 dS / m by NaCl); [[T3]]: *B. monnieri* as an accompaniment to tomato cultivation under saline irrigation; and [[T4]]: a graft of the tomato crop on a stock of the wild form of *S. lycopersicum* var. *ceraciform*, under saline irrigation. As response variables, the following were considered: plant size and quantity, development, yield, fruit quality and cation exchange in roots, leaves and fruit. The results were subjected to an analysis of variance and a Tukey test ($p \leq 0.05$) in a program RStudio version 1.4 1103. The culture responded to [[T3]] with an increase in dry matter, firmness, acidity, ash, lipids , β -carotene, magnesium, potassium, heavier seeds and a decrease in sodium concentrations in the root and aerial zone with respect to [[T2]]. On the other hand, [[T4]] showed to increase the content of dry matter, soluble solids, ash, lipids, β -carotene, magnesium and potassium, also decreasing the sodium content in the root and aerial zone. In conclusion, both treatments improved the culture under salinity conditions, however, a greater number of positive effects are applied under the influence of [[T3]].

Key words: Tomato, B. monnieri, graft, halofitorremediation, saline irrigation.

INTRODUCCIÓN

“El suelo es la capa superior de la corteza terrestre, formada por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos” (Aparicio *et al.*, 2015). El 90% de los alimentos de consumo y uso humano provienen de una porción de suelo que representa aproximadamente la tercera parte de la superficie terrestre del planeta (Burbano-Orjuela, 2016). Las temperaturas extremas, la escasez de agua de buena calidad, la urbanización desmesurada, el abuso de productos agroquímicos y la salinidad de los suelos, son algunas causas comunes del deterioro de los espacios destinados a la agricultura que impiden el óptimo desarrollo de los cultivos tradicionales (Leisner, 2020) poniendo en peligro la seguridad alimentaria de los 9 millones de habitantes que se esperan para el año 2050 (Burbano-Orjuela, 2016).

La salinización de los suelos es un problema progresivo y de magnitud mundial con cerca de 800 millones de hectáreas afectadas (Sharma *et al.*, 2016). Se han reportado numerosas técnicas y procedimientos convencionales para recuperar la productividad de los suelos afectados (Brutti *et al.*, 2018). Los más comunes son lavados y aplicación de mejoradores químicos que actúan como una medida de reducción y corrección, también se encuentran reportadas algunas alternativas complementarias que mejoran las propiedades del suelo como la mezcla con arenas, las enmiendas orgánicas, la labranza superficial y la preferencia hacia cultivos de elevado índice de evapotranspiración (Terrazas-Rueda, 2019).

El lavado es una técnica que se utiliza comúnmente para la habilitación de suelos salinos, actúa disolviendo las sales y arrastrándolas a otro lugar (García, 2009). Los correctores se emplean para suelos con problemas de sodicidad en los que por lo general se utiliza un agente de alto contenido en calcio como yeso, cal o calcio dihidratado para sustituir el ion sodio y posteriormente retirarlo con un lavado (García, 2012b). La aplicación de ácido sulfúrico es común para suelos con pH elevado (Lee-Rodríguez *et al.*, 1998), y la aplicación de materia orgánica y desechos animales mejora algunas propiedades como la porosidad (Brutti *et al.*, 2018). La habilitación de tierras afectadas es un proceso costoso que precisa de grandes cantidades de agua dulce y que además intenta controlar la elevación de la salinidad durante el desarrollo de cultivos sensibles.

La agricultura biosalina es un conjunto de técnicas que permiten aprovechar los suelos y aguas salinas para la producción de biomasa sin costos adicionales (Terrazas-Rueda, 2019) ya que busca emplear plantas tolerantes y con propiedades específicas para su

recuperación (Kumari *et al.*, 2015). Esta modalidad de producción nace en Eilat, un país cercano al mar rojo a mediados de siglo XX, en el que un ecologista conocido como Hugo Boyco comenzó a producir biomasa a partir de riego de alto contenido salino proveniente del océano y de extracciones subterráneas que presentaban esta condición. El fundamento de este tipo de producción rápidamente se extendió a países como México, India y China, en los que actualmente se utilizan sistemas de riego que aprovechan diluciones con aguas residuales (Terrazas-Rueda, 2019). En la investigación de Saddhe *et al.*, 2020, se encuentra documentada una lista de halófitas empleadas exitosamente para la desalinización como *Cakile maritime*, *Arthrocnemum macrostachyum*, *Atriplex nummularia*, *Echinochloa stagnina*, *Salsola soda*, *Portulaca oleracea*, *Schoenoplectus tabernaemontani*, *Sulla carnosa* y *Bacopa monnieri*, una planta empleada exitosamente en la recuperación de suelos salinos que ha demostrado mejorar el rendimiento de cultivos susceptibles cuando se utiliza como acompañante; por ejemplo, cebolla (*Allium cepa*) y maíz (*Zea mays*) (Lastiri-Hernández *et al.*, 2019; Lastiri-Hernández *et al.*, 2021).

Entre otras medidas empleadas para aprovechar los recursos afectados por la salinidad se encuentra el injerto sobre variedades de mayor resistencia. Partiendo del hecho de que la mayoría de las variedades comerciales de jitomate (*S. lycopersicum*) presentan una moderada sensibilidad a la salinidad del medio durante todas las etapas, se ha pretendido implementar estrategias de fitomejoramiento sin éxito debido a la complejidad de los rasgos de tolerancia de la especie, por lo que se ha recurrido a técnicas más sencillas como el injerto sobre variedades más resistentes. Esta modalidad, en jitomate, comenzó en algunos puntos de Asia, Europa y América del Norte en los años 60; sin embargo, su popularidad estalló en países desarrollados después de la primera década del siglo XXI con la prohibición de bromuro de metilo, fumigante altamente tóxico que se vuelve innecesario si el cultivo es injertado sobre una variedad resistente a plagas (Singh *et al.*, 2020). Autores como Alfocea *et al.*, 1993, He *et al.*, 2009, Santa-Cruz *et al.*, 2002, Fernández-García *et al.*, 2004 y Velasco-Alvarado *et al.*, 2016, han trabajado en la documentación de esta técnica frente a condiciones de salinidad concluyendo que su eficacia depende de la afinidad patrón-injerto y el vigor que aporta la variedad resistente. Los países que emplean esta estrategia en mayor medida son Holanda, Francia y Japón, con un 75, 50 y 40 % del total de plantas injertadas (Singh *et al.*, 2020).

En este trabajo se pretende evaluar dos propuestas para la producción del cultivo de jitomate bajo condiciones de salinidad aprovechando la tolerancia de dos especies

vegetales de fácil acceso: *Bacopa monnieri* y la forma silvestre de *S. lycopersicum* var. *ceraciforme*, un pariente cercano del cultivo de jitomate con resistencia a la salinidad y recomendado ampliamente como portainjerto (Olmedo-López *et al.*, 2019).

I. MARCO TEÓRICO

1.1. LA SALINIDAD DEL SUELO

“El suelo es la capa superior de la corteza terrestre, formada por partículas minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos” (Aparicio *et al.*, 2015), presta diversos servicios ecosistémicos a los seres vivos y la mayor parte de su extensión se encuentra destinada a la producción de biomasa alimentaria (Burbano-Orjuela, 2016).

La salinización del suelo es un proceso de acumulación de sales en la capa arable que alteran sus propiedades físicas, químicas, biológicas (Pastor-Mogollón *et al.*, 2016) y comprometen su fertilidad (Mishra y Tanna, 2017); las más comunes suelen ser cloruros, sulfatos de calcio, sodio y magnesio (Lamz-Piedra y González-Cepero, 2013). Se estima que en México existen cerca de un millón de hectáreas afectadas (Serrato *et al.*, 2002) y un total de 800 millones en todo el planeta (Sharma *et al.*, 2016).

Los suelos pueden ser clasificados como salinos si la conductividad eléctrica en su extracto de saturación es mayor a 4 dS/m (Almeida y Serralheiro, 2017), y sódicos si su porcentaje de sodio intercambiable (PSI) es mayor del 15 %. Terrazas-Rueda (2019) explica que puede existir una acumulación de compuestos; por ejemplo, de calcio y magnesio, sin producir una alcalinización. Por otro lado, la acumulación de sodio si se ve reflejada como un aumento en el pH, como resultado del desplazamiento de otros iones en la fase intercambiable, formando carbonatos y bicarbonatos (Lamz-Piedra y González-Cepero, 2013). Aquellos suelos con mayor afectación son conocidos como álcali-negros, presentan valores de pH superior a 9 y es posible visualizar la presencia de materia orgánica en la superficie (Brutti *et al.*, 2018). La información de la Tabla 1 permite comprender mejor la clasificación de suelos salinos y sódicos en base a sus indicadores químicos.

Tabla 1. Indicadores químicos de suelos salinos y sódicos.

CLASIFICACIÓN	PH	CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA dS/m	PSI %
Salinos	< 8.5	> 4	< 15
Sódicos	> 8.5	< 4	> 15

Datos recuperados de Terrazas-Rueda, 2019.

Las causas por las que un suelo presenta alto contenido en sales son diversas y se pueden clasificar en primarias y secundarias. En el primer caso, el origen suele ser de una fuente natural y está relacionada con factores como ubicación geográfica, cercanía de litorales marinos (Lamz-Piedra y González-Cepero, 2013) y mantos freáticos salinos que alimentan al suelo por capilaridad (Brutti *et al.*, 2018). Por otro lado, la salinidad secundaria es desencadenada por las diversas actividades humanas especialmente relacionada con malas prácticas agrícolas como la aplicación excesiva de productos químicos, riego agrícola salino y deficientes sistemas de drenado (Lamz-Piedra y González-Cepero, 2013).

1.1.1. EFECTOS DE LA SALINIDAD DEL SUELO EN LAS PLANTAS

Las plantas son sensibles a las condiciones de salinidad por dos motivos; el primero, es que las propiedades fisicoquímicas del suelo se ven deterioradas; el segundo, que la presencia de iones reduce la disponibilidad de agua y provoca un desequilibrio osmótico y riesgo de intoxicación. La presencia de iones como sodio o cloruro cerca de la raíz pueden intervenir en la absorción de elementos esenciales como calcio, magnesio y potasio llevando a la planta a un déficit nutritivo; además, la acumulación de sales en el sistema inactiva enzimas, inhibe la síntesis de proteínas y dificulta la fotosíntesis (Machado y Serralheiro, 2017).

La intoxicación más común en las plantas es producida por la presencia excesiva de cloruro, elemento necesario para el desarrollo, pero que puede provocar efectos negativos si se encuentra en una cantidad mayor a 0.5 meq/L, por ejemplo, necrosis, secamiento, pérdida de hojas y reducción de la actividad estomática. En el caso del sodio, la sensibilidad varía dependiendo de la especie vegetal de la que se trate, algunos signos comunes de intoxicación son quemazones, encrespamiento de las hojas y muerte celular (Terrazas-Rueda, 2019).

Los primeros indicios de que la planta se encuentra sometida a estrés hídrico por salinidad son similares a los de marchitamiento, haciéndose evidente la pérdida de turgencia y una considerable reducción de los órganos; síntomas más severos llevan a la planta a sufrir clorosis e inclusive a la muerte celular masiva (Machado y Serralheiro, 2017). Las hortalizas,

en general, presentan un límite de tolerancia de hasta 2 dS/m, este valor depende de otros factores como etapa de crecimiento en que se encuentra la planta, clima, tipo de sal, temperatura, características del suelo y prácticas culturales (Machado y Serralheiro, 2017).

1.1.2. EFECTOS POSITIVOS DE LA SALINIDAD EN LAS HORTALIZAS

En algunos casos, cuando el excedente de sales en el suelo es mínimo, el estrés moderado puede provocar efectos positivos en la calidad de los frutos como aumento de materia seca, sólidos solubles, carotenoides, fenoles, actividad antioxidante y ácidos orgánicos. Estos efectos han sido observados en jitomate, brócoli, lechuga y espinacas, en las que inclusive se reportó una considerable disminución en el contenido de nitratos (Machado y Serralheiro, 2017).

1.1.3. EL PAPEL DEL AGUA DE RIEGO EN LA SALINIDAD DEL SUELO

La agricultura de riego es una actividad indispensable que permite el abastecimiento de alimentos, sobre todo, en zonas áridas y semiáridas en las que las precipitaciones suelen estar ausentes durante gran parte del año. La calidad del agua de riego debe permitir la obtención de buenos rendimientos y la conservación de las propiedades del suelo a largo plazo (Bonet-Pérez y Ricardo-Calzadilla, 2011).

La salinidad es una de las principales variables a la hora de evaluar una fuente de agua para riego, es expresada en unidades de conductividad eléctrica CE ($\mu\text{S}/\text{m}$ o sus múltiplos) recordando que esta mantiene una relación directa con la concentración iónica (Castellón-Gómez *et al.*, 2015). Los cationes más comunes en el agua de riego son calcio Ca^{2+} , magnesio Mg^{2+} , sodio Na^+ y potasio K^+ , mientras que los aniones son carbonatos CO_3^{2-} , bicarbonatos HCO_3^- , cloruros Cl^- y sulfatos SO_4^{2-} (García, 2012a).

Los sólidos totales disueltos STD son una variable útil para estimar la CE del agua de riego en caso de no ser posible emplear un aparato medidor. El pH no es generalmente un indicador tan importante para la evaluación pero se recomienda realizar un análisis detallado de la composición del agua si este presenta un valor fuera de los límites recomendados (García, 2012a).

La Relación de Adsorción de Sodio (RAS) indica la cantidad de sodio presente con respecto a la presencia de los iones calcio y magnesio. Resulta de suma utilidad para estimar el

riesgo a la sodificación, se calcula de la siguiente manera (Tartabull-Puñales y Betancourt-Aguilarm, 2016):

$$RAS = \frac{[Na^{1+}]}{\sqrt{\frac{[Ca^{2+}][Mg^{2+}]}{2}}}$$

La composición química del agua determina su calidad e indica si representa un riesgo bajo, medio o alto para el suelo en caso de ser empleada para el riego. Debido a la escasez del recurso hídrico de buena calidad, se permite emplear agua de riego de riesgo medio, estos límites pueden observarse en la Tabla 2 (Tartabull-Puñales y Betancourt-Aguilarm, 2016).

Tabla 2. Valores aceptables para agua con calidad de riego.

PARÁMETRO	VALOR
CE (dS/m)	< 3
STD (mg/L)	< 2000
Calcio (cmol/L)	< 20
Magnesio (cmol/L)	< 5
Sodio (cmol/L)	< 40
Potasio (cmol/L)	< 0.2
Carbonatos (cmol/L)	< 0.1
Bicarbonatos (cmol/L)	< 10
Cloruros (cmol/L)	< 30
Sulfatos (cmol/L)	< 20
RAS	< 15
PH	6 - 8.5

Datos recuperados de García, 2012a.

Aunque es aceptable el empleo de agua de riesgo medio lo más recomendable es emplear aquella de excelente calidad (Tartabull-Puñales y Betancourt-Aguilarm, 2016). En la Tabla 3 se muestran los valores límite de las variables más importantes para la clasificación de aguas de riego.

Tabla 3. Valores de los parámetros de aguas para riego con bajo riesgo a la salinidad del suelo.

PARÁMETRO	VALOR
CE (dS/m)	< 0.7
STD (mg/L)	< 450
RAS	< 3
Cloruros (cmol/L)	< 4
Bicarbonatos (cmol/L)	< 1.5

Datos recuperados de García, 2012a.

1.2. AGRICULTURA BIOSALINA

La agricultura tradicional se enfrenta a una importante limitante que es la escasez de espacios y recursos aptos para la producción de biomasa, por tal motivo, la tecnología se ha orientado a emplear nuevas estrategias de producción (Terrazas-Rueda, 2019). La agricultura biosalina o halofitorremediación (Lastiri-Hernández *et al.*, 2021) es definida como "Prácticas agrícolas rentables y mejoradas utilizando tierras salinas y agua de riego salina, con el propósito de lograr una mejor producción a través de un uso sostenible e integrado de los recursos genéticos (plantas, animales, peces, insectos, y microorganismos) evitando costosas medidas de recuperación del suelo", o también como, "Una estrategia innovadora para mejorar la disponibilidad de tierra y agua, es el uso de suelos salinos y agua salada, en una estrategia denominada agricultura salina" (Nikalije *et al.*, 2018). Las prácticas de esta nueva corriente permiten lograr tres principales objetivos: a) La incorporación activa de suelos degradados, zonas áridas y costeras al sistema de producción de biomasa; b) El uso de aguas residuales y marina para el riego agrícola como en India, México y China; c) El aislamiento de productos de valor agregado (Nikalije *et al.*, 2018).

La agricultura biosalina aprovecha todas las vías y recursos posibles con el fin de aumentar los rendimientos en zonas limitadas por la salinidad. La incorporación de genes de resistencia, la domesticación de halófitas y la inclusión de parientes silvestres tolerantes, son también algunas de sus directrices en vías de desarrollo (Terrazas-Rueda, 2019).

1.3. HALÓFITAS

El término halófito surgió hace más de dos siglos (Orrego *et al.*, 2018). Su definición incluye a todas aquellas plantas capaces de subsistir en cantidades mayores a 200 mmol de NaCl (Yuang *et al.*, 2019). Durante años de evolución, las plantas halófitas han adaptado su morfología, fisiología y anatomía para proliferar en la hostilidad de este tipo de entornos (Mishra y Tanna, 2017); casi todas son angiospermas, y se encuentran distribuidas en regiones costeras, suelos pantanosos, manglares, estuarios y regiones áridas de suelos salinos. Se estima que existen unas 2 mil o 3 mil especies y que representan menos del 2 % del total de las plantas del planeta (Sharma *et al.*, 2016).

Este grupo se clasifica de acuerdo al nivel de halofitismo ya que pueden mostrar tolerancia o resistencia a la sal. Las facultativas tienen la capacidad de subsistir en condiciones no salinas, aunque su desarrollo es óptimo frente a salinidad; las indiferentes muestran cierto nivel de tolerancia, aunque prefieren situaciones alejadas de la salinidad y las obligadas no pueden cumplir su ciclo en sustratos de bajo contenido salino (Mishra y Tanna, 2017). Las halófitas extremas se encuentran dentro de la clasificación de las obligadas y se caracterizan por desarrollarse en suelos de concentraciones superiores a 500 mmol de NaCl (Redondo-Gómez *et al.*, 2006).

1.3.1. MECANISMOS UTILIZADOS POR LAS HALÓFITAS PARA SOBREVIVIR EN AMBIENTES SALOBRES

Otro sistema de clasificación de halófitas se basa en los mecanismos que emplean para la evasión de los efectos de la salinidad en sus organismos, formando parte del grupo de euhalófitas, recreohalófitas o pseudohalófitas (Yuang *et al.*, 2019).

Euhalo fitas. Las moléculas de sal son secuestradas mediante transportadores celulares y aisladas en las vacuolas, con el fin de mantener una cierta proporción en la relación sodio-potasio dentro del citosol, las hojas viejas con exceso de sales almacenadas son desprendidas de la planta (Mishra y Tanna, 2017).

Recreohalo fitas. Poseen glándulas o vellosidades que les permiten excretar en forma líquida el exceso de sales, una vez que se secan estos pueden verse como brillantes cristales en su superficie (Mishra y Tanna, 2017).

Pseudohalo fitas. Absorben agua del suelo excluyendo el contenido de sal, se les llama así porque no poseen un mecanismo interno para su control (Yuang *et al.*, 2019).

Otros tipos de mecanismos incluyen la síntesis de solutos compatibles con la planta, a partir de los compuestos tóxicos y el cambio de vía fotosintética para la producción de energía (Bueno y Cordovilla, 2019).

1.3.2. USOS DE LAS HALÓFITAS

Las halófitas son plantas con potencial para proveer al ser humano de diversos servicios. A continuación, se enlistan algunos ejemplos:

Como fuente de alimento: Éstas, a pesar de que lo más habitual es que se utilicen para la alimentación de ganado, con la debida vigilancia en su contenido de sodio y metales pesados, algunas especies son empleadas para el consumo humano; un ejemplo, *Sarcocornia perennis* subsp. *perennis* (Amaranthaceae), *S. perennis* subsp. *alpini* (Amaranthaceae), “hierva salada” *Salicornia ramosissima* (Amaranthaceae) y “alacranera” *Arthrocnemum macrostachyum* (Amaranthaceae), cuyas propiedades morfológicas, organolépticas y nutricionales les permiten ocupar un lugar en la cocina gourmet (Barreira *et al.*, 2017).

Fuentes con propiedades medicinales: Algunas poseen compuestos metabólicos como taninos, flavonoides, saponinas, esteroides y alcaloides que tienen efectos benéficos en el organismo del ser humano. “Matomoro” *Suaeda vermiculata* (Amaranthaceae) es una especie con propiedades antiinflamatorias y actividad antimicrobiana frente a cepas de *Candida albicans* y *Klebsiella pneumoniae*, aisladas de orina humana (Al-Omar *et al.*, 2020). *Bacopa monnieri*, por otro lado, se encuentra relacionada con el mejoramiento de la memoria y la actividad cerebral (Chaudhari *et al.*, 2017).

Fuentes energéticas alternativas: Especialmente las pseudo halófitas, representan una alternativa ecológica potencial frente al uso de los combustibles fósiles y biocombustibles de procedencia vegetal, que precisen de agua dulce en alguna parte del proceso; se han explorado con este fin los géneros *Salicornia*, *Suaeda* y *Atriplex* de la familia Amaranthaceae (Sharma *et al.*, 2016).

Biorremediación: Han sido empleadas para la extracción de sales de suelos afectados por la salinidad, como en el caso de “hierva de cristal de semilla negra” *Tecticornia pergranulata* (Amaranthaceae), “arbusto de escasas espinas largas” *Sclerolaena longicuspidata* (Amaranthaceae) y “hogar de mar erizado” *Frankenia serpyllifolia* (Frankeniaceae) (Shaygan *et al.*, 2017). Por otro lado, Nikalje y Suprasana (2018) mencionan que probablemente sean

los mismos mecanismos de defensa los que funcionan con metales tóxicos como plomo, cadmio, cromo, cobre, manganeso, mercurio y arsénico, ya que se ha reportado esta capacidad bioacumuladora en numerosos casos como en el de “mostaza parda” *Brassica juncea* (Brassicaceae), para arsénico.

1.3.3. LAS HALÓFITAS EN LA AGRICULTURA BIOSALINA

Uno de los pilares fundamentales en los que se apoya la agricultura salina es el empleo de organismos extremófilos, por ejemplo las halófitas, que pueden ser aprovechadas en básicamente tres procesos: el mejoramiento genético de cultivos no tolerantes mediante la sobreexpresión de genes identificados en halófitas, en la desalinización directa de cultivos y suelos contaminados; y por último, como cultivos protagonistas para su consumo o disposición con fines distintos del sector alimentario. Para que el empleo de plantas tolerantes en la agricultura biosalina resulte una estrategia oportuna, se requiere de una selección acertada de especies compatibles en cuanto a los requerimientos nutricionales, el nivel de tolerancia a la sal y la rapidez de crecimiento (Nikalije *et al.*, 2018).

Otro hallazgo con frutos prometedores relacionado con estas plantas, son los microorganismos asociados al sistema radicular que promueven la tolerancia de concentraciones salinas de hasta el 30 %, lo que puede ser la clave para entender el proceso de adaptación, además de ser candidatos para su aplicación como mejoradores de la fertilidad del suelo (Nikalije *et al.*, 2018).

1.4. BIORREMEDIACIÓN

La biorremediación consiste en el empleo de seres vivos y algunos de sus productos, como enzimas o ácidos, para remover o transformar en compuestos menos perjudiciales el contaminante de un medio. Su principio se descubrió al observar que algunos microorganismos podían utilizar como fuente de alimento los derrames de la industria petroquímica (Garzón *et al.*, 2017). Es aplicable a medios tanto sólidos, líquidos, gaseosos y representa una solución sustentable de bajo costo y alta efectividad que puede ser desarrollada *in situ*. Entre los organismos vivos más utilizados se encuentran plantas, hongos y bacterias (Garzón *et al.*, 2017).

1.4.1. FITORREMEDIACIÓN

La fitorremediación es un proceso en el que se ven implicadas las plantas y los microorganismos asociados a ellas para la recuperación de un medio contaminado (Covarrubias y Cabriales, 2017). Entre los mecanismos más conocidos expuestos por Delgadillo-López *et al.*, 2011 se encuentran los siguientes:

Fitoextracción: Es la extracción del contaminante del medio y su acumulación en la parte aérea de la planta.

Fitoestabilización: Es la inmovilización del contaminante cerca de la rizosfera evitando su disipación.

Fitovolatilización. Los contaminantes son absorbidos por las raíces de las plantas y volatilizados por la parte aérea.

Rizofiltración. Es la extracción del contaminante y su acumulación en las raíces de la planta sin incorporarse a la parte aérea.

Fitodegradación. Las plantas pueden convertir los contaminantes en su fuente de alimento, para finalmente reducirlos a compuestos simples como agua y dióxido de carbono.

1.4.2. FITODESALINIZACIÓN

La fitodesalinización es el empleo de plantas halófitas con el fin de extraer el sodio de un medio contaminado, traslocándolo a partes aéreas y cosechables de fácil remoción. Esta es una técnica aplicada al suelo, donde las especies empleadas pueden brindar otro tipo de servicios, además del ya mencionado: regular la escorrentía del agua, ofrecer alimento a insectos plaga y polinizadores (Lastiri-Hernández *et al.*, 2019), además de reducir la evaporación y el transporte de sodio de los mantos freáticos hacia la superficie (Brutti *et al.*, 2018). Las especies endémicas han demostrado tener mayores probabilidades de éxito especialmente si la técnica es llevada a cabo *in situ* (Covarrubias y Cabriales, 2017).

1.4.3. *Bacopa monnieri* (L.) Wettst

Bacopa monnieri (L.) Wettst, también conocida como “brahmi” o “isopo de agua” (Chaudhari *et al.*, 2017), es una planta acuática de entre 15 y 90 cm de altura (Escandón *et al.*, 2006). Pertenece a la familia Scrophulariaceae y está distribuida en suelos húmedos, con altitudes próximas a los 1500 msnm en Asia, América, África y Australia (Chaudhari *et al.*, 2017). Su

existencia y empleo en India como planta medicinal se ha evidenciado mediante escrituras que datan del año 5000 A. de C. (Kumar, *et al.*, 2016).

La respuesta de *B. monnieri* frente a condiciones de salinidad es bastante buena convirtiéndola en una halófito. Algunos autores afirman que esta capacidad se debe a una compleja asociación con bacterias rizosféricas que actúan como agentes promotores del crecimiento y que son el resultado de muchos años de evolución (Bharti *et al.*, 2013). Otros autores explican que se debe también a la existencia de un compuesto intracelular conocido como acuaporina, que interviene en la compartimentación hídrica facilitando el control del equilibrio osmótico en situaciones de estrés por salinidad (Lastiri-Hernández *et al.*, 2019).

Es bien sabido que una gran variedad de plantas acuáticas posee potenciales acumuladores de metales pesados en sus estructuras. *Bacopa monnieri* ha demostrado ser una estrategia eficaz en la bioacumulación de arsénico, cadmio, cromo, cobre, mercurio, manganeso, níquel y plomo en distintas ocasiones (Saddhe *et al.*, 2020). Recientemente se ha reportado su empleo como parte del manejo agronómico, para la remediación de suelos salinos en donde demostró bioacumulación de cationes como sodio, calcio, magnesio y mejoró el sistema de infiltración (Lastiri-Hernández *et al.*, 2019).

1.5. EL JITOMATE (*Solanum lycopersicum* (L.))

El jitomate, *Solanum lycopersicum* (L.), es una planta dicotiledónea y perenne con tallo de entre 2 y 4 cm de diámetro. Sus hojas son pinadas y posee flores pequeñas, con cinco pétalos de color amarillo perfectamente anguladas; los frutos son globosos, de color rojo, amarillo, verde o morado que pueden llegar a pesar hasta 600 g (López, 2017).

El jitomate es considerada una de las hortalizas de mayor importancia a nivel mundial (Álvarez-Hernández, 2012) con una producción global de 124 millones de toneladas en 2004 (Labate *et al.*, 2007). En México, se posiciona como aquella de mayor valor en producción y segunda en cuanto a superficie, con un total de 52 mil ha (Gaytán-Ruelas *et al.*, 2016). A nivel mundial, México es el principal exportador de jitomate, con una aportación en 2015 del 53.3 % de su producción, que corresponde a 1.43 millones de toneladas y un valor de 1 666 millones de dólares (Arias-Mota *et al.*, 2019).

El jitomate representa un ícono en la alimentación saludable gracias a su relación calorías-nutrientes; entre los más conocidos, se encuentra la fibra, proteínas, vitaminas (A, C, E) y potasio (Mendoza-Pérez *et al.*, 2018). En los últimos años se ha vuelto muy popular su

consumo como alimento funcional, pues se le atribuyen actividades antioxidantes y antihipertensivas a ciertos compuestos como carotenoides, licopeno y polifenoles (Figuroa-Cares *et al.*, 2018).

El jitomate presenta una tolerancia mediana a las condiciones de salinidad. García (2012a) manifiesta que los daños de la salinidad en el cultivo comienzan a ser evidentes a partir de una conductividad eléctrica superior a los 2.5 dS/m en suelo, reduciendo el rendimiento en un 25 % a 5 dS/m y obteniendo nula fructificación a 13 dS/m; este mismo autor, recomienda además, utilizar una fuente de riego con una CE menor a 1.7 dS/m para este cultivo en específico.

1.5.1. VARIABLES DE IMPORTANCIA

Para el consumidor del fruto fresco, según autores como Mendoza-Pérez *et al.*, 2018, la calidad se encuentra evaluada principalmente por la apariencia que brinda el color y la firmeza, pues permiten estimar el grado de madurez y la vida de anaquel.

Por otro lado, el CUC-BA Universidad de Guadalajara, evalúa variables como peso del fruto, longitud de los diámetros ecuatorial y polar, sólidos solubles, pH, ácido cítrico, grasa, cenizas, fibra cruda, humedad, hemicelulosa, extracto libre de nitrógeno, fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, calcio, fósforo y proteína cruda en la semilla como contribución para el Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos (SINAREFI) (Lobato-Ortiz *et al.*, 2012).

1.5.2. EL INJERTO Y EL CULTIVO DE JITOMATE

El injerto es la unión de dos fragmentos de plantas con el fin de formar una unidad funcional mediante una conexión vascular. Consta de la superposición de un brote llamado injerto o vástago en un tallo o raíz denominado patrón (Milenkovic *et al.*, 2018). Es una técnica que a partir de la década de 1960 ha ganado popularidad con su aplicación en solanáceas como chile, berenjena, tomate; y cucurbitáceas como, melón, sandía, y pepino (Ozores-Hampton *et al.*, 2014), en las que ha demostrado aumentar la resistencia a patógenos específicos del suelo, a factores como la hostilidad del clima y salinidad del suelo, mejorar la absorción de humedad y nutrientes, incrementar los rendimientos y la calidad de los productos, mejorar la adaptabilidad de las plantas al entorno y aprovechar de una manera más eficiente la

fertilización (Velasco-Alvarado *et al.*, 2019; Kubota *et al.*, 2008; Velasco-Alvarado *et al.*, 2016).

Los injertos del cultivo de jitomate usualmente se tratan de una variedad comercial sobre un patrón de mayor resistencia. Aunque en la mayoría de casos se contempla un pariente silvestre, también es posible emplear otra especie compatible como por ejemplo, tabaco, berenjena y papa (Grieneisen *et al.*, 2018). La genética del patrón aporta al cultivo ventajas como un mayor vigor en la absorción de agua, nutrientes y un elevado suministro de hormonas vegetales endógenas producidas en las raíces. Todo esto favorece de manera significativa el rendimiento de las plantas en comparación con aquellas no injertadas. Sin embargo, también se reporta que algunas características de los frutos como forma, color, firmeza, y cantidad de sólidos solubles se ven modificadas (Grieneisen *et al.*, 2018; Lee, 1994).

La selección del patrón depende de distintos factores como la temporada de crecimiento, el método de cultivo, la variedad comercial y la calidad del suelo (Lee, 1994), tomando en cuenta que estos en conjunto del clima y la radiación determinan la productividad y calidad del fruto (Milenkovic *et al.*, 2018). La tolerancia a la salinidad por parte del patrón cambia también con la variedad, aun así, existe la suficiente información que confirma la posibilidad de mejorar la tolerancia a la salinidad por parte de un cultivo comercial sobre un patrón de la misma especie; inclusive se informa de un pariente silvestre capaz de soportar riego con una tercera parte de agua de mar en las islas Galápagos (Sanjuan-Lara *et al.*, 2015).

1.5.3. EL INJERTO DE JITOMATE COMERCIAL SOBRE TINGUARAQUE

La forma silvestre del jitomate cultivado es *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*, conocido en la región centro-occidente de México como “tinguaraque”. Se caracteriza por tener frutos agridulces (Estrada-Trejo *et al.*, 2014) esféricos de entre 4 y 5 g (Figuroa-Cares *et al.*, 2018) y se encuentra ampliamente distribuido en el territorio mexicano (Estrada-Trejo *et al.*, 2014). Al igual que la mayor parte de parientes silvestres destacan por su mayor contenido de sólidos solubles, licopeno y vitamina C respecto a los cultivos comerciales (Figuroa-Cares *et al.*, 2018).

Se encuentra en zonas con altitudes de hasta 2400 m en casi todas las partes del mundo, y aunque prefiere regiones húmedas no se encuentra ausente en condiciones de sequía. Su adaptación a la salinidad y al estrés hídrico ha sido evaluada por varios autores como

Martínez-Cuenca *et al.*, 2020, quienes observaron pocas diferencias en los parámetros fisiológicos entre plantas estresadas y no estresadas.

Su establecimiento en zonas remotas, urbanas y suelos con deficiencia de nutrientes lo han convertido en un blanco de interés para su aprovechamiento genético. Sin embargo, no se han reportado como exitosos en los intentos por combinar su germoplasma con variedades comerciales, por lo que ha sido recomendada su utilización a manera de patrón de injerto (Olmedo-López *et al.*, 2019) distinguiéndose de otras variedades por su bajo costo y accesibilidad en el territorio nacional (Cortez-Madrigal, 2010).

1.6. LA CIÉNEGA DE CHAPALA DEL ESTADO DE MICHOACÁN (CCM) Y SU PRODUCTIVIDAD AGRÍCOLA

En la zona hidrológica mexicana Río Lerma-Chapala se encuentra ubicado el Lago de Chapala, entre los estados de Michoacán y Jalisco. En el año 1904 con la construcción del muro de Maltaraña se lograron desecar 560 km², dando lugar a lo que hoy se conoce como región Ciénega de Chapala, con una extensión aproximada de 80 mil hectáreas (Sandoval-Moreno y Ochoa-Ocaña, 2010). La región Ciénega de Chapala del estado de Michoacán (CCM), está conformada por los municipios de Cojumatlán de Régules, Venustiano Carranza, Briseñas, Jiquilpan, Sahuayo, Villamar, Marcos Castellanos y Vistahermosa (Aguilar-Ortega, 2018).

En la CCM existen cerca de 47 mil hectáreas de superficie sembrada (CONAGUA, 2005). Aunque la producción de hortalizas se ha visto en aumento, la mayor parte de esta extensión aún se encuentra destinada a la de granos. En 2012, el municipio de Villamar era el que presentaba mayor superficie de siembra con casi 12 mil hectáreas, seguido de Pajacuarán con cerca de 6 mil, y Briseñas con aproximadamente 5 mil (Sandoval-Moreno y Paleta-Pérez, 2013).

En el año 2016, la Secretaría de Desarrollo Rural y Agroalimentario (SEDRUA) reportó que Michoacán es el segundo estado de la República Mexicana con mayor producción de jitomate, aportando más de 123 mil toneladas anuales como resultado de 52 municipios y 7 mil hectáreas de cultivo, con un rendimiento promedio de 32 toneladas; además, declaró que Villamar es el segundo municipio participando con una producción de 19 mil toneladas anuales. Por otro lado, los municipios de Venustiano Carranza, Pajacuarán y Jiquilpan

también son importantes productores, con aportaciones de entre 6 y 8 mil toneladas anuales (SEDRUA, 2016).

1.6.1. SITUACIÓN HIDROLÓGICA

La principal actividad económica de la CCM después de la desecación ha sido la agrícola, aunque también se distinguen la ganadera y pesquera en menor medida. La disponibilidad de tierras y de agua superficial dieron lugar al Distrito de Riego 024 Ciénega de Chapala, mismo que abastece a nueve municipios michoacanos, estos son Villamar, Jiquilpan, Sahuayo, Venustiano Carranza, Briseñas, Pajacuarán, Vista Hermosa, Ixtlán y Tingüindín (Sandoval-Moreno y Ochoa-Ocaña, 2010). El recurso se provee a partir del agua superficial suministrada por los ríos Lerma y Duero, el lago de Chapala y las presas Tarecuato, Guaracha y Jaripo (Sandoval-Moreno y Paleta-Pérez, 2013).

En los años 90 comenzó a disminuir la cantidad de agua de reposición a los puntos de acopio, debido a las sequías y la sobreexplotación. La cantidad de agua superficial se volvió insuficiente para cubrir la demanda de la región de forma sostenible y se recurrió entonces a la extracción de agua de pozos. Para el año 2006, el 19 % de la demanda total destinada al riego agrícola se completaba con la extracción de 23 mil m³ provenientes de 565 perforaciones (Silva-García *et al.*, 2006).

La calidad del agua de las perforaciones de la CCM varía dependiendo de su ubicación y su nivel de salinidad, se ha relacionado con la clase litológica de cada sitio. El recurso hídrico extraído de zonas de roca volcánica presenta valores de CE menores a 1 dS/m. Sin embargo, aquellas que explotan zonas lacustres llegan a tener cifras de hasta 4.5 dS/m. Estas aguas por su clasificación hidroquímica, son consideradas como bicarbonatadas-sódicas y presentan valores de RAS de entre 1 y 15, por lo que representan un nivel medio de salinización y sodificación para los suelos (Silva-García *et al.*, 2006).

Debido a la escasez de recurso hídrico para riego y sobre todo en temporada de sequía, el agua acaparada en las presas durante época de lluvia, las aguas residuales municipales y los drenes agrícolas se vuelven también una fuente de este recurso (Álvarez-Bernal *et al.*, 2013).

En 2013, un total de casi 2 mil m³ de agua empleada para el riego provenía de desagües, cuyos valores promedio de CE y pH eran de 1.19 dS/m y 8.14 respectivamente (Álvarez-Bernal *et al.*, 2013).

1.6.2. LOS SUELOS DE LA CCM

En la región se reportan suelos principalmente de tipo Vertisol pélico y Vertisol crómico con clase fina en ambos casos (Silva-García *et al.*, 2006). La escasez de agua de riego de buena calidad, la sobreexplotación de agua subterránea y las periódicas inundaciones que se presentan en campos de cultivo, son problemáticas propias de la región que promueven la acumulación de sales (Chávez-Alcantar *et al.*, 2011).

Aunque los suelos de la CCM no se encuentran afectados en su totalidad por problemáticas de salinidad, en algunos sitios se reporta como progresiva y coincide con la aparición de nuevas extracciones subterráneas. El 55 % del total de su extensión se encuentra catalogada entre ligeramente salina y moderadamente salina, según valores de la norma NOM-021- RECNAT-2000 (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2000), pero, también se reportan zonas con mayor afectación como Los Negritos Villamar con 45 dS/m de CE, y en el ejido La Magdalena, con un aumento registrado de 1.9 dS/m a 5 dS/m entre los años 1990 y 2006 (Silva-García *et al.*, 2006).

II. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La salinización del suelo es un problema que afecta cerca de un millón de hectáreas en México (Serrato *et al.*, 2002) y 800 millones en el mundo (Sharma *et al.*, 2016). La presencia excesiva de sales, con mayor frecuencia de cloruros, sulfatos de calcio, sodio y magnesio (Lamz-Piedra y González-Cepero, 2013), altera las propiedades fisicoquímicas del suelo (Pastor-Mogollón *et al.*, 2016), disminuye la disponibilidad de nutrientes para las plantas y promueve la intoxicación. La presencia de estos iones puede colocar a la planta en un déficit nutritivo, promover la inactivación de enzimas y dificultar el proceso de fotosíntesis (Machado y Serralheiro, 2017).

En la CCM el agua superficial disponible se muestra insuficiente para sostener la demanda de un total de 47 mil hectáreas de siembra. Los productores han pretendido sobrellevar la escasez mediante la incorporación del recurso a partir de otro tipo de fuentes como extracciones subterráneas, aguas residuales y drenes agrícolas (Álvarez-Bernal *et al.*, 2013). La calidad del agua proveniente de fuentes distintas a la superficial es variable y en su mayoría, el contenido de sales supone una amenaza de nivel medio para la salinización del suelo. Como resultado, se ha reportado que el 55 % de la superficie de la región se encuentra catalogada entre ligeramente salina y moderadamente salina. Esta condición se vuelve progresiva tanto en incidencia como en severidad, manifestándose directamente como una baja en la tasa de rentabilidad de cultivos susceptibles y medianamente susceptibles como el jitomate (Silva-García *et al.*, 2006; García, 2012a).

La aplicación de técnicas convencionales para la recuperación de suelos afectados como lavados y enmiendas mejoradoras, no se ha expuesto como exitosa debido a sus altos costos y limitada eficacia (Brutti *et al.*, 2018). No obstante, se encuentran en desarrollo otro tipo de estrategias sustentables que permiten la productividad de cultivos susceptibles en condiciones salinas. La agricultura biosalina emplea en una de sus direccionales plantas con tolerancia a la salinidad y capacidades remediadoras (Terrazas-Rueda, 2019), como un ejemplo de esto se encuentra *B. monnieri*, una halófito que, aunque no se ha reportado el comportamiento de su asociación con el jitomate (*S. lycopersicum*), ha demostrado mejorar la calidad del suelo y permitir un mayor desarrollo de cultivos susceptibles, como cebolla (*Allium cepa*) y maíz (*Zea mays*) en condiciones de salinidad (Lastiri-Hernández *et al.*, 2019; Lastiri-Hernández *et al.*, 2021). Otra línea de investigación es el empleo de distintas variedades o especies de mayor tolerancia a la salinidad como patrones de injerto,

esto con el fin de conferir a la planta un sistema radicular más vigoroso que le permita un mejor desarrollo frente al estrés (Velasco-Alvarado, 2019). El injerto es una técnica empleada comúnmente en cultivos como chile, melón, sandía, berenjena y pepino (Ozores-Hampton *et al.*, 2014), pero, su empleo como mejorador del cultivo de jitomate ha ganado importancia hasta principios de los 2000, volviéndose una práctica muy común en países como Holanda, Francia y Japón. Su eficacia frente a condiciones salinas depende de la afinidad que exista entre las variedades seleccionadas y el vigor que aporta aquella de mayor resistencia (Singh *et al.*, 2020). *Solanum lycopersicum* var. *ceraciforme* en su forma silvestre es un pariente cercano del cultivo de jitomate, resistente a la salinidad y ampliamente recomendado como portainjerto (Olmedo-López *et al.*, 2019).

III. JUSTIFICACIÓN

Se estima que la superficie afectada por salinidad se aproxima a un millón en el país (Serrato *et al.*, 2002) y a los ochocientos millones en el mundo (Sharma *et al.*, 2016). Este proceso altera ciertos indicadores químicos del suelo como el pH, la CE y la relación catiónica (Pastor-Mogollón *et al.*, 2016), además de conducir a la vegetación a un desequilibrio osmótico e intoxicación (Machado y Serralheiro, 2017).

La agricultura biosalina es un conjunto de prácticas que aprovecha los distintos recursos genéticos para lograr una mejor producción de biomasa, mediante la utilización de agua y suelos salinos (Nikalije *et al.*, 2018), donde la incorporación de genes de resistencia, la domesticación de plantas tolerantes a la sal y la inclusión de parientes silvestres también de mayor tolerancia, son algunas de sus directrices en vías de desarrollo (Terrazas-Rueda, 2019).

Las halófitas, plantas tolerantes a la salinidad, son aprovechadas por la agricultura biosalina como una fuente de genes de resistencia, agentes removedores en suelos contaminados y como cultivos protagonistas (Nikalije *et al.*, 2018). Por otra parte, aprovecha también otro tipo de estrategias como el injerto de variedades comerciales, sobre patrones de parientes de mayor tolerancia, que permiten a través del sistema radicular una mayor disponibilidad de agua y nutrientes (Grieneisen *et al.*, 2018).

La CCM es una región predominantemente agrícola, que se enfrenta a una progresiva condición de salinidad como resultado del empleo de agua de riego con proporciones inadecuadas de sales (Silva-García *et al.*, 2006). La región cuenta con la disponibilidad del recurso a partir de extracciones, alcantarillado y drenes agrícolas, cuya media en la conductividad eléctrica se aproxima a los 1.19 dS/m (Álvarez-Bernal *et al.*, 2013), cifra que resulta por arriba del valor recomendado (0.7 dS/m) y que provoca una disminución en el rendimiento de los cultivos susceptibles como el jitomate (García, 2012a).

Bacopa monnieri es una planta halófito empleada exitosamente en la extracción de sales del suelo. Diversos autores, como Lastiri-Hernández *et al.*, 2019, han estudiado su potencial aplicación agrícola como una planta de acompañamiento al lado de cultivos no tolerantes como el maíz (*Zea mays*), mostrando resultados positivos tanto en el suelo como en el cultivo. Recientemente en otro estudio, publicado por Lastiri-Hernández *et al.*, 2021, esta

planta también mostró capacidades desalinizantes exitosas en acompañamiento del cultivo de cebolla (*Allium cepa*).

Por su parte, autores como Santa-Cruz *et al.*, 2002, Fernández-García *et al.*, 2004 y He *et al.*, 2009, han evaluado el desempeño del cultivo de jitomate sobre variedades de mayor resistencia a la salinidad, obteniendo resultados positivos sobre la calidad del fruto y el desarrollo de la planta, cuando estas se ven expuestas a salinidad. Por otra parte, Olmedo-López *et al.*, 2019, recomienda la forma silvestre de *S. l.* var. *ceraciforme* como portainjerto, gracias a su mayor resistencia a la salinidad y su disponibilidad en el territorio mexicano.

Ambas opciones presentan dos candidatas potenciales y de fácil acceso en la región, que podrían permitir el rendimiento rentable de cultivos susceptibles como el jitomate en condiciones de salinidad. En este trabajo se pretende evaluar la respuesta del cultivo tanto en desarrollo, rendimiento y calidad nutricional frente a la halofitorremediación y el injerto sobre un pariente de mayor resistencia en condiciones de salinidad.

IV. HIPÓTESIS

El desarrollo, rendimiento, calidad del fruto e intercambio catiónico del cultivo de jitomate (*S. lycopersicum*) son distintos cuando este se ve expuesto a los tratamientos de halofitorremediación con *B. monnieri* y el injerto sobre su pariente silvestre *S. lycopersicum* var. *ceraciforme*.

V. OBJETIVOS

5.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar y comparar la respuesta del cultivo de jitomate (*S. lycopersicum*) con dos estrategias de cultivo sobre condiciones salinas: la halofitorremediación con *B. monnieri* y el injerto sobre su pariente silvestre *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*.

5.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

*a) Evaluar el desarrollo, rendimiento, intercambio catiónico y calidad del fruto de *S. lycopersicum* cv. "Río Grande", en condiciones de salinidad, como respuesta a la halofitorremediación con *B. monnieri*.

*b) Valorar la capacidad de asociación entre *B. monnieri* y *S. lycopersicum* considerando algunas propiedades químicas de un suelo salino.

*c) Evaluar el desarrollo, rendimiento, intercambio catiónico y calidad del fruto de *S. lycopersicum* cv. "Río Grande" en condiciones de salinidad, como respuesta al injerto sobre su pariente silvestre *S. lycopersicum* var. *cerasiforme*.

*d) Comparar las dos estrategias de producción de jitomate en condiciones de salinidad, utilizando algunos indicadores de desarrollo vegetal como: rendimiento, intercambio catiónico y calidad del fruto.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en el municipio de Jiquilpan de Juárez, Michoacán, México, al interior de las instalaciones del Centro Interdisciplinario de Investigación para el Desarrollo Integral Regional (CIIDIR-IPN), ubicada entre las coordenadas 19° 59' 57.516" latitud Norte y 102° 42' 23.781" longitud Oeste, con una altitud de 1560 m, un clima semicálido subhúmedo, con lluvias en verano, temperatura media de 18.9 °C y precipitación media anual de 826 mm (INAFED, 2010).

6.2. CARACTERIZACIÓN FISCOQUÍMICA DEL AGUA DE RIEGO

La muestra fue recolectada del sistema de agua potable municipal en el terreno del CIIDIR-IPN, en frascos de vidrio oscuros. Los parámetros CE, pH y sólidos solubles totales, fueron valorados mediante un equipo Hanna Instruments® (HI98130, China), bajo las especificaciones de la norma NMX-AA-008-SCFI-2000 (Secretaría de Economía, 2000)

Aniones: CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} . Para cuantificar los CO_3^{2-} se titularon directamente 50 mL de muestra con ácido sulfúrico al 0.01 N, empleando fenolftaleína al 0.1 % como indicador (NMX-AA-036-SCFI-2001; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, 2001); el matraz procedente de este proceso, fue titulado con nuevamente con ácido sulfúrico al 0.01 N con naranja de metilo al 0.01 %, para cuantificar la presencia de HCO_3^- (NMX-AA-036-SCFI-2001; Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial, 2001). Otra muestra de 50 mL fue titulada con nitrato de plata al 0.05 N y cromato de potasio al 5 %, para la determinación de Cl^- (NMX-AA-073-SCFI-2001; Secretaría de Economía, 2001). Los SO_4^{2-} se cuantificaron en un equipo de espectroscopía de emisión atómica (PERKIN ELMER®, Lambda 2, USA) a 340 nm de longitud de onda (Método 4500 SO_4^{2-} ; APHA, 1998).

Cationes solubles: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ . Para Ca^{2+} y Mg^{2+} se colocaron 10 mL de muestra en matraces de 100 mL y 5 mL de solución inhibidora de lantano, posteriormente se realizó un aforo con agua destilada a 100 mL (Métodos 3500 Ca-B y 3500 Mg-B; APHA, 2012). Para Na^+ y K^+ se prepararon las soluciones inhibidoras, para Na^+ se colocaron 2 g de cloruro de potasio en 100 mL de agua destilada y para K^+ 2 g de cloruro de sodio en 100 mL de agua destilada; en los matraces se agregó 5 mL de la solución inhibidora correspondiente,

10 mL muestra y se aforó a 100 mL. Las diluciones fueron leídas en un equipo de espectroscopía de absorción atómica (GBC®, SensAA, España) a 422.7, 285.2, 589 y 766.5 nm respectivamente (Métodos 3500 Na-B y 3500 K-B; APHA, 2012).

La calidad del agua es aceptable para el cultivo de jitomate (García, 2012a) y sus características pueden observarse en la Tabla 4. Ninguno de los parámetros representa un riesgo elevado a la salinidad del suelo. Los valores de los parámetros de CE, STD, HCO₃⁻, Cl⁻ y RAS representan un riesgo bajo.

Tabla 4. Características del agua de la toma local: pH, CE, Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺, CO₃²⁻, HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻ y RAS.

PARÁMETRO	VALOR
PH	7.8 ± 0.2
CE (dS/m)	0.7 ± 0.01
STD (mg/L)	280 ± 2.5
Ca ²⁺ (cmol/L)	0.08 ± 0.0
Mg ²⁺ (cmol/L)	0.02 ± 0.0
Na ⁺ (cmol/L)	0.05 ± 0.01
K ⁺ (cmol/L)	0.02 ± 0.0
CO ₃ ²⁻ (cmol/L)	ND
HCO ₃ ⁻ (cmol/L)	0.7 ± 0.01
Cl ⁻ (cmol/L)	0.08 ± 0.01
SO ₄ ²⁻ (cmol/L)	7.5 ± 0.02
RAS	0.2 ± 0.01

6.3. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL SUELO

Para el sustrato inicial se tomaron 500 kg de suelo del CIIDIR-IPN, ubicado en las coordenadas 19° 99' 98.89" latitud Norte y 102° 70' 79.50" longitud Oeste, el cual se homogeneizó con ayuda de una pala (INAFED, 2010). Se tomó una muestra de 1 kg para

analizar las propiedades de pH, CE, aniones y cationes solubles, bajo las especificaciones de la norma NOM-RECNAT-2000 (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2000). Al final del experimento, también se realizó una segunda caracterización de cada uno de los grupos en las mismas variables.

Preparación del extracto de saturación. En un recipiente plástico con volumen de 1.5 L se colocan 200 g de suelo seco y tamizado con malla de apertura de trama de 2 mm de diámetro. El suelo se llevó a punto de saturación con agua destilada y se filtró con una bomba de vacío (WELCH®, 1400, USA) de 6 pulgadas de mercurio.

PH y conductividad eléctrica. El pH y la CE fueron medidos con un equipo marca Hanna Instruments® (HI 2211, China) en el extracto de saturación a una temperatura de 25 °C.

Aniones: CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} . Para cuantificar los CO_3^{2-} se tituló directamente el extracto de saturación con ácido sulfúrico al 0.05 N empleando fenolftaleína al 0.1 % como indicador; el matraz procedente de este proceso fue titulado con nuevamente con ácido sulfúrico al 0.05 N con naranja de metilo al 0.01 % para cuantificar la presencia de HCO_3^- . El extracto fue titulado con nitrato de plata al 0.025 N y cromato de potasio al 5 %, para la determinación de Cl^- . Los SO_4^{2-} se cuantificaron por espectroscopía de emisión atómica (PERKIN ELMER®, Lambda 2, USA) a 340 nm de longitud de onda.

Cationes solubles: Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ . Para Ca^{2+} y Mg^{2+} se colocaron 2 mL del extracto de saturación en matraces de 100 mL y 5 mL de solución inhibidora de lantano, posteriormente se realizó un aforo con agua destilada a 100 mL. Para Na^+ y K^+ se prepararon las soluciones inhibidoras, para Na^+ se colocaron 2 g de cloruro de potasio en 100 mL de agua destilada y para K^+ 2 g de cloruro de sodio en 100 mL de agua destilada; en los matraces se agregaron 5 mL de la solución inhibidora correspondiente, 2 mL de extracto y se aforó a 100 mL. Las diluciones fueron leídas en un equipo de espectroscopía de absorción atómica (GBC®, SensAA, España) a 422.7, 285.2, 589 y 766.5 nm respectivamente.

6.4. MATERIAL VEGETAL

Las semillas del pariente silvestre fueron proporcionadas por el Dr. Hipólito Cortez Madrigal, Profesor-Investigador del CIIDIR-IPN en Jiquilpan, Mich. La variedad comercial empleada fue “Río Grande”, y fueron obtenidas por su libre venta en sobres marca West Hills. En cuanto a los esquejes de *B. monnieri* (Figura 1), fueron tomados de un contenedor

procedente de la recolección de la planta de Los Negritos Villamar Michoacán, ubicado entre las coordenadas 20° 03' 47.2248" latitud Norte y -102° 36' 52.776" longitud Oeste (INAFED, 2010).



Figura 1. *Bacopa monnieri*

6.5. GERMINACIÓN DE SEMILLAS

Las semillas de la variedad silvestre fueron puestas a germinar una semana antes que las de la variedad comercial "Río Grande", con índices de germinación del 35 % y 88 % respectivamente. Se emplearon dos semilleros de plástico rígidos de 105 espacios con dimensiones 45 X 60 X 12 cm con el mismo suelo utilizado para el experimento como sustrato. Las unidades se trasplantaron a contenedores de 300 g del mismo suelo cuando estas presentaban un tamaño de entre 7 y 10 cm de altura.

6.6. DESARROLLO DE INJERTOS

Los injertos fueron desarrollados a partir de plantas con tallos de aproximadamente 3 mm de diámetro, un mes después de la germinación de la variedad comercial. Ambas plantas fueron cortadas con una navaja de afeitar marca DORCO en forma horizontal y unidas mediante un trozo de laminilla para lápiz de 0.5 mm marca Berol; adicionalmente, se les colocó un clip de silicón para la sujeción. Las plantas injertadas se introdujeron a una cámara de policarbonato (Figura 2) durante 10 días, bajo condiciones controladas: 12: 12

h luz: oscuridad, una temperatura de 24.5 °C y > 95 % de humedad relativa (Velasco-Alvarado *et al.*, 2017a).



Figura 2. Injertos de *S. lycopersicum* en cámara de humedad.

6.7. TRASPLANTE Y DISEÑO EXPERIMENTAL

Las plantas se trasplantaron en la sexta semana de edad (Figura 3) a macetas plásticas flexibles de 20 kg de suelo.



Figura 3. Plantas de *S. lycopersicum* cv. “Río Grande” en la sexta semana después de la germinación.

Se colocaron sobre una mesa de 1 m de altura en un invernadero con una humedad relativa promedio del $60 \pm 10 \%$ y temperatura de $36/10 \text{ }^\circ\text{C}$ día/noche. Las macetas se distribuyeron en un diseño de bloques completamente al azar y densidad de 0.4 plantas/m^2 (Figura 4).



Figura 4. Distribución de bloques completamente al azar de las unidades experimentales.

Se establecieron cuatro tratamientos, con 10 repeticiones (una planta/repeticón). Jitomate bajo riego no salino (0.7 dS/m) [[T1]]; jitomate bajo riego salino (2 dS/m) [[T2]]; jitomate + *B. monnieri* como acompañamiento bajo riego salino (2 dS/m) [[T3]]; injerto del jitomate sobre un patrón de la forma silvestre *S. l. var. ceraciforme* bajo riego salino (2 dS/m) [[T4]]. En el tratamiento de *B. monnieri* se colocó un aproximado de $10 \pm 0.5 \text{ g}$ de planta como acompañamiento.

6.8. MANEJO AGRONÓMICO

El agua de la toma local fue adicionada con NaCl para alcanzar una CE de 2 dS/m , con apoyo de un medidor de CE y pH marca Hanna Instruments® (HI98130, China). El riego se

suministró cada tercer día con un aproximado de 1.5 L en cada unidad experimental, evitando pérdidas por escurrimiento.

Los cuatro grupos fueron suministrados de manera idéntica en cuanto al manejo agronómico. Entre la primera y segunda semana después del trasplante se aplicó fertilización a base de Bayfolant Forte (0.5 mL/L; Bayer®, Alemania) en riego. En la segunda semana, se aplicó por aspersión una solución jabonosa de un detergente biodegradable (10 g/L; Roma®, México) para el control de plagas como la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) (Urías-López *et al.*, 2013). Para la tercera semana, una dosis única de un producto de azufre coloidal por aspersión (2:1000; Versul 725®, México) con fines fungicidas, insecticidas y acaricidas.

Además, se utilizó para la prevención de enfermedades causadas por los géneros *Botrytis*, *Fusarium*, *Alternaria* y *Rhizotocnia*, un producto a base de células de *Bacillus subtilis* y *Trichoderma harzianum* (1:2000; Subtitricho®, México); éste último se aplicó en el tallo y base de las plantas de la semana 3 hasta la 17 a partir del trasplante con espacios de 2 semanas.

6.9. ANÁLISIS DE LAS PLANTAS

Para la altura de las plantas, diámetro del tallo, materia seca, rendimiento, número de frutos y cationes, se seleccionaron aleatoriamente tres unidades experimentales de cada uno de los tratamientos.

Altura y diámetro del tallo. En la semana 22 después de la germinación, con ayuda de una cinta métrica (TRUPER®, México) y un vernier (TRUPER®, México), se midió la altura máxima de las plantas y el diámetro del tallo en la primera raíz.

Materia seca. Las plantas sin raíz y sin frutos fueron sometidas a un horno de secado (Terlab®, HS_H_A100308, México) a una temperatura de 105 °C por un periodo de 48 h. Posteriormente fueron pesados y se registró en g.

Rendimiento y número de frutos. Los frutos de las unidades experimentales seleccionadas, fueron recolectados y pesados en una balanza analítica (Pioneer®, PA214, USA) sumados al final de la etapa de cosecha.

Cationes: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺ en raíz y follaje. La raíz y el follaje fueron secados (Terlab®, HS_H_A100308, México) a una temperatura de 65 °C durante 48 h. Las muestras secas

fueron reducidas a polvo en un mortero, y posteriormente fueron colocados 2.5 g para su digestión en un equipo microondas (Anton Paar®, Multiwave Go Plus, México); para esto se adicionaron 2 mL de peróxido de hidrógeno al 30 %, 8 mL de ácido nítrico concentrado y 1 mL de ácido clorhídrico. El contenido se filtró con papel No. 40 y se aforó a 25 mL. Se prepararon diluciones a partir de la solución madre y se realizó su lectura en un equipo de espectroscopía de absorción atómica (GBC®, SensAA, España). Los resultados fueron expresados en mg/kg en base seca a 422.7, 285.2, 589 y 766.5 nm respectivamente (Alcántar y Sandoval, 1999).

6.10. ANÁLISIS DE LOS FRUTOS

Los frutos fueron cosechados entre las semanas 14 y 18 después del trasplante, cuando la superficie del jitomate tomó un color rosado-rojo entre el 30 y 60% de su superficie (Figura 5).



Figura 5. Frutos cosechados.

Para todas las evaluaciones de los frutos, se tomaron en cuenta de 10 a 15 unidades por grupo, seleccionados al azar. Se realizaron las evaluaciones de algunas variables como peso, diámetros, firmeza, sólidos solubles, humedad y acidez titulable en estado fresco e inmediatamente después de la cosecha, para posteriormente almacenarse en un

congelador a temperatura de -2 °C. El porcentaje de cenizas, proteínas, lípidos, licopeno, β-caroteno y cationes fueron determinados a partir de una base seca.

Dimensiones e índice de redondez. Con ayuda de un vernier (TRUPER®, México) se midieron los diámetros polar y ecuatorial. Se procedió a calcular el índice de redondez (valor adimensional), empleando la siguiente fórmula (Casierra-Posada y Cardozo, 2009):

$$\text{índice de redondez} = \frac{\text{Diámetro polar}}{\text{Diámetro ecuatorial}}$$

Peso. Para medir el peso de los frutos, se empleó una balanza analítica (Pioneer®, PA214, USA) y los resultados fueron expresados en g.

Firmeza. Para este parámetro se empleó un texturómetro (WAGNER®, Alemania) con una sonda de 8 mm de diámetro a la altura del eje ecuatorial, el resultado fue expresado en kgf (Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012).

Sólidos solubles y humedad. Los sólidos solubles fueron determinados de manera directa con un refractómetro manual (ATAGO®, ATC-1e, China) y se reportó como porcentaje (Casierra-Posada y Cardozo, 2009). Con respecto a la humedad, se empleó un humidímetro (A&D®, MS-70, Japón) para ser expresado como porcentaje (Kirk *et al.*, 1996).

Acidez titulable. Este parámetro se determinó mezclando 5 g de la pulpa de los frutos, 50 mL de agua destilada y tres gotas de fenolftaleína al 0.1 %, posteriormente se tituló con hidróxido de sodio al 0.3 N. La siguiente fórmula permite calcular el valor expresado como porcentaje de ácido cítrico (Benito-Bautista *et al.*, 2016):

$$\% \text{ de ácido cítrico} = \frac{V \text{ NaOH} * N \text{ NaOH} * \text{meq del ácido} * V \text{ de la alícuota} * 100}{g \text{ de la alícuota}}$$

Donde:

V = Volumen en mL

N = Normalidad

g = gramos

meq del ácido = miliequivalentes del ácido que se encuentra en mayor proporción, en este caso ácido cítrico = 0.064

Número y peso de semillas. Se extrajeron manualmente las semillas de los frutos. Se llevó a cabo un recuento y un lavado con agua destilada. Finalmente se dejaron secar a

temperatura ambiente por 3 días y se pesaron en una balanza analítica (Pioneer®, PA214, USA) grupos de 100 semillas expresando el valor en g (Gaytán-Ruelas *et al.*, 2016).

Preparación de frutos secos. Los frutos fueron transformados en puré, en una licuadora modelo (Oster®, Brly-07-R, USA) y sometidos a un horno (Terlab®, HS_H_A100308, México) a 60 °C, durante un periodo de 48 h. Finalmente, fueron reducidos a polvo en un mortero de porcelana y almacenados en un desecador de cristal con sales de sílice.

Cenizas. Se llevaron los crisoles a una temperatura de 600 °C por dos h, en una mufla (Thermo Fisher Scientific®, BF51894C-1, USA). Se colocaron 5 g de muestra base seca y se procedió a calcinar en un mechero hasta que cesó el desprendimiento de humo. La muestra calcinada se sometió en la mufla a 550 °C durante 2 h, hasta que se obtuvieron cenizas blancas. Se enfrió en un desecador con sales de sílice para determinar su peso en una balanza analítica (Pioneer®, PA214, USA) y reportar los resultados en porcentaje (Kirk *et al.*, 1996).

Proteínas. Para la determinación de proteínas en el fruto, se empleó un equipo Kjeldahl. Se colocaron en el tubo para digestión 0.5 g de muestra base seca de frutos, 10 mL de ácido sulfúrico concentrado y 4 g de óxido de Selenio. Se llevó a cabo una digestión por 4 h a 420 °C, hasta que la muestra cambió a un color verde transparente. El contenido fue vertido a matraces de 250 mL y añadidos con 50 mL de ácido bórico al 4 % con indicador. El contenido fue destilado (Luzeren®, KDN 220 V, México) con hidróxido de sodio al 36 %, hasta obtener un volumen de 40 mL y titulado con ácido clorhídrico al 0.1775 N. En todos los pasos se incluyó un blanco sin muestra. La fórmula empleada para el cálculo de % de nitrógeno fue la siguiente (Bremner, 1965):

$$\% \text{ de nitrógeno} = \frac{(V \text{ muestra} - V \text{ blanco}) * N \text{ ácido clorhídrico} * 14}{g \text{ de muestra} * 10}$$

Posteriormente, el valor obtenido fue multiplicado por 6.25, que corresponde al factor Kjeldahl especificado para frutas y hortalizas por Lee-Rodríguez, 1975, para la estimación del contenido de proteínas a partir de la cantidad de nitrógeno presente.

Lípidos. Para la determinación de lípidos en los frutos se colocaron 5 g de muestra base seca en un cartucho para Soxhlet, posteriormente fue posicionado dentro del material de cristal junto con 200 mL de éter de petróleo como solvente. El matraz tipo balón, que había sido colocado a peso constante durante 2 h (Terlab®, HS_H_A100308, México) a 65 °C, se sumergió a baño María durante 6 h a una temperatura de 60 °C. Al finalizar este proceso, el solvente del matraz fue evaporado con ayuda de una parrilla eléctrica (Thermolyne®,

CIMAREC SP131325, USA) y sometido nuevamente a secado a 75 °C por 24 h, para el registro del peso de su contenido y expresión de los lípidos en porcentaje (James, 1999).

Lycopeno y β-caroteno. Los frutos fueron liofilizados (LABCONCO®, LYPH LOCK 4.5, México). Posteriormente se colocó 0.1 g de muestra en un tubo Falcón y se añadió 1 mL de agua destilada para después sonicarse (Ultra Sonyk®, 28H, USA) durante 30 minutos. La muestra fue adicionada con 8 mL de una mezcla de solventes, hexano-etanol-acetona (2:1:1) y fue agitada en un vórtex (Cientific Industries Inc.®, SI-0236, USA). Los tubos se cubrieron con papel aluminio y se dejaron reposar exactamente 1 h. Nuevamente se agitó la muestra en vórtex y se esperó la separación de fases por densidad. La fase superior o de solventes fue introducida en un lector de placas a 503 y 444 nm para licopeno y β-caroteno respectivamente. Finalmente, se emplearon las siguientes ecuaciones expuestas por Suwanarung (2016) y Gordon (2007) y se reportaron los resultados en mg/kg:

$$\text{licopeno (mg/kg)} = \text{Abs}_{503 \text{ nm}} \times 137.4$$

$$\beta\text{- caroteno (mg/kg)} = 295.35 (9.38 \text{ Abs}_{444 \text{ nm}} - 6.70 \text{ Abs}_{503 \text{ nm}})$$

Cationes: Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺. La muestra seca de 2.5 g, fue puesta a digestión en un equipo microondas (Anton Paar®, Multiwave Go Plus, México) y posteriormente adicionada con 2 mL de peróxido de hidrógeno al 30 %, así como 8 mL de ácido nítrico concentrado y 1 mL de ácido clorhídrico. El contenido se filtró con papel No. 40, y se aforó a 25 mL. Se prepararon diluciones a partir de la solución madre y se realizó una lectura en un equipo espectroscopía de absorción atómica (GBC®, SensAA, España) a 422.7, 285.2, 589 y 766.5 nm respectivamente. Los resultados fueron expresados en mg/kg en base seca (Alcántar y Sandoval, 1999).

6.11. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS

Los valores de las variables de los suelos, plantas y frutos fueron sometidos a un análisis de varianza y a una separación de medias por el método Tukey, con un nivel de confianza del 95 % en el programa RStudio versión 1.4 1103.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LOS SUELOS

En la Tabla 5 se muestran los resultados de la caracterización físicoquímica de los suelos del experimento. Según las especificaciones de la norma NOM-021-RECNAT-2000 (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales, 2000), el suelo inicial es de mediana alcalinidad con niveles muy bajos de Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ . Su conductividad eléctrica es de 1.6 dS/m, por lo que el suelo es apto para el cultivo de jitomate recordando que el límite de tolerancia para obtener rendimientos de 100 % debe ser menor de 2.5 dS/m (García, 2012a).

Tabla 5. Valores de pH, CE, CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- y SO_4^{2-} de los suelos previo y posteriores al experimento, sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

VARIABLE	Inicial	[[T1]]	[[T2]]	[[T3]]	[[T4]]
PH	8.13 ± 0.19 ^c	8.48 ± 0.1 ^a	8.18 ± 0.1 ^{bc}	7.85 ± 0.14 ^d	8.30 ± 0.01 ^b
CE (dS/m)	1.15 ± 0.07 ^d	1.25 ± 0.06 ^d	6.17 ± 0.26 ^a	5.07 ± 0.08 ^c	5.56 ± 0.43 ^b
CO_3^{2-} (mmol/L)	ND	ND	ND	ND	ND
HCO_3^- (mmol/L)	6 ± 4.97 ^a	7.25 ± 0.25 ^a	6.25 ± 1.24 ^a	5.25 ± 0.25 ^a	6 ± 0.99 ^a
Cl^- (mmol/L)	7.73 ± 1.69 ^e	10.25 ± 1.24 ^d	39.5 ± 2.49 ^a	27.25 ± 1.24 ^c	32.5 ± 2.49 ^b
SO_4^{2-} (meq/L)	1.29 ± 0.78 ^c	1.63 ± 0.12 ^c	2.71 ± 0.5 ^a	2.2 ± 0.25 ^{ab}	2.15 ± 0.25 ^b

Inicial: suelo previo al experimento; [[T1]]: cultivo de jitomate a 0.7 dS/m; [[T2]]: cultivo de jitomate a 2 dS/m; [[T3]]: cultivo de jitomate asociado a *B. monnieri* a 2 dS/m; [[T4]]: injerto sobre pariente silvestre variedad *ceraciforme* 2 dS/m. Medias seguidas horizontalmente del mismo carácter literario no difieren estadísticamente (Tukey, 0.05).

PH y CE. El tratamiento [[T3]] demostró reducir en un 4.03 % el valor del pH con respecto a [[T2]] y 3.44 % con respecto al suelo inicial. Aunque existen diferencias entre ambos

tratamientos, [[T4]] no promovió significativamente ($p \leq 0.05$) la reducción del potencial de hidrógeno en el extracto de saturación del suelo con respecto a [[T2]] y aumentó en 2.09 % el valor del suelo inicial, fenómeno que podría encontrarse relacionado con el riego salino.

La capacidad de *B. monnieri* para reducir el valor del pH en el suelo de manera significativa se encuentra documentada en un estudio de Lastiri-Hernández *et al.*, 2021, en el que la halófito como acompañamiento del cultivo de cebolla (*Allium cepa*), promovió la reducción del valor en un 0.88 % con respecto al suelo inicial. Además, en otro estudio, la presencia de la misma planta en cultivo de maíz (*Zea mays*), disminuyó el valor de esta variable en un 1.91 % con respecto al suelo inicial (Lastiri-Hernández *et al.*, 2019).

Ambos tratamientos, [[T3]] y [[T4]], mostraron promover una reducción del 17.9 y 9.87 % en el valor de la CE con respecto a [[T2]] ($p \leq 0.05$). Ninguno de los dos anteriores logró reducir esta variable en relación a [[T1]], lo que significa que sus efectos no amortiguan por completo el efecto de la salinidad. Algo parecido se observó en un estudio de Lastiri-Hernández *et al.*, 2021 en el que se aplicó la misma planta al cultivo de cebolla, donde la CE del extracto del suelo disminuyó en un 41.68 % con respecto al valor del suelo inicial. La diferencia entre la reducción publicada por Lastiri-Hernández *et al.*, 2021 y el presente estudio, puede deberse a que el autor reporta que al inicio del experimento se aplicaron 30 ± 2.17 g de biomasa de *B. monnieri*, una cantidad aproximadamente tres veces mayor a la del presente experimento. En lo que respecta a [[T4]], el mecanismo de tolerancia a la salinidad adoptado por el sistema radicular del patrón, puede estar relacionado con el efecto de reducción en la concentración de sales del suelo, pues gran parte de los iones que deberían estar presentes en éste, como en el caso de [[T2]], se encuentran formando parte de la estructura de la planta. Las plantas pueden adoptar dos tipos de respuestas frente a las condiciones de salinidad, uno es la exclusión de iones en el sistema radicular, común en especies no tolerantes, y otro es el libre flujo asociado con mecanismos de compartimentación en especies tolerantes (Tal, 1984; Shannon *et al.*, 1994). Se ha demostrado que las variedades tolerantes de jitomate han adoptado un sistema de libre flujo iónico, aprovechando órganos celulares como vacuolas para la compartimentación, ajustando el equilibrio osmótico con un aumento en la turgencia e incrementando la concentración celular de azúcares y aminoácidos como prolina (Cortés, 2014; Shannon *et al.*, 1994; Serrano, 1986).

Aniones: CO_3^{2-} , HCO_3^- , Cl^- , SO_4^{2-} . La cantidad de CO_3^{2-} en todos los tratamientos no fue detectada. Por otra parte, la presencia de HCO_3^- no mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$).

La presencia de CO_3^{2-} , HCO_3^- y CO_2 tiene una relación estrecha con el pH del suelo, pues éste influye en la forma en que las moléculas se asocian. Los HCO_3^- se encuentran en pH de entre 4.3 y 12.6, expresándose de forma máxima a 8.3, mismo valor en que comienzan a aparecer los CO_3^{2-} (Andrade-Rodríguez, 2012). Este fenómeno explica la detección de HCO_3^- en el suelo y la ausencia de CO_3^{2-} .

La adición de NaCl para el ajuste de la conductividad eléctrica en el agua de riego se refleja como un aumento importante de cloruros en los tratamientos implicados, [[T3]] y [[T4]] amortiguaron su ascenso en un 31.01 y 17.72 % respectivamente con respecto a [[T2]] ($p \leq 0.05$). En el caso de [[T3]], este proceso puede deberse a la bioacumulación del ion en la estructura de *B. monnieri* y en [[T4]] en la planta de jitomate, evidenciándose el mismo mecanismo de tolerancia del sistema radicular del patrón que se explicó en el apartado de CE (Cortés, 2014; Shannon *et al.*, 1994; Serrano, 1986). La diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre el suelo inicial y [[T1]], podría estar relacionada con las características del agua de riego de la toma local que por supuesto influyó en todos los tratamientos.

En el caso de los SO_4^{2-} , únicamente [[T4]] amortiguó significativamente ($p \leq 0.05$) su contenido con respecto a [[T2]] (14.34 %). No existe diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los tratamientos [T3] y [[T4]], por lo que no se puede asegurar que alguno de estos dos presenta una mayor eficiencia bioacumuladora. Tampoco se observó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) entre los SO_4^{2-} del suelo inicial y [[T1]], lo que sugiere que el contenido de sulfatos del agua de la toma local, no promueve el aumento desmedido de estos iones y el factor de influencia se encuentra relacionado en mayor medida con los grupos sometidos a riego salino.

7.2. DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE JITOMATE

En la Tabla 6 se pueden apreciar los valores de las variables medidas en las plantas del experimento incluyendo el rendimiento.

Tabla 6. Resultados de la medición de las variables de altura, grosor del tallo, materia seca, rendimiento y número de frutos en las plantas de los grupos del experimento sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

VARIABLE	[[T1]]	[[T2]]	[[T3]]	[[T4]]
Altura (cm)	81.67 ± 10.05 ^a	79.33 ± 10.32 ^a	75.33 ± 6.73 ^a	82 ± 12.41 ^a
Grosor del tallo (mm)	8.36 ± 1.44 ^a	8.42 ± 0.78 ^a	7.97 ± 0.48 ^a	8.6 ± 1.16 ^a
Materia seca (g)	320.2 ± 1.53 ^b	312.58 ± 1.53 ^b	378.96 ± 2.49 ^a	366.54 ± 2.05 ^a
Rendimiento (g)	415.97 ± 4.98 ^a	277.65 ± 3.90 ^c	289.65 ± 2.52 ^b	254.62 ± 2.50 ^c
Número de frutos	10.02 ± 0.24 ^a	11.44 ± 0.59 ^a	11.52 ± 0.15 ^a	10.5 ± 1.02 ^a

[[T1]]: cultivo de jitomate a 0.7 dS/m; [[T2]]: cultivo de jitomate a 2 dS/m; [[T3]]: cultivo de jitomate asociado a *B. monnieri* a 2 dS/m; [[T4]]: injerto sobre pariente silvestre variedad *ceraciforme* 2 dS/m. Medias seguidas horizontalmente del mismo caracter literario no difieren estadísticamente (Tukey, 0.05).

Altura y diámetro del tallo. No se observan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la altura de las plantas de los tratamientos, así como en el grosor del tallo. Sería de esperar que en [[T4]] existiera una diferencia en el diámetro del tallo, pues este corresponde a una variedad silvestre con distintas características que la cv. “Río Grande” de [[T1]], [[T2]] y [[T3]]. Arias-Mota *et al.*, 2021, explican que estas variables suelen reflejar el contenido de nutrientes en el sustrato incluyendo la cantidad de agua disponible.

En un estudio realizado por Sanjuan-Lara *et al.*, 2015, en el que se analizaron las plantas de 48 líneas nativas de jitomate, se observó que dimensiones como la altura y el grosor del tallo, se reducían proporcionalmente al aumentar la CE del medio. Sin embargo, en el presente experimento, no se observó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) a pesar de la reducción de la CE que influenciaron [[T3]] y [[T4]] en el suelo. En el caso del tallo, podría

ser probable la observación de resultados distintos, si las mediciones tuvieran algunas cifras extra como décimas de milímetro. Autores como Juárez-López *et al.*, 2012, afirman las variedades semidomesticadas y silvestres de jitomates, presentan un tallo de entre 6 y 12 mm de ancho. En diferencia, en el estudio realizado por González-Raya *et al.*, 2015, se reporta tallos de hasta 23.1 mm de grosor, en plantas de jitomate de tipo Saladette cultivados bajo condiciones hidropónicas. Autores como Rodríguez-Cabello *et al.*, 2020, mencionan que el grosor del tallo se encuentra relacionado con la cantidad de agua que transporta para satisfacer la demanda del resto de la planta y que esta variable puede verse reducida cuando existe un déficit hídrico por sequía o salinidad.

En el presente experimento, se observó bastante discrepancia en la forma de crecimiento de las plantas a pesar de tratarse de la misma variedad, pues, algunas de ellas prefirieron distribuirse de forma arbustiva y otras de manera semirrecta. Esto puede deberse al despunte no uniforme de hojas quemadas que se realizó aproximadamente la segunda semana después del trasplante, como resultado de la aplicación del detergente biodegradable marca Roma, utilizado para el control de la población de insectos como la mosquita blanca (*Bemisia tabaci*) en todos los tratamientos. Autores como Méndez-Galicia *et al.*, 2005, explican que el despunte y eliminación de brotes laterales, pueden influir directamente en la forma de crecimiento de la planta, pudiendo reducir la altura hasta un 70% sin afectar el rendimiento. Este factor aumenta el error estándar que acompaña a la media y no permite la diferenciación significativa ($p \leq 0.05$) con la prueba Tukey.

Materia seca. Esta variable permite evaluar la biomasa producida por la planta, ya que denota la cantidad total de células formadas, sin que factores como la humedad intervengan en el análisis (Casierra-Posada y Cardozo *et al.*, 2009).

También se observó una mayor cantidad de materia seca en los tratamientos [[T3]] y [[T4]] con respecto a [[T2]] ($p \leq 0.05$). La planta *B. monnieri* del [[T3]] provocó en el cultivo un aumento del 21.24 %, mientras que el injerto de [[T4]] solo en 18.52 %. Según Fernández-García *et al.*, 2004, la respuesta de esta variable por parte de la planta tiene mucho que ver con la variedad con la que se esté trabajando, por ejemplo, estos autores han expuesto que la cv. “Goldmar” no se ve interferido en el contenido de la materia seca al encontrarse expuesto a una CE de 8.3 y 5.3 con NaCl, pero si la cv. “Fanny” bajo las mismas condiciones. Además, en el mismo estudio, la cv. “Fanny” fue injertada sobre la “AR-9704” y sometida a CE de 8.3 y 5.3 con NaCl nuevamente, como respuesta el cultivo se volvió más resistente en comparación al testigo y presentó un mayor contenido de materia seca.

Los autores de este reporte explican que lo observado se debe a una menor cantidad de sodio contenido en la planta.

Los autores Gandica-Omaña y Peña (2015) indican que el contenido de materia seca de 4 variedades de jitomate (“El Cid”, “Dominador”, “L2” y “L3”) producido en invernadero fue de 343.80, 219.19, 253.82 y 206.54 g respectivamente. Los valores reportados en el presente experimento se muestran por arriba de los reportados por los autores antes mencionados, comparables especialmente con [[T1]], tratamiento fuera de las condiciones de salinidad.

Rendimiento y número de frutos. Varios autores reportan que el déficit hídrico por sequía o salinidad reducen el rendimiento de las plantas del cultivo de jitomate, tal es el caso del experimento realizado por Mitchell *et al.*, 1991, en el que observó una reducción del 10.66 % en el rendimiento de una variedad de jitomate “UC82B” sometido a una conductividad eléctrica de 8.1 dS/m en contraste de 0.34 dS/m del control.

En otro experimento, en el que se probaron varios injertos con el fin de observar el comportamiento del rendimiento en condiciones de salinidad, se utilizaron patrones de “Arnold” y “Maxifort” como portainjerto de la cv. “Cuore di Bue” y se sometieron a condiciones de salinidad de 0, 20 y 40 mM de NaCl. Se observaron comportamientos distintos en los diferentes niveles. A 20 mM de NaCl el portainjerto “Arnold” aumentó el rendimiento por planta un 23.5 % con respecto a “Maxifort” y las plantas no injertadas; por otro lado, a 40 mM de NaCl de ambas variedades y las plantas no injertadas se obtuvieron 2.43 kg/planta. Lo observado en el experimento sugiere que el rendimiento de una planta con relación a la salinidad, no es una variable de comportamiento lineal y que se pueden observar distintos efectos al aumentar o disminuir la concentración de NaCl en el sustrato (Di-Gioia *et al.*, 2013).

En el caso del presente experimento, a una CE de 2 dS/m inducidos por NaCl, la planta *B. monnieri* de [[T3]] aumentó el rendimiento respecto a [[T2]] en un 6.48 %, sin embargo, el injerto en [[T4]] no mostró diferencia significativa ($p \leq 0.05$) alguna con respecto al mismo [[T2]]. El tratamiento [[T1]], no sometido a condiciones de salinidad, fue el de mayor rendimiento con un total de 415.97 g/planta. Por la diferencia que se observa en los rendimientos entre [[T1]] y [[T2]], queda claro que la cv. “Río Grande” es susceptible a la salinidad, y por la diferencia ($p \leq 0.05$) entre [[T2]] y [[T3]] es evidente que [[T3]] mejora el rendimiento en condiciones de salinidad sin mitigar sus efectos completamente, pues no alcanza el rendimiento obtenido en [[T1]].

Además, Velasco-Alvarado *et al.*, 2016 aseguran que: “El incremento en biomasa y rendimiento en plantas injertadas, se atribuye a la eficiente absorción de agua y sales minerales por el sistema radical abundante del portainjerto y a la sanidad que le confiere el complejo de resistencia”, esto después de probar un injerto de la cv. “El Cid” sobre un patrón “Multifort” en condiciones de invernadero.

Por otra parte, no se detectaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el número de frutos entre los tratamientos. Ocurriendo algo similar en un estudio publicado por Velasco-Alvarado (2017b), en el que no se observan diferencias significativas en el número de frutos de jitomate de cv. “El Cid” no injertadas y las injertadas en patrones “Multifort” y “Maxifort” con frutos de entre 70.2 y 70.7 por planta. Sin embargo, en otro estudio realizado por Milenkovic *et al.*, 2018, si se observan diferencias, con un total de 28.6 en plantas injertadas y 23.1 en no injertadas de una cv. “Óptima F1”, sobre un patrón “Maxifort” empleando una red roja con índice de sombreado del 50 %. Campos *et al.*, 2009, en cambio, reporta 36 frutos por planta de jitomate tipo Saladette en condiciones no salinas y en invernadero. El número de frutos obtenidos en el presente experimento se quedan muy por abajo de los valores expuestos por Velasco-Alvarado, Milenkovic y Campos, esto puede atribuirse al manejo agronómico y a la naturaleza genética de la cv. “Río Grande”.

7.3. ANÁLISIS DE LOS FRUTOS

En la Tabla 7 se muestran los valores de las variables medidas en los frutos del cultivo de jitomate.

Tabla 7. Resultados de la medición de las variables índice de redondez, peso, firmeza, sólidos solubles, humedad, pH, acidez titulable, número y peso de semillas, cenizas, proteínas, lípidos, licopeno y β -caroteno de los frutos de los grupos del experimento sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

VARIABLE	[[T1]]	[[T2]]	[[T3]]	[[T4]]
Índice de redondez	1.18 ± 0.08 ^a	1.30 ± 0.09 ^a	1.16 ± 0.17 ^a	1.34 ± 0.16 ^a
Peso (g)	41.5 ± 0.50 ^a	25.25 ± 14.14 ^b	25.15 ± 0.40 ^b	26.65 ± 2.42 ^b

Firmeza (kgf)	3.93 ± 0.14 ^a	3.49 ± 0.27 ^b	4.19 ± 0.39 ^a	3.29 ± 0.31 ^b
Sólidos solubles (%)	6.25 ± 0.25 ^c	8 ± 0.75 ^b	7.85 ± 0.25 ^b	9.5 ± 0.50 ^a
Humedad (%)	93.53 ± 1.50 ^a	92.89 ± 0.06 ^a	92.45 ± 2.30 ^a	92.73 ± 1.02 ^a
PH	3.9 ± 0.40 ^c	3.97 ± 0.02 ^{cb}	4.01 ± 0.10 ^b	4.33 ± 0.12 ^a
Acidez titulable (%)	0.77 ± 0.03 ^b	0.77 ± 0.03 ^b	0.97 ± 0.04 ^a	0.76 ± 0.03 ^b
Número de semillas	16.55 ± 0.38 ^b	20.6 ± 0.99 ^a	12.9 ± 0.50 ^c	10.8 ± 0.99 ^d
Peso de 100 semillas (g)	0.7 ± 0.03 ^a	0.28 ± 0.00 ^d	0.44 ± 0.00 ^c	0.32 ± 0.04 ^b
Cenizas (% bs)	2.35 ± 0.25 ^a	1.38 ± 0.02 ^d	1.88 ± 0.10 ^b	1.54 ± 0.01 ^c
Proteínas (% bs)	1.8 ± 0.10 ^b	1.91 ± 0.05 ^{ab}	2.2 ± 0.39 ^a	1.8 ± 0.05 ^b
Lípidos (% bs)	0.56 ± 0.00 ^a	0.40 ± 0.00 ^c	0.5 ± 0.00 ^b	0.43 ± 0.00 ^b
Licopeno (mg/kg bs)	343.85 ± 1.28 ^c	285.9 ± 1.32 ^d	607.91 ± 1.33 ^a	372.83 ± 1.26 ^b
β-caroteno (mg/kg bs)	59.9 ± 1.32 ^c	47.67 ± 1.25 ^d	90.85 ± 1.27 ^b	222.6 ± 1.32 ^a

[[T1]]: cultivo de jitomate a 0.7 dS/m; [[T2]]: cultivo de jitomate a 2 dS/m; [[T3]]: cultivo de jitomate asociado a *B. monnieri* a 2 dS/m; [[T4]]: injerto sobre pariente silvestre variedad *ceraciforme* 2 dS/m; bs: base seca. Medias seguidas horizontalmente del mismo carácter literario no difieren estadísticamente (Tukey, 0.05).

Índice de redondez. No se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en cuanto a la forma de los frutos entre tratamientos. Esta variable es propia de cada variedad del cultivo y se ve influenciada por el efecto de las semillas productoras de hormonas en edades tempranas. El índice de redondez es una magnitud que se calcula como el cociente obtenido entre el diámetro polar y el ecuatorial, su naturaleza es adimensional y representa un fruto más redondo conforme se va acercando a la unidad (Casierra-Posada y Cardozo,

2009). Algunos autores como Velasco-Alvarado *et al.*, 2017b, reportan diferencias significativas en la forma de los frutos producto de varios injertos sobre distintos patrones silvestres; también mencionan en su documento que el desarrollo depende de la afinidad entre el patrón y el injerto. Por otro lado, Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012, explican que la variable depende también en gran medida del potencial osmótico generado en el sustrato.

Peso. No se observan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el peso de los frutos entre los grupos [[T2]], [[T3]] y [[T4]], es decir, los grupos relacionados con el riego salino, pero si se observó un valor superior significativo en los frutos de [[T1]]. En cuanto al injerto en [[T4]], autores como Milenkovic *et al.*, 2018, mencionan que el aumento en el peso del fruto depende de la afinidad que exista entre el patrón y el injerto. En este estudio se reportó la ausencia de diferencias significativas entre los frutos de plantas injertadas y no injertadas, con pesos de entre 196.9 y 199.5 de la variedad de jitomate “Óptima F1”, sobre un patrón de cv. “Maxifort” bajo condiciones de una red roja con un índice de sombreado del 50 %. Goykovic-Cortés y Saavedra-del Real (2007) reportaron que algunas variedades como “95-43” presentaron menor peso en los frutos y otras como “Marikit” inclusive aumentaron la variable en un 38.4 %, cuando estos son expuestos a 150 mM de NaCl. El comportamiento del peso de los frutos de este experimento, puede deberse a las características genéticas de la cv. “Río Grande” y su respuesta a la salinidad.

Firmeza. La firmeza es el parámetro que se utiliza para medir la textura del fruto. Esta variable se encuentra relacionada con la resistencia, en unidades de presión, que presenta un fruto en su superficie o pericarpio para ser perforada y se encuentra influenciada por diversos factores celulares como el tamaño, forma y contenido de agua y sólidos solubles. Se trata de un parámetro sugerido para la evaluación de la calidad de diversos frutos ya que los consumidores lo relacionan con la vida de anaquel (Hirzel *et al.*, 2018; Márquez *et al.*, 2009).

En comparación con [[T2]], solo [[T3]] demostró aumentar la firmeza de manera significativa ($p \leq 0.05$). La planta *B. monnieri* en [[T3]] y su capacidad desalinizante provocó que los valores de la firmeza de los frutos alcanzaran la similitud con los de [[T1]], tratamiento fuera de condiciones salinas. El injerto en [[T4]], tuvo resultados similares que [[T2]], por lo que se demuestra que esta alternativa no representa una opción para mejorar el fruto en cuanto a esta variable.

La firmeza de los frutos de tipo Saladette se encuentra entre 2.4 y 3.6 kgf si se emplea una sonda similar a la utilizada en este experimento (Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012). Los valores

observados, de forma general, son superiores al intervalo expuesto por Urrieta-Velázquez; lo que puede deberse a la diferencia en el punto de madurez en el momento de la cosecha recordando el papel de diversas enzimas en la pérdida de firmeza (Hirzel *et al.*, 2018).

Sólidos solubles y humedad. Mientras se observó una diferencia significativa ($p \leq 0.05$) superior por parte de [[T4]] del 18.75 % con respecto a [[T2]] en el contenido de sólidos solubles, no sucede lo mismo con [[T3]]. Algunos autores como Milenkovic *et al.*, 2018, reportaron no haber observado diferencias significativas en el contenido de sólidos solubles en los frutos de plantas injertadas y no injertadas, argumentando que la mayor eficiencia de absorción de agua por parte del patrón, produjo en él un efecto de dilución de los sólidos solubles. Sin embargo, otros autores como Machado y Serralheiro (2017), aseguran incrementos significativos de sólidos solubles en frutos de jitomate, cuando este se ve expuesto a condiciones de salinidad. Esta última afirmación puede explicar que los tres grupos sometidos a condiciones salinas, muestran cantidades significativamente ($p \leq 0.05$) mayores con respecto del [[T1]]. La diferencia significativa entre [[T3]] y [[T4]] puede estar apoyada por el hecho de que *B. monnieri* aumentó la disponibilidad de agua en el suelo al extraer las sales, provocando un mayor contenido en el fruto y un efecto de dilución. En general, todos los grupos presentaron porcentajes notablemente altos, considerando que las variedades comerciales tienen valores entre 3.5 y 5.96 % (Figuroa-Cares *et al.*, 2018).

Así mismo, no se observan diferencias significativas en el contenido de humedad de los 4 tratamientos, a pesar de que autores como Milenkovic *et al.*, 2018, afirman que los frutos de las plantas no injertadas presentan un menor contenido de agua en contraste con aquellas injertadas; mientras que Casierra-Posada y Pachón (2007), exponen la disminución en el contenido de humedad en frutos de plantas expuestas a la salinidad.

Por otra parte, en un estudio realizado por Ruiz-Cisneros *et al.*, 2018, reportaron un porcentaje medio de humedad de 96.8 % en una variedad de jitomate “Merlice” cultivado en invernadero, es decir un mayor valor en contraste con los tratamientos del experimento incluyendo [[T1]], que no fue expuesto a condiciones de salinidad, esto puede deberse a la naturaleza genética de la variedad. Por la manera en que se manifestó el contenido de sólidos solubles en los frutos, se esperaba que el contenido de humedad tuviera un comportamiento inverso. La variabilidad entre frutos dentro del mismo tratamiento, puede ser un factor que dificulte la identificación de las diferencias estadísticas entre medias.

Acidez titulable. Esta variable, conocida también como acidez total, se determina titulando directamente el jugo de los frutos. Sirve para cuantificar la cantidad de ácido orgánico

presente y se reporta en unidades de porcentaje del ácido de mayor concentración de cada fruto u hortaliza, en el caso del jitomate se trata de ácido cítrico. Es de las principales variables de interés a la hora de evaluar la calidad organoléptica del fruto de jitomate, pues la relación que presenta con los sólidos solubles determinará el sabor dulce, agrio o insípido (Milenkovic *et al.*, 2018).

También se observaron dos agrupaciones de medias en la variable de acidez titulable. Los frutos de [[T3]] tienen una cantidad significativamente ($p \leq 0.05$) mayor con respecto a los tres grupos restantes, específicamente 25.97 % con respecto a [[T2]]. Autores como Ruiz-Cisneros *et al.*, 2018, afirman que el peso de los frutos se encuentra directamente relacionado con la acidez titulable, además, otros autores como Milenkovic *et al.*, 2018, reportan una mayor concentración de ácido cítrico en jitomates de plantas injertadas. Por otra parte, Casierra-Posada y Pachón (2007) argumentan que los frutos de las plantas de jitomate sometidas a estrés por salinidad son más ricos en ácidos orgánicos.

En un estudio realizado por Turhan *et al.*, 2011, se estudiaron los frutos producto de distintas variedades de injertos (“Yeni”, “Talya”, “Swanson” y “Beril”) sobre dos patrones (“Beaufort” y “Arnold”). Los frutos de las plantas injertadas en todos los casos mostraron un mayor contenido de acidez que aquellos de las no injertadas, con valores de entre 0.37 y 0.39 % y en el trabajo de Campos *et al.*, 2009, se reportan valores de 0.36 % para jitomate de tipo Saladette en producción de invernadero. En el presente experimento se observaron valores superiores a los reportados por Turhan y Campos en todos los tratamientos, este hecho, puede relacionarse con la afirmación de Casierra-Posada y Pachón (2007) sobre la salinidad, pero también con la genética propia de la cv. “Río Grande”, pues en [[T1]], el tratamiento no expuesto a condiciones de salinidad, también se observaron mayores cantidades que en Tuthan *et al.*, 2011.

Número y peso de semillas. Se observan diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en cuanto al número de semillas en los cuatro grupos. Es interesante observar que [[T3]] y [[T4]] muestran una disminución del 37.37 y 47.57 % con respecto de [[T2]]. Autores como Ramos-Ortega *et al.*, 2006, explican que el número de semillas se encuentra ligado en mayor medida al proceso de polinización del cultivo, siendo afectado por factores como la humedad y no tanto a la exposición a la salinidad. Esta puede ser la razón por la cual no se observa un comportamiento congruente en los tratamientos.

En el peso de las semillas, también se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$). [[T3]] y [[T4]] lograron aumentar la variable respecto a [[T2]] en un 57.14 y 14.28 %, siendo el

injerto, el tratamiento con mayor influencia positiva en la variable. Sin embargo, las cifras alcanzadas por ambos tratamientos no se acercan a las reportadas en el [[T1]], lo que demuestra que ninguno mitiga por completo el efecto de la salinidad en el cultivo.

Los datos reportados demuestran que la salinidad y con ella [[T3]] y [[T4]], no afectan el número de semillas, pero sus influencias si se encuentran reflejadas en el peso. Este último se encuentra directamente relacionado con el vigor con el que se puede desarrollar una planta a partir de esta (Ramos-Ortega *et al.*, 2006). Además, debemos recordar que las hormonas producidas en las semillas en edades tempranas tienen un efecto directo sobre el peso que presentará el fruto en su punto de madurez (Casierra-Posada y Cardozo, 2009).

El jitomate tipo Saladette de invernadero produce de entre 3.75 y 12.88 semillas por fruto, con un peso de aproximadamente 0.33 g por cada centenar de estas (Ramos-Ortega *et al.*, 2006). En los tratamientos de esta investigación se observaron valores mayores en ambas variables que los reportados por el autor, esto puede deberse, a las diferencias en el manejo agronómico y el proceso de polinización que se llevaron a cabo.

Cenizas. Las cenizas se obtienen de la calcinación de la materia orgánica del fruto. Esta variable no siempre expresa la cantidad total de componentes inorgánicos, debido a las pérdidas por las reacciones químicas que ocurren durante el proceso de calcinación. Es un método sencillo para determinar la calidad de los alimentos y su valor nutricional (Pearson, 1993). El jitomate, según autores como Navarro-González y Periago (2016), es una fuente de minerales como sodio, potasio, calcio, magnesio, cobre, manganeso y zinc, mencionando que su contenido está influenciado por la genética de cada variedad y el manejo agronómico que se aplique.

Existen diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de cenizas de los frutos. Los tratamientos [[T3]] y [[T4]] aumentaron el contenido en 36.23 y 11.59 % con respecto a [[T2]]; por su parte, [[T1]] presenta un contenido aún más elevado que estos últimos. Casierra-Posada y Pachón (2007) en su estudio, exponen que el estrés por salinidad afecta directamente reduciendo el contenido de cenizas en los frutos de jitomate de variedades híbridas “Supermagnate F1”, “Marimba F1”, “Gloria F1” y “Astona F1”, observándose una reducción entre el 0.5 y 33.5 % de estos minerales en comparación al control en concentraciones de 40 y 80 mM, respectivamente.

Es evidente que los tratamientos [[T3]] y [[T4]] promovieron un aumento de cenizas en el fruto, una posible explicación a este fenómeno es que ambos permiten una mayor asimilación por parte de la planta de nutrientes esenciales como el K^+ , mineral que se

encuentra limitado cuando existen concentraciones elevadas de Na⁺ en el suelo (Machado y Serralheiro, 2017), pues ya se ha mencionado por Pearson en 1993, que la mayoría de compuestos en las cenizas de los vegetales son derivados de potasio. En el caso de *B. monnieri* en [[T3]], ésta mayor captación de K⁺ puede deberse a la bioacumulación de Na⁺ en la planta de acompañamiento (Lastiri-Hernández *et al.*, 2019). Ahora, para el caso de [[T4]], el mecanismo de compartimentación de Na⁺ por parte del patrón podría permitir un mejor flujo de K⁺ (Cortés, 2014; Shannon *et al.*, 1994; Serrano, 1986).

Proteína. Recientemente la proteína vegetal ha ganado popularidad en las ciencias de la nutrición y se ha buscado otro tipo de fuentes distintas a la animal para satisfacer las necesidades alimentarias, pues estas últimas han sido relacionadas con trastornos cardiovasculares (Quesada y Gómez, 2019).

En el experimento, los tratamientos [[T3]] y [[T4]] no aumentaron el contenido proteico con respecto a [[T2]], tampoco se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) entre [[T1]] y [[T2]]. Aunque los datos de este experimento sugieren que la salinidad no tiene mayor influencia en la síntesis de proteína dentro del fruto; autores como Casierra-Posada y Pachón (2007), argumentan que la salinidad promueve el incremento de estas moléculas, debido a que se sintetiza una proteína llamada osmotina, que representa aproximadamente el 12 % del total de proteínas en condiciones de estrés salino, como una estrategia de adaptabilidad por parte de la planta. En el estudio de este autor, en el que se evaluaron las variedades de híbridos “Supermagnate F1”, “Marimba F1”, “Gloria F1” y “Aston F1”, expuestos a salinidad por NaCl de 40 y 80 mM, se observaron incrementos de 33.9 y 67.7 % respectivamente en comparación al control.

Lípidos. En los últimos años se han popularizado las fuentes lipídicas vegetales ya que las de origen animal se han relacionado con obesidad y enfermedades cardiovasculares (García, 2009). Algunos lípidos como los fitoesteroles participan en la rigidez del fruto, además, se han atribuido propiedades reductoras de colesterol en el organismo. En el caso del jitomate, este tipo de compuestos se ha relacionado con la maduración, el sabor del fruto y el contenido de licopeno (Labate *et al.*, 2007).

Los tratamientos [[T3]] y [[T4]] aumentaron el contenido lipídico de los frutos de manera significativa ($p \leq 0.05$) en 25 y 7.5 % con respecto a [[T2]]. Sin embargo, estos valores se encuentran por debajo de los reportados en [[T1]]. En el caso del experimento de Casierra-Posada y Pachón (2007), los frutos de jitomate (variedades de híbridos “Supermagnate F1”, “Marimba F1”, “Gloria F1” y “Aston F1”) de plantas expuestas a la salinidad de 40 y 80 mM

de NaCl, incrementaron su contenido en un 108.3 y 183.3 % de lípidos, con respecto al control, por lo que se afirma que la salinidad incrementa el porcentaje de grasa en los frutos. Sin embargo, los tratamientos del presente experimento se comportaron de manera distinta, siendo [[T1]], el tratamiento no sometido a condiciones de salinidad, aquel que presentó un mayor contenido lipídico con respecto a los otros tres tratamientos. En el caso de [[T3]], a pesar de que la planta *B. monnieri* mostró amortiguar los efectos de la salinidad, el fruto adquirió un porcentaje mayor que en [[T2]].

Licopeno y β -caroteno. El licopeno y el β -caroteno son dos compuestos carotenoides presentes en el fruto de jitomate que lo sitúan en el grupo de los alimentos funcionales, es decir, aquellos que tienen efectos positivos distintos a la nutrición como actividad antioxidante y prevención de enfermedades cardiovasculares. El licopeno es la molécula responsable del color rojo de los frutos y representa del 80 al 90 % del total de los carotenoides contenidos. La concentración en la que se hace presente depende de las características genéticas de la variedad, la nutrición de la planta y los factores abióticos a los que se encuentre expuesto el cultivo. Por su parte, el β -caroteno representa aproximadamente el 10 % del total de carotenoides y cumple un papel de provitamina A (Navarro-González y Periago, 2016). En el ciclo de los carotenoides el licopeno es el precursor inmediato del β -caroteno (López-Vidal *et al.*, 2014).

En los tratamientos se observó un mayor contenido de licopeno ($p \leq 0.05$) en [[T3]] y [[T4]] con 112 y 30.41 % en comparación de [[T2]]. La salinidad en [[T2]] provocó un decremento del 20.27 % con respecto a [[T1]], tratamiento que se encuentra fuera de condiciones de salinidad.

La concentración de licopeno en los frutos de los jitomates injertados depende en gran medida de la interacción entre el patrón y el injerto, sin embargo, la mayoría de autores reportan decrementos de este compuesto en frutos de plantas injertadas. Las cantidades encontradas en frutos injertados presentan valores de hasta 440 mg/kg en base seca (Milenkovic *et al.*, 2018). Los valores obtenidos en [[T1]], [[T2]] y [[T4]] son menores que los reportados por el autor mencionado, pero no sucede así con [[T3]], tratamiento que reporta las cifras más altas de licopeno.

Tratándose del β -caroteno, en los tratamientos [[T3]] y [[T4]] se reportaron cifras más altas ($p \leq 0.05$) que en [[T2]]. El tratamiento que presentó las mayores concentraciones en sus frutos fue [[T4]]. En un estudio de Cadillo *et al.*, 2006, se expone que el polvo de tomate de bola cosechado en Guasave Sinaloa, deshidratado por aspersion, presenta un contenido

de β -caroteno de 24.91 mg/kg, es decir una cantidad menor a las obtenidas en todos los tratamientos del presente experimento.

Debido al comportamiento de los datos, en especial la relación que existe entre [[T1]] y [[T2]], se puede sugerir que el estrés por salinidad por parte de las plantas del cultivo de jitomate afectó negativamente la síntesis de antioxidantes como el licopeno y el β -caroteno.

7.4. CALIDAD DE LOS FRUTOS EN LA NORMATIVIDAD MEXICANA (NMX-FF-031-1997-SCFI)

A continuación se presentan los resultados de la clasificación de los frutos, según la NMX-FF-031-1997-SCFI (Secretaría de Economía, 1997) (Tabla 8).

Tabla 8. Clasificación de los frutos del experimento según la NMX-FF-031-1997-SCFI.

VARIABLE	[[T1]]	[[T2]]	[[T3]]	[[T4]]
Diámetro ecuatorial (mm)	36.88 \pm 5.02 ^a	36.75 \pm 7.20 ^a	32.25 \pm 7.79 ^a	31.8 \pm 3.72 ^a
Tamaño	Chico	Chico	Chico	Chico
Dañados (%)	7.96 \pm 0.09 ^c	9.06 \pm 0.13 ^a	8.36 \pm 0.16 ^b	0.86 \pm 0.40 ^d
Malformados (%)	0 \pm 0 ^c	5 \pm 0.2 ^a	2 \pm 0.3 ^b	2 \pm 0.3 ^b
Grado	México 3	México 3	México 3	México 3

[[T1]]: cultivo de jitomate a 0.7 dS/m; [[T2]]: cultivo de jitomate a 2 dS/m; [[T3]]: cultivo de jitomate asociado a *B. monnieri* a 2 dS/m; [[T4]]: injerto sobre pariente silvestre variedad *ceraciforme* 2 dS/m. Medias seguidas horizontalmente del mismo carácter literario no difieren estadísticamente (Tukey, 0.05).

La NMX-FF-031-1997-SCFI (Secretaría de Economía, 1997), es una norma que, “Establece las especificaciones mínimas de calidad que deben cumplir los tomates o jitomates (*Solanum lycopersicum*) de la familia de las solanáceas, en todas sus variedades, para ser consumidos en estado fresco y comercializados en territorio nacional, después de su acondicionamiento y empacado”, según lo indica la misma en el documento oficial. Los frutos se clasifican en tres grados: México 1, México 2 y México 3, dependiendo de

características como daños, deformaciones, uniformidad en el punto de madurez, color y tamaño, con una tolerancia de incumplimiento del 10 %.

El diámetro ecuatorial y el peso del fruto son los principales indicadores del tamaño empleados en las normatividades. Esta variable determina la calidad del jitomate no solo en México sino a nivel global. En el mercado, se considera un jitomate de tipo Saladette como chico cuando este valor no supera los 50 mm (Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012), en la norma NMX-FF-031-1997-SCFI (Secretaría de Economía, 1997), se considera chico cuando se encuentra entre los 38 y 52 mm. Autores como Goykovic-Cortés y Saavedra-del Real (2007), exponen que en la mayoría de las variedades los frutos, como “Inproved Pope” a 150 mM de NaCl, presentaron un menor tamaño promedio cuando la planta se vio expuesta a condiciones salinas, en cambio, en otras como “Marikit”, se observó un incremento del 38.4 % cuando fue expuesto a 140 mM de NaCl. Autores como Márquez-Quiroz *et al.*, 2014, obtuvieron diámetros promedios en variedades Saladette “El Cid” y “Cuauhtémoc”, de 49 y 50 mm, respectivamente, un tamaño chico considerando las especificaciones de la norma mexicana mencionada. Además, en el presente experimento, no se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el diámetro ecuatorial de los frutos de los diferentes tratamientos.

La NMX-FF-031-1997-SCFI (Secretaría de Economía, 1997) considera un fruto dañado, como aquel que presenta un defecto que disminuye su apariencia y su calidad comestible. Algunos de estos son cicatrices, rajaduras, decoloraciones, estrías, áreas hundidas y podredumbre. En su mayor medida, los defectos de los frutos de este experimento se encuentran relacionados con necrosis apical, típica de la deficiencia de calcio (Figura 6).



Figura 6. Fruto dañado por necrosis apical.

Según Goykovic-Cortés y Saavedra-del Real (2007), la salinidad se encuentra también vinculada con frutos defectuosos, pues, el desorden fisiológico que provocan las proporciones inadecuadas de magnesio, amonio y potasio en la xilema, provoca dificultad para transportar el calcio al extremo distal de los frutos, además, mencionan que las especies silvestres son resistentes a este tipo de desequilibrios. Dicho efecto puede observarse en el experimento, pues [[T1]], tratamiento fuera de condiciones salinas, presenta un menor porcentaje de frutos defectuosos que [[T2]] ($p \leq 0.05$); por otro lado, [[T3]] reduce la cifra con respecto a [[T2]]; en [[T4]] se puede apreciar incluso una menor cantidad que en [[T1]].

La NMX-FF-031-1997-SCFI (Secretaría de Economía, 1997) considera un fruto malformado cuando éste no posee la forma típica de su variedad. En el presente experimento se observó una mayor cantidad de frutos malformados en [[T2]] que en los demás tratamientos ($p \leq 0.05$). Parece que [[T3]] y [[T4]] contribuyeron a disminuir la cantidad en comparación con [[T2]]. También se observó ausencia de malformados en las plantas no sometidas a estrés salino, es decir en [[T1]]. Esta variable se encuentra relacionada con el índice de redondez, mismo que fue discutido en el apartado anterior.

Aunque la norma involucrada no toma en cuenta la composición nutricional y funcional (actividad antioxidante) de los frutos, ni otro tipo de factores como la rentabilidad o el impacto ecológico de la forma de producción, si permite considerar la manera en que ésta hortaliza se comercializa. En este caso, el etiquetado al que corresponden los 4 tratamientos del experimento es México 3, el de menor calidad.

7.5. ANÁLISIS GENERAL DE CATIONES EN LOS SUELOS Y EL CULTIVO DE JITOMATE

Suelos. Se identificaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el comportamiento de los niveles de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en los suelos de tres tratamientos y al inicio del experimento (Tabla 9). El suelo inicial presenta las concentraciones más bajas de los cuatro cationes, este hecho puede deberse a que no se han incorporado cationes provenientes del agua de riego, insecticidas, promotores de crecimiento y sobre todo el fertilizante que incluye calcio y magnesio en su composición. [[T3]] redujo el contenido de Mg^{2+} , Na^+ y K^+ con respecto a [[T2]] en un 68.97, 27.98 y 56.77 %, mientras que en [[T4]], también se observaron reducciones de Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en un 96.59, 30.72 y 61.13% y un aumento del 69.45 % en Ca^{2+} con respecto a [[T2]] ($p \leq 0.05$). Los suelos de ambos tratamientos, [[T3]] y [[T4]],

tuvieron respuestas similares ($p \leq 0.05$) en el comportamiento catiónico de Mg^{2+} , Na^+ y K^+ , sin embargo se muestra un poco menos pronunciado en [[T4]].

Tabla 9. Resultados de la cuantificación de los cationes solubles Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en los suelos del experimento, sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

TRATAMIENTO	CATIONES SOLUBLES mmol/L			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
Inicial	1.37 ± 0.06^d	12.12 ± 0.25^b	8.85 ± 0.19^e	0.8 ± 0.09^e
[[T1]]	4.74 ± 0.10^c	15.16 ± 0.29^a	18.59 ± 0.21^d	1.83 ± 0.05^b
[[T2]]	11.0 ± 0.15^b	20.56 ± 0.25^d	44.46 ± 0.18^a	2.29 ± 0.10^a
[[T3]]	11.0 ± 0.23^b	6.38 ± 0.12^e	32.02 ± 0.14^c	0.99 ± 0.02^d
[[T4]]	18.64 ± 0.02^a	0.70 ± 0.12^c	30.80 ± 0.04^b	0.89 ± 0.03^c

Inicial: suelo previo al experimento; [[T1]]: cultivo de jitomate a 0.7 dS/m; [[T2]]: cultivo de jitomate a 2 dS/m; [[T3]]: cultivo de jitomate asociado a *B. monnieri* a 2 dS/m; [[T4]]: injerto sobre pariente silvestre variedad *ceraciforme* 2 dS/m. Medias seguidas verticalmente del mismo carácter literario no difieren estadísticamente (Tukey, 0.05).

En un estudio publicado por Lastiri-Hernández *et al.*, 2019, se evaluó la capacidad desalinizante de *B. monnieri* en un suelo de 11.18 dS/m en acompañamiento del cultivo de maíz (*Zea mays*). La planta fue analizada químicamente al principio y al final del experimento. Los resultados arrojan que aumentó 3 veces su contenido en Ca^{2+} , 3.5 en Mg^{2+} , 5.5 en Na^+ y 3 en K^+ . Esto podría explicar el efecto observado en el Mg^{2+} , Na^+ y K^+ intercambiables del suelo y sugerir que los iones faltantes se encuentran acumulados en la planta de acompañamiento.

Este mismo efecto podría explicar la reducción de Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en el suelo de [[T4]], el injerto, pues autores como Cortés, 2014, Shannon *et al.*, 1994 y Serrano, 1986, mencionan que el mecanismo adoptado por las especies tolerantes permite el libre flujo iónico para su

posterior compartimentación. Por lo tanto, se sugiere que los iones reducidos en el suelo se encuentran formando parte del sistema patrón-injerto.

Raíz. Las raíces del cultivo de jitomate del [[T1]] siempre presentaron menores concentraciones de los cuatro cationes con respecto a [[T2]] ($p \leq 0.05$). Ambos tratamientos, [[T3]] y [[T4]], redujeron la presencia de Na^+ en 56.1 y 54.07 % respectivamente ($p \leq 0.05$). Además incrementaron los valores de Mg^{2+} en un 43.85 y 16.33 % y K^+ en 21.88 y 26.35 %. [[T3]] redujo el Ca^{2+} en 28.37 % y [[T4]] lo aumentó en 48.8 % ($p \leq 0.05$) (Tabla 10).

Tabla 10. Resultados de la cuantificación de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en la raíz del cultivo de jitomate, sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

TRATAMIENTO	CATION mg/kg			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
[[T1]]	950.5 ± 2.50 ^c	72.5 ± 2.5 ^d	4100.5 ± 2.49 ^b	11201 ± 2.49 ^a
[[T2]]	1156.9 ± 1.31 ^d	491.5 ± 2.49 ^c	6729.5 ± 2.49 ^a	1745.5 ± 2.49 ^d
[[T3]]	828.65 ± 1.30 ^b	707 ± 3.80 ^a	2954.5 ± 2.49 ^d	2127.5 ± 2.49 ^c
[[T4]]	1721.5 ± 2.49 ^a	571.75 ± 1.24 ^b	3091 ± 3.8 ^c	2205.5 ± 2.49 ^b

[[T1]]: cultivo de jitomate a 0.7 dS/m; [[T2]]: cultivo de jitomate a 2 dS/m; [[T3]]: cultivo de jitomate asociado a *B. monnieri* a 2 dS/m; [[T4]]: injerto sobre pariente silvestre variedad *ceraciforme* 2 dS/m. Medias seguidas verticalmente del mismo carácter literario no difieren estadísticamente (Tukey, 0.05).

En un estudio publicado por Alfocea *et al.*, 1993, se observaron dos distintos comportamientos en los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ en raíces de las variedades de jitomate “Pera” y “P-73”, sometidos a condiciones de salinidad de 70 mM de NaCl. En la cv. “Pera” se observó un incremento significativo de 500 % de Na^+ y 23 % de K^+ , en comparación con plantas expuestas a 0 mM de NaCl; en cambio en la cv. “P-73” se reportó un incremento del 126 % de Na^+ y una disminución del 21 % de Mg^{2+} . Por lo tanto se puede sugerir que, cada variedad asimila cationes frente a condiciones de salinidad de forma diferente.

En otro estudio publicado por He *et al.*, 2009, se estudió el comportamiento de los cationes Na⁺ y K⁺ en las raíces de un injerto “Hezuo903” en un patrón de la cv. “Zhezhen No. 1”, frente a condiciones de 0 y 50 mM de NaCl. En ausencia de condiciones salinas el injerto demostró disminuir el contenido de Na⁺ en un 3.7 % y aumentar el de K⁺ en 1.3%, en contraste de plantas no injertadas. Sin embargo, en condiciones de salinidad, el injerto el decremento de Na⁺ es tan solo del 0.28 % y el incremento de K⁺ mantuvo la misma proporción.

Los tratamientos [[T3]] y [[T4]] tuvieron efectos similares en el comportamiento de los cationes Na⁺, Mg²⁺ y K⁺ en las raíces. Tanto el efecto halofitorremediación de *B. monieri* de [[T3]] (Lastiri-Hernández *et al.*, 2019) y el de inclusión y libre flujo de iones del patrón silvestre (Cortés, 2014; Shannon *et al.*, 1994; Serrano, 1986) redujeron la acumulación de Na⁺ y promovieron la de nutrientes esenciales como Mg²⁺ y K⁺.

Follaje. El follaje de la planta en [[T2]] presenta mayores concentraciones de Ca²⁺ y Na⁺, pero menores de Mg²⁺ y K⁺, con respecto a [[T1]] ($p \leq 0.05$). Por otra parte, en [[T3]] y [[T4]] disminuyó la concentración de Ca²⁺ en un 53.74 y 51.61 % y de Na⁺ en un 77.95 y 77.52 %; de manera contraria aumentó en el contenido de Mg²⁺ en un 115.04 y 28.02 % y K⁺ en 115.12 y 169.5 %, respectivamente (Tabla 11).

Tabla 11. Resultados de la cuantificación de los cationes Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺ y K⁺ en el follaje del cultivo de jitomate, sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

TRATAMIENTO	CATION mg/kg			
	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺
[[T1]]	2668.5 ± 2.49 ^d	854.5 ± 2.49 ^b	1407.5 ± 2.49 ^d	9306 ± 2.49 ^c
[[T2]]	6922.5 ± 2.49 ^a	571.75 ± 1.24 ^d	6875.5 ± 2.49 ^a	4557 ± 2.49 ^d
[[T3]]	3202.5 ± 2.49 ^c	1229.5 ± 2.49 ^a	1516 ± 7.8 ^c	11626 ± 2.49 ^b
[[T4]]	3349.5 ± 2.49 ^b	732 ± 2.49 ^c	1545.5 ± 1.44 ^b	12281 ± 2.49 ^a

[[T1]]: cultivo de jitomate a 0.7 dS/m; [[T2]]: cultivo de jitomate a 2 dS/m; [[T3]]: cultivo de jitomate asociado a *B. monnieri* a 2 dS/m; [[T4]]: injerto sobre pariente silvestre variedad *ceraciforme* 2 dS/m. Medias seguidas verticalmente del mismo caracter literario no difieren estadísticamente (Tukey, 0.05).

En un estudio de Santa-Cruz *et al.*, 2002, se observaron decrementos del 30 y 40 % de Na^+ y K^+ en el follaje de las plantas injertadas con respecto a las no injertadas, de la cv. “Moneymaker” sobre “Kyndia”, sometidos a una salinidad de 50 mM de NaCl. También se mostró un decremento de Na^+ del 75 % y un incremento del 100 % de K^+ en la cv. “UC-82B”, sobre el mismo patrón y bajo las mismas condiciones de salinidad. Los autores explican que la acumulación de cationes en las hojas es influenciada por el genotipo del patrón. En otro estudio, publicado por Fernández-García *et al.*, 2004, se evaluó el contenido catiónico de materia seca del follaje de las plantas de la cv. “Fanny”, injertadas en “AR-9704” a 30 mM de NaCl, y se observó una reducción de Na^+ en un 4.43 %, sin evidencias de diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$) en cuanto a Ca^{2+} , Mg^{2+} y K^+ .

La mayor concentración de calcio en el follaje de [[T2]] con respecto a [[T3]] y [[T4]], no coincide con la afirmación de autores como Cortés, 2014, Shannon *et al.*, 1994 y Serrano, 1986, pues mencionan que las plantas resistentes como el jitomate, permiten un flujo iónico con menor dificultad, en especial en el caso del Ca^{2+} , de ser así se esperaría una mayor concentración de este en las plantas injertadas de [[T4]] y en las acompañadas con *B. monnieri* en [[T3]].

Autores como Machado y Serralheiro (2017), mencionan que la presencia excesiva de iones como Na^+ y Cl^- cerca de la raíz, pueden intervenir con la absorción de nutrientes esenciales como Mg^{2+} y K^+ . Este efecto puede observarse claramente en los tratamientos [[T3]] y [[T4]], pues la influencia de *B. monnieri* y el injerto permitieron el libre flujo de estos iones al follaje, siendo en el caso de [[T3]] la halofitorremediación (Lastiri-Hernández *et al.*, 2019) y en [[T4]] por la compartimentación de iones tóxicos (Cortés, 2014; Shannon *et al.*, 1994; Serrano, 1986).

La reducción significativa del Na^+ de [[T3]] con respecto a [[T2]], puede estar vinculada con lo observado en el estudio de Lastiri-Hernández *et al.*, 2019, pues reportó que la planta de acompañamiento *B. monnieri*, acumuló suficiente Na^+ como para que la absorción por parte de la susceptible planta de jitomate disminuyera significativamente en comparación con aquellas no acompañadas. En el caso de [[T4]], se observó un efecto parecido al del estudio de Santa-Cruz *et al.*, 2002, pues el injerto de ambas variedades (“Moneymaker” y “UC-82B” sobre “Kyndia”) demostraron disminuir la concentración de Na^+ en el follaje.

Frutos. No se detectó la presencia de Ca^{2+} en los frutos con el método utilizado. Se observó un incremento significativo ($p \leq 0.05$) de Na^+ y un decremento en los niveles de Mg^{2+} y K^+ en los frutos de las plantas de [[T2]] con respecto a las de [[T1]], tratamiento fuera de

condiciones de salinidad. [[T3]] y [[T4]] tuvieron efectos similares en los cationes Mg^{2+} y K^+ con respecto a [[T2]], pues aumentaron la concentración de Mg^{2+} en 25.29 y 19.63 % y disminuyeron la de Na^+ en 22.04 y 58.73 % respectivamente. En cuanto al K^+ , [[T3]] aumentó la concentración en un 58.94 % y [[T4]] la disminuyó en un 76.06 % (Tabla 12).

Tabla 12. Resultados de la cuantificación de los cationes Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ y K^+ los frutos del cultivo de jitomate, sometidos a un análisis de varianza y una prueba Tukey ($p \leq 0.05$).

TRATAMIENTO	CATION mg/kg			
	Ca^{2+}	Mg^{2+}	Na^+	K^+
[[T1]]	ND ^a	36.8 ± 0.50 ^c	390 ± 62.60 ^d	13987.5 ± 129 ^b
[[T2]]	ND ^a	34.9 ± 0.50 ^d	1157 ± 12.43 ^a	10290 ± 131 ^c
[[T3]]	ND ^a	43.725 ± 0.50 ^a	902 ± 12.80 ^b	16355 ± 249 ^a
[[T4]]	ND ^a	41.75 ± 0.40 ^b	477.5 ± 12.43 ^c	2463.5 ± 128.70 ^d

[[T1]]: cultivo de jitomate a 0.7 dS/m; [[T2]]: cultivo de jitomate a 2 dS/m; [[T3]]: cultivo de jitomate asociado a *B. monnieri* a 2 dS/m; [[T4]]: injerto sobre pariente silvestre variedad *ceraciforme* 2 dS/m. Medias seguidas verticalmente del mismo carácter literario no difieren estadísticamente (Tukey, 0.05).

Estos resultados pueden contrastar con los de Velasco-Alvarado *et al.*, 2016b, autores que publicaron un estudio en el que se cuantifica la concentración iónica en el fruto de una variedad comercial “El Cid” tipo Saladette, sobre un patrón híbrido comercial “Multifort”, mostrándose un incremento de Ca^{2+} y K^+ en las plantas injertadas en un 65.5 y 46, 59.4 % respectivamente. Otros autores como Casierra-Posada y Pachón (2007) resaltan la importancia del contenido de potasio en la calidad de los frutos. El incremento de K^+ observado en los frutos de [[T4]], así como en el experimento de Velasco-Alvarado, puede deberse al mayor vigor en la absorción de agua y nutrientes por parte del patrón en conjunto del elevado suministro de hormonas vegetales endógenas sintetizadas en sus raíces (Grieneisen *et al.*, 2018; Lee, 1994) y el libre flujo de iones que permiten mecanismos como la compartimentación de sales tóxicas (Cortés, 2014; Shannon *et al.*, 1994; Serrano, 1986). En el caso de [[T3]], la acumulación de *B. monnieri* de iones, especialmente Na^+ , reducen la toxicidad del suelo y permiten la mejor absorción de nutrientes como K^+ (Lastiri-Hernández *et al.*, 2019).

Los diferentes resultados en los experimentos de Alfocea *et al.*, 1993, He *et al.*, 2009, Santa-Cruz *et al.*, 2002, Fernández-García *et al.*, 2004 y Velasco-Alvarado *et al.*, 2016b, permiten entender que, el comportamiento catiónico de las plantas de jitomate (raíz, follaje y frutos) expuestas a condiciones de salinidad, se encuentra relacionado con la resistencia propia de cada variedad y la compatibilidad patrón-injerto, si es el caso. La forma en que la cv. “Río Grande” gestiona el flujo iónico frente al estrés hídrico, no se parece a ninguna de las expuestas por los autores y sucede lo mismo cuando este es injertado en un patrón silvestre de la variedad “*ceraciforme*”.

Por otro lado, la información nos permite comprender que la relación entre el cultivo de jitomate y *B. monnieri*, no es de naturaleza competitiva, sino por el contrario, el acompañamiento de esta halófito mejoró significativamente ($p \leq 0.05$) la composición mineral del cultivo, sobre todo excluyendo iones tóxicos como Na^+ y permitiendo el flujo de aquellos esenciales como Mg^{2+} y K^+ .

VIII. CONCLUSIONES

- ✓ El cultivo de jitomate (*S. lycopersicum*) en asociación con *B. monnieri* bajo condiciones de salinidad incrementó el rendimiento de cosecha, firmeza de frutos, acidez titulable, cenizas, lípidos, β -caroteno, magnesio, potasio y peso de semillas. También disminuyó la bioacumulación de sodio, tanto en raíces como en la parte aérea.
- ✓ Existe una buena capacidad de asociación entre la halófito *B. monnieri* y el cultivo de jitomate (*S. lycopersicum*), pues no se observaron evidencias de competitividad entre ambas especies.
- ✓ El injerto del cultivo de jitomate (*S. lycopersicum*) sobre un pariente silvestre (*S. lycopersicum* var. *ceraciforme*) respondió con un incremento en el contenido de materia seca, sólidos solubles, cenizas, lípidos, licopeno, β -caroteno, magnesio y potasio; así como una disminución en la bioacumulación de sodio en raíces y en la parte aérea.
- ✓ Comparando la influencia de los tratamientos de halofitorremediación con *B. monnieri* y el injerto sobre un pariente silvestre de mayor resistencia a la salinidad, se observó un mayor número de beneficios por parte de la halofitorremediación en el cultivo de jitomate (*S. lycopersicum*).

IX. REFERENCIAS

Aguilar-Ortega, T. (2018). Exilio michoacano en Estados Unidos. In: Desigualdad regional, pobreza y migración. Universidad Nacional Autónoma de México y Asociación Mexicana de Ciencias para el Desarrollo Regional A.C, AMECIDER: 978-607-96649-8-5.

Alcántar, G. C. y M. Sandoval V. 1999. Manual de análisis químico de tejido vegetal. Guía de muestreo, preparación, análisis e interpretación. Publicación Especial No. 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo A. C. Chapingo, México.

Alfocea, F. P., Estan, M. T., Caro, M. y Bolarin, M. C. (1993). "Response of tomato cultivars to salinity" [Respuesta del cultivo de jitomate a la salinidad]. *Plant and soil*, 150(2), 203-211.

Almeida, R. y Serralheiro, R. (2017). Salinidad del suelo: efecto sobre el crecimiento de cultivos hortícolas. Prácticas de manejo para prevenir y mitigar la salinización del suelo. *Horticulturae* 3(2), 13-30.

Al-Omar, M. S., Sajid, M. S., Alnasyan, N. S., Almansour, B. S., Alruthaya, R. M., Khan, R. A. y Mohammed, H. A. (2020). "The halophytic plant, Suaeda vermiculata Forssk extracts reduce the inflamed paw edema and exert potential antimicrobial activity" [Los extractos de la planta halófito Suaeda vermiculata Forssk reducen el edema inflamado y ejercen una potencial actividad antimicrobiana]. *Pak. J. Bot*, 53.

Álvarez-Bernal, D., Ochoa-Estrada, S., Arroyo-Damian, M., Balbuena-Osben, H. R., Moncayo-Estrada, R. y Mora, M. (2013). "Assessment of water quality of drains from irrigation district in a semiarid agricultural zone" [Evaluación de la calidad del agua de los desagües del distrito de riego en una zona agrícola semiárida]. *International Journal of Agronomy and Agricultural Research*, 3(11), 7-15.

Álvarez-Hernández, J. C. (2012). Comportamiento agronómico e incidencia de enfermedades en plantas de tomate (*Solanum lycopersicum* L) injertadas. *Acta agronómica*, 61(2), 117-125.

Andrade-Rodríguez, M. (2012). *Prácticas de edafología y climatología*. Universidad de la Rioja.

Aparicio, V., De Gerónimo, E., Guijarro, K. H., Perez, D., Portocarrero, R., y Vidal, C. (2015). Los plaguicidas agregados al suelo y su destino en el ambiente. *INTA Ediciones, Argentina*, 1-74.

APHA (1998). “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” [Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales]. 20 edición. American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environmental Federation, Washington DC.

APHA (2012). “*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*” [Métodos estándar para el análisis de agua y aguas residuales]. 22 edición American Public Health Association, American Water Works Association and Water Environment Federation, Washington, D.C.

Arias-Mota, R. M., Romero-Fernández, A. D. J., Bañuelos-Trejo, J., y Cruz-Elizondo, Y. D. L. (2019). Inoculación de hongos solubilizadores de fósforo y micorrizas arbusculares en plantas de jitomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 10(8), 1747-1757.

Barreira, L., Resek, E., Rodrigues, M. J., Rocha, M. I., Pereira, H., Bandarra, N. y Custódio, L. (2017). “Halophytes: Gourmet food with nutritional health benefits?” [Halófitas: ¿Comida gourmet con beneficios nutricionales para la salud?]. *Journal of Food Composition and Analysis*, 59, 35-42.

Benito-Bautista, P., Arellanes-Juárez, N. y Pérez-Flores, M. E. (2016). Color y estado de madurez del fruto de tomate de cáscara. *Agronomía Mesoamericana*, 27(1), 115-130.

Bharti, N., Yadav, D. y Barnawal, D. (2013) “*Exiguobacterium oxidotolerans*, a halotolerant plant growth promoting rhizobacteria, improves yield and content of secondary metabolites in *Bacopa monnieri* (L.) Pennell under primary and secondary salt stress” [Exiguobacterium oxidotolerans, una rizobacteria que promueve el crecimiento de plantas halotolerantes, mejora el rendimiento y el contenido de metabolitos secundarios en *Bacopa monnieri* (L.) Pennell bajo estrés salino primario y secundario”]. *World J Microbiol Biotechnol* 29, 379–387.

Bonet-Pérez, C., y Ricardo-Calzadilla, M. P. (2011). Calidad del agua de riego y su posible efecto en los rendimientos agrícolas en la Empresa de Cultivos Varios Sierra de Cubitas. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 20(3), 19-23.

Bremner, J. M. (1965). "Total nitrogen" [Nitrógeno total]. *Methods of Soil Analysis: Part 2 Chemical and Microbiological Properties*, 9, 1149-1178.

Brutti, L. N., Beltran, M. J., y García de Salamone, I. (2018). *Biorremediación de los recursos naturales*. Ediciones INTA.

Bueno, M., y Cordovilla, M. P. (2019). "Polyamines in halophytes" [Poliaminas en halófitas]. *Frontiers in plant science*, 10, 439.

Burbano-Orjuela, H. (2016). El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, 33(2), 117-124.

Cadillo, M. G. C., Guzmán, M. G. D. J. A., y del Río-Olague, F. (2006). Cuantificación de licopeno y otros carotenoides en tomate y polvo de tomate. *Revista Mexicana de agronegocios*, 10(19), 0.

Campos, H., Trejo, C., Peña-Valdivia, C. B., Ramírez-Ayala, C. y Sánchez-García, P. (2009). "Effect of partial rootzone drying on growth, gas exchange, and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.)" [Efecto del secado parcial de la zona radicular sobre el crecimiento, el intercambio de gases y el rendimiento del tomate (*Solanum lycopersicum* L.)]. *Scientia Horticulturae*, 120(4), 493-499.

Casierra-Posada, F. y Cardozo, M. C. (2009). Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto. *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 62 (1), 4815-4822.

Casierra-Posada, F., Pachón, C. A. y Niño-Medina, R. C. (2007). Análisis bromatológico en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) afectados por salinidad por NaCl. *Revista U. D. C. A. Actualidad*, 10(2), 95-104.

Castellón-Gómez, J. J., Bernal-Muñoz, R., y Hernández-Rodríguez, M. L. (2015). Calidad del agua para riego en la agricultura protegida en Tlaxcala. *Ingeniería*, 19 (1), 39-50.

Chaudhari, K. S., Tiwari, N. R., Tiwari, R. R. y Sharma, R. S. (2017). "Neurocognitive effect of nootropic drug Brahmi (*Bacopa monnieri*) in Alzheimer's disease" [Efecto neurocognitivo del fármaco nootrópico Brahmi (*Bacopa monnieri*) en la enfermedad de Alzheimer]. *Annals of neurosciences*, 24(2), 111-122.

Chávez-Alcántar, A., Velázquez-Machuca, M., Pimentel-Equihua, J. L., Venegas-González, J., Montañez-Soto, J. L., y Vázquez-Gálvez, G. (2011). Hidroquímica de las aguas superficiales de la Ciénega de Chapala e índice de calidad de agua. *Terra Latinoamericana*, 29(1), 83-94.

CONAGUA (Comisión Nacional del Agua) 2005. Plan director para la modernización integral del riego en el Distrito de Riego 024 Ciénega de Chapala, Conagua, México.

Cortés, V. G., Alanoca, P. N., y Llave, M. C. (2014). Efecto de la salinidad sobre la germinación y crecimiento vegetativo de plantas de tomate silvestres cultivadas. *Interciencia*, 39(7), 511-517.

Cortez-Madrugal, H. (2010). Resistencia a insectos de tomate injertado en parientes silvestres, con énfasis en *Bactericera cockerelli* Sulc.(Hemiptera: Psyllidae). *Bioagro*, 22(1), 11-16.

Covarrubias, S. A., y Cabriales, J. J. P. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: Problemática y estrategias de fitorremediación. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 33, 7-21.

Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., y Acevedo-Sandoval, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.

Di-Gioia, F., Signore, A., Serio, F. y Santamaria, P. (2013). "Grafting improves tomato salinity tolerance through sodium partitioning within the shoot" [El injerto mejora la tolerancia a la salinidad del tomate mediante la distribución del sodio dentro del brote]. *HortScience*, 48(7), 855-862.

Escandón, S., Hagiwara, A., Alderete, J. C. y Marisol, L. (2006). "A new variety of *Bacopa monnieri* obtained by in vitro polyploidization" [Una nueva variedad de *Bacopa monnieri* obtenida por poliploidización in vitro]. *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(3).

Estrada-Trejo, V., Lobato-Ortiz, R., García-de los Santos, G., Carrillo-Castañeda, G., Castillo-González, F., Contreras-Magaña, E., Ayala-Garay, O. J., De la O Olan, M. y Artola-Mercadal, A. (2014) Diversidad de poblaciones nativas de jitomate para germinación en condiciones salinas *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5, (6), 1067-1079.

Fernández-García, N., Martínez, V., y Carvajal, M. (2004). "Effect of salinity on growth, mineral composition, and water relations of grafted tomato plants" [Efecto de la salinidad sobre el crecimiento, composición mineral y relaciones hídricas de plantas de tomate injertadas]. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 167(5), 616-622.

Figuroa-Cares, I. E., Cruz-Álvarez, O., Martínez-Damián, M. T., Rodríguez-Pérez, J. E., Colinas-León, M. T., y Valle-Guadarrama, S. (2018). "Nutritional quality and antioxidant capacity in native tomato varieties and genotypes (*Solanum lycopersicum* L.)" [Calidad nutrimental y capacidad antioxidante en variedades y genotipos nativos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.)]. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 35(1), 63-84.

Gandica-Omaña, H., y Peña, H. (2015). Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido. *Bioagro*, 27(2), 111-120.

García, A. (2009). Manejo de suelos con acumulación de sales. In *Memorias VIII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo, Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo, Esmeraldas, Ecuador*. 8-10.

García, A. (2012a). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego. *IAH*, 7, 27-36.

García, A. (2012b). Criterios modernos para evaluación de la calidad del agua para riego SEGUNDA PARTE. *Chair Person Soil Fertility and Plant Nutrition Commission*, 26-34.

García, L. A. (2009). Lípidos dietarios y salud humana. *Veterinaria Cuyana*, 4, 55-57.

Garzón, J. M., Miranda, J. P. R., y Gómez, C. H. (2017). Aporte de la biorremediación para solucionar problemas de contaminación y su relación con el desarrollo sostenible. *Universidad y salud*, 19(2), 309-318.

Gaytán-Ruelas, M., Vargas-Espinoza, E., Rivera-Arredondo, M., y Morales-Félix, V. D. J. (2016). Efecto del raleo de frutos en el rendimiento de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) bajo invernadero. *Revista de Análisis Cuantitativo y Estadístico*, 3, 18-25.

González-Raya, E., Benavides-Mendoza, A., Ramírez, H., Robledo-Torres, V., Maiti, R., Reyes-López, A. y Hernández-Valencia, R. E. M. (2005). Crecimiento de jitomate y calidad de frutos con diferentes concentraciones de nitrato. *Terra Latinoamericana*, 23(1), 105-111.

Gordon, A. (2007). "Standardization of a rapid spectrophotometric method for lycopene analysis" [Estandarización de un método espectrofotométrico rápido para el análisis de licopeno]. *Acta Horticulturae*, 758, 1-18.

Goykovic-Cortés, V. y Saavedra-del Real, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)*, 25(3), 47-58.

Grieneisen, M. L., Aegerter, B. J., Stoddard, C. S. y Zhang, M. (2018). "Yield and fruit quality of grafted tomatoes, and their potential for soil fumigant use reduction" [Rendimiento y calidad del fruto de los tomates injertados y su potencial para la reducción del uso de fumigantes del suelo]. *Agronomy for Sustainable Development*, 38(3), 1-16.

He, Y., Zhu, X., Yang, J., Ni, X. y Zhu, B. (2009). "Grafting increases the salt tolerance of tomato by improvement of photosynthesis and enhancement of antioxidant enzymes activity" [El injerto aumenta la tolerancia del tomate a la sal al mejorar la fotosíntesis y la actividad de las enzimas antioxidantes]. *66(2)*, 270-278.

Hirzel, J., Rojas, J., Sepúlveda, D., Rojas, S., y Radrigán, R. (2018). ¿Existe relación entre firmeza y contenido de materia seca en frutos de arándano?. *Ciencias Agronómicas*, 20-25.

INAFED, Instituto para el Federalismo y el Desarrollo Social, SEGOB, Secretaría De Gobernación, 2010.

James C.S. 1999. "Analytical Chemistry of Foods" [Química analítica de los alimentos]. 2 Edición, ASPEN Publishers. New York.

Juárez-López, P., Castro-Brindis, R., Colinas-León, T., Sandoval-Villa, M., Ramírez-Vallejo, P., Reed, D. W. y King, S. (2012). Evaluación de características de interés agronómico de siete genotipos nativos de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mili.) cultivados en hidroponía. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(2), 207-216.

Kirk, R.S., Sawyer, R. y Egan H. (1996). *Composición y Análisis de Alimentos de Pearson*. Segunda edición. Editorial CECSA. México.

Kubota, C., McClure, M. A., Kokalis-Burelle, N., Bausher, M. G. y Roskopf, E. N. (2008). "Vegetable grafting: History, use, and current technology status in North America" [Injerto vegetal: historia, uso y estado actual de la tecnología en América del Norte]. *HortScience*, 43 (6), 1664-1669.

Kumar, N., Abichandani, L. G., Thawani, V., Gharpure, K. J., Naidu, M. U. R., y Venkat Ramana, G. (2016). "Efficacy of standardized extract of *Bacopa monnieri* (Bacognize®) on cognitive functions of medical students: a six-week, randomized placebo-controlled trial" [Eficacia del extracto estandarizado de *Bacopa monnieri* (Bacognize®) en las funciones cognitivas de los estudiantes de medicina: un ensayo aleatorizado controlado con placebo de seis semanas]. *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*.

Kumari, A., Das, P., Parida, A.K. y Agarwal, P.K. (2015): "Proteomics, metabolomics, and ionomics perspectives of Salinity tolerance in halophytes" [Perspectivas proteómicas, metabolómicas e iónicas de la tolerancia a la salinidad en halófitas], *Frontier in Plant Science*, 6, p. 537.

Labate, J. A., Grandillo, S., Fulton, T., Muños, S., Caicedo, A. L., Peralta, I. y Causse, M. (2007). Tomato. *Vegetables* 1-125.

Lamz-Piedra, A., y González-Cepero, M. C. (2013). La salinidad como problema en la agricultura: la mejora vegetal una solución inmediata. *Cultivos Tropicales*, 34(4), 31-42.

Lastiri-Hernández, M. A., Álvarez-Bernal, D., Conde-Barajas, E. y García-Miranda, J. G. (2021) Agricultura biosalina: una propuesta agronómica para la producción de cebolla (*Allium cepa* L.). *International Journal of Phytoremediation*, DOI: [10.1080 / 15226514.2021 .1895716](https://doi.org/10.1080/15226514.2021.1895716)

Lastiri-Hernández, M. A., Álvarez-Bernal, D., Ochoa-Estrada, S., y Contreras-Ramos, S. M. (2019). "Potential of *Bacopa monnieri* (L.) Wettst and *Sesuvium verrucosum* Raf. as an agronomic management alternative to recover the productivity of saline soils" [Potencial de *Bacopa monnieri* (L.) Wettst y *Sesuvium verrucosum* Raf. como alternativa de manejo agronómico para recuperar la productividad de suelos salinos]. *International Journal of Phytoremediation*, 22(4), 343-352.

Lee, J. M. (1994). "Cultivation of grafted vegetables I. Current status, grafting methods, and benefits" [Cultivo de hortalizas injertadas I. Situación actual, métodos de injerto y beneficios]. *HortScience*, 29(4), 235-239.

Lee-Rodríguez, R. (1975). *Foods Analysis and Quality Control Methods for the food Manufacturer and Buyer*, Leonard Hills Books.

Lee-Rodríguez, V., Beltrán-Fonseca, M. J., Lerma-Molina, J. N., y Licón-Trillo, L. P. (1998). Aplicación de ácido sulfúrico en el riego corrige la clorosis férrica de los cultivos en suelos calcáreos. *Terra Latinoamericana*, 16(2), 149-161.

Leisner, C.P. (2020): "Review: Climate change impacts on food security-focus on perennial cropping systems and nutritional value" [Revisión: Impactos del cambio climático en la seguridad alimentaria: enfoque en los sistemas de cultivos perennes y el valor nutricional], *Plant Sci*, 293, p. 110-412.

Lobato-Ortiz, R., Rodríguez-Guzmán, E., Carrillo-Rodríguez J. C., Chávez-Servia J. L., Sánchez-Peña P. y Aguilar-Meléndez, A. (2012). *Exploración, colecta y conservación de recursos genéticos de jitomate: avances en la Red de Jitomate*. Sistema Nacional de Recursos Fitogenéticos para la Alimentación y la Agricultura (SINAREFI), Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación y Colegio de Postgraduados. Texcoco, México. 54 p.

López, L. (2017). *Manual Técnico del cultivo de tomate Solanum lycopersicum*. INTA.

López-Vidal, O., Escalona-Buendía, H., Pelayo-Zaldívar, C., Cruz-Salazar, J., Villa-Hernández, J. M., Rivera-Cabrera, F. y Díaz de León-Sánchez, F. (2014). Carotenoides, capacidad antioxidante y compuestos volátiles del aroma durante la maduración de jitomate. *Phyton (Buenos Aires)*, 83(1), 185-192.

Machado, R. M. A., y Serralheiro, R. P. (2017). "Soil salinity: effect on vegetable crop growth. Management practices to prevent and mitigate soil salinization" [Salinidad del suelo: efecto sobre el crecimiento de cultivos de hortalizas. Prácticas de manejo para prevenir y mitigar la salinización del suelo]. *Horticulturae*, 3(2), 30.

Márquez, C. J., Trillos, O., Cartagena, J. R., y Cotes, J. M. (2009). Evaluación físico-química y sensorial de frutos de uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Vitae*, 16(1), 42-48.

Márquez-Quiroz, C., Cano-Ríos, P., Moreno-Reséndez, A., Figueroa-Viramontes, U., Sánchez-Chávez, E., De la Cruz-Lázaro, E. y Robledo-Torres, V. (2014). Efecto de la fertilización orgánica sobre el rendimiento y contenido nutricional de tomate saladette en invernadero. *ITEA*, 110, 3-17.

Martínez-Cuenca, M. R., Pereira-Dias, L., Soler, S., López-Serrano, L., Alonso, D., Calatayud, Á., y Díez, M. J. (2020). "Adaptation to Water and Salt Stresses of *Solanum pimpinellifolium* and *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*" [Adaptación al estrés hídrico y salino de *Solanum pimpinellifolium* y *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*]. *Agronomy*, 10(8), 1169.

Méndez-Galicia, T., Sánchez-del Castillo, F., Sahagún-Castellanos, J., y Contreras-Magaña, E. (2005). Doseles escaleriformes con hileras de plantas de jitomate orientadas en dirección este-oeste. *Revista Chapingo Serie Horticultura*, 11(1), 185-192.

Mendoza-Pérez, C., Ramírez-Ayala, C., Martínez-Ruiz, A., Rubiños-Panta, J. E., Trejo, C., y Vargas-Orozco, A. G. (2018). Efecto de número de tallos en la producción y calidad de jitomate cultivado en invernadero. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 9(2), 355-366

Milenkovic, L., Mastilovic, J., Kevresan, Z., Jaksic, A., Gledic, A., Sunic, L. J. y Ilic, S. Z. (2018). "Tomato fruit yield and quality as affected by grafting and shading" [Rendimiento y calidad del fruto del tomate afectado por el injerto y el sombreado]. *J Food Sci Nutr*, 4(3), 42-50.

Mishra, A. y Tanna, B. (2017). "Halophytes: potential resources for salt stress tolerance genes and promoters" [Halófitos: recursos potenciales para genes y promotores de tolerancia al estrés salino]. *Frontiers in plant Science*, 8, 829.

Mitchell, J. P., Shennan, C., Grattan, S. R. y May, D. M. (1991). "Tomato fruit yields and quality under water deficit and salinity" [Rendimientos y calidad de frutos de tomate bajo déficit hídrico y salinidad]. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 116(2), 215-221.

Navarro-González, I. y Periago, M. J. (2016). El tomate, ¿Alimento saludable y/o funcional? *Revista Española de Nutrición Humana y Dietética*, 20(4), 323-335.

Nikalje, G. C., Srivastava, A. K., Pandey, G. K. y Suprasanna, P. (2018). Halófitos en agricultura biosalina: mecanismo, utilización y valor agregado. *Land Degradation & Development*. 29 (4), 1081-1095.

Nikalje, G. C. y Suprasanna, P. (2018). "Coping with metal toxicity—cues from halophytes" [Hacer frente a la toxicidad por metales: señales de halófitas]. *Frontiers in plant science*, 9, 777.

Olmedo-López, F. A., Ortiz-Rodríguez, R., Pérez-Sánchez, R. E., Morales-Guerrero, A., Val, T. D. C. Á., y García-Saucedo, P. A. (2019). Caracterización fisicoquímica de frutos de tinguaraque (*Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme*) cultivados en invernadero. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, (23), 325-330.

Orrego, F., De La Fuente, L. M., Gómez, M. y Ginocchio, R. (2018). Diversidad de halófitas chilenas: distribución, origen y hábito. *Gayana. Botánica*, 75(2), 555-567.

Ozores-Hampton, M., Zhao, X., y Ortez, M. (2014). Introducción a la Tecnología de Injertos a la Industria de Tomate en la Florida: Beneficios Potenciales y Retos. *Universidad de Florida. Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas: Extensión*.

Pastor-Mogollón, J., Martínez, A., y Torres, D. (2016). Efecto de la aplicación de vermicompost en las propiedades biológicas de un suelo salino-sódico del semiárido venezolano. *Bioagro*, 28(1), 029-038.

Pearson. D. (1993). *Técnicas de laboratorio para el análisis de alimentos*. Acribia, S.A. Zaragoza. España.

Quesada, D. y Gómez, G. (2019). ¿Proteínas de origen vegetal o de origen animal?: Una mirada a su impacto sobre la salud y el medio ambiente. *Revista de nutrición clínica y metabolismo*, 2(1), 79-86.

Ramos-Ortega, A., Carballo Carballo, A., Hernández Livera, A., Corona Torres, T., y Sandoval Villa, M. (2006). Caracterización de líneas de jitomate en hidroponía. *Agricultura técnica en México*, 32(2), 213-223.

Redondo-Gómez, S., Wharmby, C., Castillo, J. M., Mateos-Naranjo, E., Luque, C. J., De Cires, A., y Enrique Figueroa, M. (2006). "Growth and photosynthetic responses to salinity in an extreme halophyte, *Sarcocornia fruticosa*" [Crecimiento y respuestas fotosintéticas a la salinidad en una halófito extrema, *Sarcocornia fruticosa*]. *Physiologia Plantarum*, 128(1), 116-124.

Rodríguez-Cabello, J., Pérez-González, A., Ortega-García, L. y Arteaga-Barrueta, M. (2020). Estudio hidrosostenible en el cultivo del tomate, su efecto en el rendimiento y calidad del fruto. *Cultivos Tropicales*, 41(2).

Ruiz-Cisneros, M. F., Ornelas-Paz, J. J., Olivas-Orozco, G. I., Acosta-Muñiz, C. H., Sepúlveda-Ahumada, D. R., Pérez-Corral, D. A., Rios-Velasco, C., Salas-Marina, M. Á., y Fernández-Pavía, S. P. (2018). Efecto de *Trichoderma spp.* y hongos fitopatógenos sobre el crecimiento vegetal y calidad del fruto de jitomate. *Revista mexicana de fitopatología*, 36(3), 444-456.

Saddhe A.A., Manuka R., Nikalje G.C., y Penna S. (2020) "Halophytes as a Potential Resource for Phytodesalination" [Halófitas como un recurso potencial para fitodesalinización]. *Handbook of Halophytes: From Molecules to Ecosystems towards Biosaline Agriculture*, 1-21.

Sandoval-Moreno, A., y Ochoa-Ocaña, M. A. (2010). Grupos locales, acceso al agua y su problemática de contaminación en la Ciénega de Chapala, Michoacán. *Economía, sociedad y territorio*, 10(34), 683-719.

Sandoval-Moreno, A. y Paleta-Pérez G. (2013). La conformación de una región productiva contenciosa: el Distrito de Riego 024 Ciénega de Chapala, Michoacán, México. *Desacatos*, 37, 132-149.

Sanjuan-Lara, F., Ramírez Vallejo, P., Sánchez García, P., Sandoval Villa, M., Livera Muñoz, M., Carrillo Rodríguez, J, C. y Perales Segovia, C. (2015). Tolerancia de líneas nativas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la salinidad con NaCl. *Interciencia*, 40(10), 704-709.

Santa-Cruz, A., Martínez-Rodríguez, MM, Pérez-Alfocéa, F., Romero-Aranda, R. y Bolarin, MC (2002). El efecto del patrón sobre la respuesta de salinidad del tomate depende del genotipo del brote. *Plant Science* , 162 (5), 825-831.

Secretaría de Economía (1997). Norma Mexicana NMX-FF-031-1997-SCFI. Productos alimenticios no industrializados para consumo humano. Hortalizas frescas. Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Especificaciones.

Secretaría de Economía (2001). Norma Mexicana NMX-AA-073-2001. Análisis de agua. Determinación de cloruros totales en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.

Secretaría de Economía (2016). Norma Mexicana NMX-AA-008-SCFI-2016. Medición del pH en aguas naturales, residuales y residuales tratadas. Método de prueba.

Secretaría de Patrimonio y Fomento Industrial (1980). Norma Oficial Mexicana NOM-AA-036-1980. Agua Determinación de Acidez Total y Alcalinidad Total.

Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (2000). Norma Oficial Mexicana NOM-021-RECNAT-2000. Especificaciones de fertilidad, salinidad y clasificación de suelos. Estudios, muestreos y análisis.

SEDRUA, Secretaría de Desarrollo Rural y Agroalimentario. 2016.

Serrano, R. (1986). "Salt tolerance in plants and microorganism: toxicity targets and defence responses" [Tolerancia de plantas y microorganismos a la sal: objetivos de toxicidad y respuestas de defensa]. *Int Rev Cytol* 165: 1-52.

Serrato, R., Ortiz, A., Dimas, J., Berumen, S. (2002). Aplicación de lavado y estiércol para recuperar suelos salinos en la Comarca Lagunera, México. *Terra*. 20 (3): 329 - 336.

Shannon, M. C., Grieve C. M., Francois L. E. (1994). "Whole-plant response to salinity. In plant environment interaction" [Respuesta de todas las plantas a la salinidad. En la

interacción entre el medio ambiente y las plantas]. *Wilkinson RF* (ed), pp 199-294. Marcel Dekker, Inc. New York.

Sharma, R., Wungrampha, S., Singh, V., Pareek, A. y Sharma, M. K. (2016). "Halophytes as bioenergy crops" [Halófitas como cultivos bioenergéticos]. *Frontiers in Plant Science*, 7, 1372.

Shaygan, M., Mulligan, D. y Baumgartl, T. (2017). "The potential of remediation of soils affected by salt using halophytes" [El potencial de remediación de suelos afectados por sal mediante halófitas]. *EGUGA*, 18594.

Singh, H., Kumar, P., Kumar, A., Kyriacou, M. C., Colla, G. y Rouphael, Y. (2020). Grafting tomato as a tool to improve salt tolerance. *Agronomy*, 10(2), 263.

Silva-García, J. T., Ochoa-Estrada, S., Cristóbal-Acevedo, D., y Estrada-Godoy, F. (2006). Calidad química del agua subterránea de la Ciénega de Chapala como factor de degradación del suelo. *Terra Latinoamericana*, 24(4), 503-513.

Suwanaruang, T. (2016). "Analyzing lycopene content in fruits" [Analizar el contenido de licopeno en frutas]. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 11, 46-48.

Tal, M. (1984). "Physiological genetics of salt resistance in higher plants: studies on the level of the whole and isolated organs, tissues and cells. In salinity tolerance in plants. Strategies for crop improvement" [Genética fisiológica de la resistencia a la sal en plantas superiores: estudios a nivel de órganos, tejidos y células enteros y aislados. En tolerancia a la salinidad en plantas. Estrategias para la mejora de cultivos]. *Staples RC, Tonniessen GH* (eds), pp. 301-321. Wiley-Interscience, New York.

Tartabull-Puñales, T., y Betancourt-Aguilarm, C. (2016). La calidad del agua para el riego. Principales indicadores de medida y procesos que la impactan. *Revista Científica Agroecosistemas*, 4 (1). pp. 47-61.

Terrazas-Rueda, J. M. (2019). Aprovechamiento del suelo salino: agricultura salina y recuperación de suelos. *Apthapi*, 5(1), 1539-1563.

Turhan A., Ozmen N., Serbeci M.S. y Seniz V., 2011. "Effects of grafting on different rootstocks on tomato fruit yield and quality" [Efecto del injerto de diferentes patrones sobre el rendimiento y la calidad del tomate]. *Hort. Sci. (Prague)*, 38: 142–149.

Urías-López, M. A., Hernández-Fuentes, L. M., Osuna-García, J. A., Pérez-Barraza, M. H., García-Álvarez, N. y González-Carrillo, J. A. (2013). Aspersiones de insecticidas en campo para controlar la escama blanca del mango (Hemiptera: Diaspididae). *Revista fitotecnia mexicana*, 36(2), 173-180.

Urrieta-Velázquez, J. A., Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N., Ramírez-Vallejo, P., Baca-Castillo, G. A., Ruiz-Posada, L. D. M., y Cueto-Wong, J. A. (2012). Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(3), 371-381.

Velasco-Alvarado, M. D. J., Castro-Brindis, R., Avitia-García, E., Castillo-González, A. M., Sahagún-Castellanos, J., y Lobato-Ortiz, R. (2017a). Proceso de unión del injerto de empalme en jitomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(5), 1051-1058.

Velasco-Alvarado, M. D. J., Castro-Brindis, R., Castillo-González, A. M., Avitia-García, E., Sahagún-Castellanos, J. y Lobato-Ortiz, R. (2016). Composición mineral, biomasa y rendimiento en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) injertado. *Interciencia*, 41(10), 703-708.

Velasco-Alvarado, M. D. J., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Castro-Brindis, R., Cruz-Izquierdo, S., y Corona-Torres, T. (2019). Injertos interespecíficos entre *Solanum lycopersicum* L. y *S. habrochaites* Knapp & Spooner como alternativa para incrementar el rendimiento de fruto. *Agrociencia*, 53(7), 1029-1042.

Velasco-Alvarado, M. J., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J.J., Castro-Brindis, R., Cruz-Izquierdo, S., Corona-Torres, T., y Moedano-Mariano, M. K. (2017b). "Mexican native tomatoes as rootstocks to increase fruit yield" [Tomates nativos mexicanos como portainjertos para aumentar la producción de frutos]. *Chilean journal of agricultural research*, 77(3), 187-193.

Yuang, F., Guo, J., Shabala, S. y Wang, B. (2019). "Reproductive physiology of halophytes: current standing" [Fisiología reproductiva de las halófitas: situación actual]. *Frontiers in plant science*, 9, 1954.