



# COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

---

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN EDAFOLOGÍA

## **POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA ABSORCIÓN NUTRIMENTAL DEL TOMATE SILVESTRE MEXICANO (*Physalis* spp.) PARA LA PRODUCCIÓN EN INVERNADERO**

ROBERTO CHAMÚ JUÁREZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, ESTADO DE MÉXICO

2018

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

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, el que suscribe Roberto Chamú Juárez, Alumno (a) de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta institución, bajo la dirección del Profesor Dr. Manuel Sandoval Villa, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis Potencial osmótico de la solución nutritiva en la absorción nutrimental del tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) para la producción en invernadero y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registradas a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, El Consejero o Director de la tesis y el que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe al proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Montecillo, Mpio. de Texcoco, Edo. de México a 21 de noviembre de 2018.



---

Firma del  
Alumno (a)



---

Dr. Manuel Sandoval Villa

Vc. Bo. del Consejero o Director de Tesis

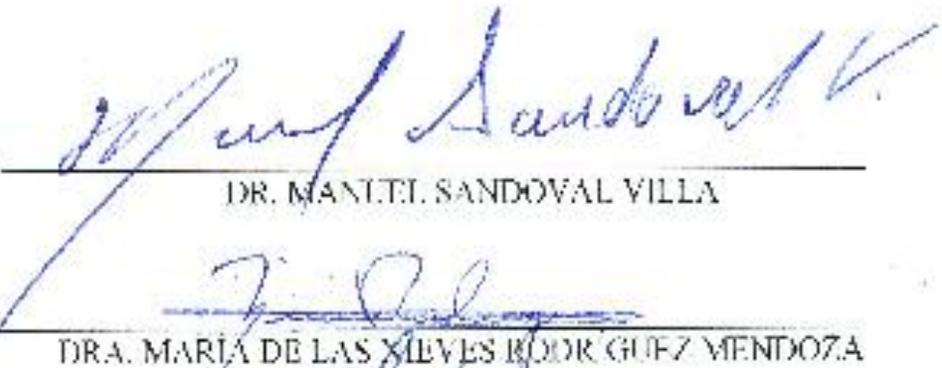
La presente tesis titulada: **POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA ABSORCIÓN NUTRIMENTAL DEL TOMATE SILVESTRE MEXICANO (*Physalis spp.*) PARA LA PRODUCCIÓN EN INVERNADERO**, realizada por el alumno: **ROBERTO CHAMÚ JUÁREZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS

EDAFOLOGÍA

CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO

  
DR. MANTELI SANDOVAL VILLA

ASESORA

  
DRA. MARÍA DE LAS XILVES RODRÍGUEZ MENDOZA

ASTSOR

  
M. C. ANTONIO GARCÍA ESTEVA

Montecillo, Texcoco, Estado de México, diciembre de 2018

# POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA ABSORCIÓN NUTRIMENTAL DEL TOMATE SILVESTRE MEXICANO (*Physalis* spp.) PARA LA PRODUCCIÓN EN INVERNADERO

Roberto Chamú Juárez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

## RESUMEN

El tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) es un acervo genético con alto potencial alimentario, económico y terapéutico para zonas rurales de nuestro país. Además, se utiliza como fuente de germoplasma para programas de mejoramiento genético. Sin embargo, no ha sido estudiado respecto a su demanda nutrimental para que cumpla con los estándares de calidad que exige el mercado. El objetivo de la presente investigación fue evaluar la producción hidropónica del tomate silvestre mexicano, expuesto a los potenciales osmóticos de -0.018, -0.036 y -0.054 MPa en la solución nutritiva, con relación a su crecimiento, fisiología, concentración nutrimental de la hoja, rendimiento y calidad de fruto. Para ello, se establecieron dos experimentos. El primero se realizó de marzo a septiembre y el segundo de junio a octubre de 2017. En el primer estudio se evaluaron los materiales silvestres pertenecientes al Banco Nacional de Germoplasma de Especies Nativas de la Universidad Autónoma Chapingo (BNGEN): accesiones 9b (170 BNGEN), 17b (48 BNGEN) y 7b (167 BNGEN) y el material silvestre Filadelfia, originario de la región de la Tierra Caliente del estado de Guerrero. En el primer experimento, las plantas crecieron sin problema con la solución nutritiva cuyo potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) fue de -0.036 MPa, ya que al ser expuestas a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa, la producción de frutos disminuyó. También se observó que el material 9b presentó el mayor número y peso de frutos. En el segundo experimento se evaluaron los materiales 9b y Filadelfia por presentar una mayor producción en el primer estudio y se encontró que en las variables de crecimiento y fisiológicas, con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa, aumentó la altura de planta y el número de flores. Sin embargo, con un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa, se incrementó el diámetro de tallo, el número de bifurcaciones, las lecturas SPAD, el índice normalizado de vegetación (INV) y el área foliar, y con un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa, la tasa de asimilación de CO<sub>2</sub> fue mayor, y el material 9b, aumentó el número de bifurcaciones, las lecturas SPAD y la asimilación de CO<sub>2</sub>, y Filadelfia sólo incrementó el área foliar. En el estado nutrimental, con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa la concentración de K aumentó y el B y Zn con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa, pero el Cu con uno de -0.054 MPa. Con el material 9b se incrementó la concentración de Mn y Zn y en Filadelfia el de Fe. La producción de materia seca aumentó cuando la solución nutritiva estaba más concentrada. Sin embargo, el peso del vástago y peso total, en la etapa vegetativa y de floración, aumentó con un  $\Psi_o$  de -0.036 y -0.054 MPa. El material silvestre 9b incrementó el peso del vástago y el peso seco total en la etapa vegetativa y de floración. En calidad de fruto, sólo se afectó el pH del jugo, ya que éste aumentó al regar las plantas con una solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa.

**Palabras clave:** materiales silvestres, hidroponía, concentración de la solución nutritiva, solución Steiner.

**OSMOTIC POTENTIAL OF THE NUTRIENT SOLUTION IN THE  
NUTRIMENTAL ABSORPTION OF MEXICAN WILD TOMATO (*Physalis* spp.)  
FOR GREENHOUSE PRODUCTION**

Roberto Chamú Juárez, M. en C.

Colegio de Postgraduados, 2018

**ABSTRACT**

The mexican wild tomato (*Physalis* spp.) is a gene pool with high potential for agroindustry, economical and therapeutically for rural areas of Mexico. In addition, it can be used as a source of germplasm for breeding programs. However, it has not been studied regarding its nutrient demand in order to comply with quality standards demanded by the market. The objective of this research was to evaluate hydroponic production of wild tomato, exposed to osmotic potentials -0.018, -0.036, and -0.054 MPa in the nutrient solution, in relation to its growth, physiology, nutrient concentration on leaf, yield and quality of fruit. For this purpose, two experiments were established. The first was carried out from March to September and the second from June to October of 2017. In the first study wild materials belonging to the National Bank of germplasm of native species of the Autonomous University of Chapingo (BNGEN) were evaluated: accessions 9b (170 BNGEN), 17b (48 BNGEN) and 7b (167 BNGEN) and wild material Filadelfia, collected from the region of the “Tierra Caliente”, in the State of Guerrero. In the first experiment, the plants grew without a problem with the nutrient solution with osmotic potential ( $\Psi_o$ ) of -0.036 MPa, but when plants were exposed to a  $\Psi_o$  -0.054 MPa, fruit production decreased. Also, it was observed that the 9b material presented the higher number and weight of fruit. In the second experiment materials, 9b and Philadelphia were evaluated since these outstand. It was found that plant height and number of flowers increased with - 0.036 MPa. However, with -0.054 MPa increased the diameter of stem, number of branches, SPAD readings, normalized vegetation index (INV) and leaf area, and with -0.018 MPa  $CO_2$  assimilation rate was higher, 9b material, increased the number of bifurcations, the SPAD readings and the assimilation of  $CO_2$ , and Philadelphia only increased leaf area. In the nutrient status, with - 0.036 MPa K concentration increased, and B and Zn with a -0.036 MPa, but Cu with - 0.054 MPa. 9b material increased its concentration of Mn and Zn, and Philadelphia of Fe. Dry matter production increased when the nutrient solution was more concentrated (by decreasing the  $\Psi_o$ ); however, shoot and total weight, in the vegetative stage and flowering rose with -0.036 and -0.054 MPa. Accession 9b increased the shoot weight and total dry matter in vegetative stage and flowering. In fruit quality, only was affected the pH of the juice, since this increased by supplying plants with a nutrient solution with -0.036 MPa.

**Key words:** accessions, hydroponics, concentration of the nutrient solution, Steiner nutrient solution.

## AGRADECIMIENTOS

Al **Colegio de Postgraduados Campus Montecillo** por haberme aceptado y brindado la oportunidad de estudiar en el Posgrado de Edafología.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología** por haberme apoyado económicamente con la beca otorgada.

Al **Doctor Manuel Sandoval Villa** por su apoyo como consejero para que se pudiera llevar a cabo este trabajo de investigación. Muchas gracias por el tiempo, los consejos atinados para realizar y concluir mis estudios de maestría. Sobre todo, por ser parte de mi formación académica. Gracias por todo, esta de menos decir que es una buena persona.

A la **Doctora María de las Nieves Rodríguez Mendoza** por el apoyo como asesora. Asimismo, por sus experimentales consejos que permitieron mejorar mi trabajo de investigación.

Al **M. en C. Antonio García Esteva** por haberme apoyado como asesor. Por sus consejos que engrandecieron y mejoraron esta investigación. Sobre todo, por su gran generosidad que tiene como ser humano. Gracias por el apoyo desde el principio y final de mi investigación. Dios siempre lo guarde.

A la **Dra. Nadia Jiménez Peña** por la revisión de mi tesis como sinodal. Gracias por el tiempo otorgado. Sus observaciones fueron muy útiles.

Al **Doctor Aureliano Peña Lomelí** de la Universidad Autónoma Chapingo por la donación de las semillas de tomate silvestre mexicano. Muchas gracias doctor, al contribuir en este trabajo de investigación.

A la **Dra. Libia Iris Trejo Téllez** y a **Sol** por el apoyo y asesoramiento en el laboratorio de Nutrición Vegetal del Posgrado de Edafología. Para la realización de los análisis de concentración nutrimental. Muchas gracias Sol por tú amabilidad.

A cada uno de los profesores que tuve como bien tomar sus cursos. Al **Dr. Arturo Galvis Spíndola**, a la **Dra. Libia Iris Trejo Téllez**, al **Dr. Humberto Vaquera Huerta**, a la **Dra. María de las Nieves Rodríguez Mendoza**, al **Dr. Manuel Sandoval Villa**, al **M. en C. Jorge Alvarado López**, al **Dr. Prometeo Sánchez García**, al **Dr. Antonio Trinidad**

**Santos<sup>+</sup>** y al **Dr. Javier Suárez Espinoza**. Sus enseñanzas sirvieron para agrandar esta investigación. ¡Gracias!

Al **Dr. Javier Suárez Espinosa** se le agradece por el asesoramiento en los análisis estadísticos. Gracias por su amabilidad.

Al **Dr. Víctor Ordaz Chaparro** y a su grupo de trabajo del laboratorio de física de suelos, por la caracterización del sustrato con el que trabajé.

Al **M. en C. Ricardo Vega Muños** y a la **Sra. Irma Alvarado Ramírez** por su apoyo en la herborización, montaje y etiquetamiento de mis ejemplares de herbario, así como en el cotejo de una de ellas. Asimismo, al **ingeniero José Luis** por tomar las fotografías de los ejemplares.

A mis amigas **Nefertiti** y **Ross** por el apoyo en los muestreos y tomas de datos en el invernadero y laboratorio. Gracias por su tiempo y palabras de aliento.

A **Laura** y **Kevin**. Alumnos de estancia de verano de la Universidad Autónoma de Sinaloa, quienes estuvieron apoyándome en los muestreos. Gracias amigos su ayuda fue de mucha importancia.

A **Concepción Chamú Basilio**. Por su apoyo en mi investigación y la toma de datos en el invernadero, así como en el laboratorio. Muchas gracias prima.

A la Secretaría **Laura** del área de nutrición vegetal, muchas gracias por su apoyo y los consejos, además, por estar siempre para nosotros.

A las secretarías **Janeth** y **Mary** del posgrado de Botánica por su amabilidad y buen recibimiento.

Al **Posgrado de Botánica**, en especial a sus doctores del área de **Fisiología Vegetal**, por su cálida amabilidad.

Al sr. **Mario Sánchez, Camila Cerón, Araceli** y **Martha**, del Posgrado de Botánica por su apoyo en los nuestros en el invernadero.

A **Don Chava**, por su apoyo en la instalación del experimento en campo.

A todos ustedes, porque son parte de este trabajo. ¡**Muchas gracias!**

## DEDICATORIA

Este logro va dirigido para nuestro creador **Dios** por permitirme cumplir mi sueño el lograr hacer una maestría. Asimismo, por darme salud y fe para salir adelante; a pesar de los tiempos difíciles con lo que me tocó luchar.

Con amor y cariño para mis padres, el Sr. **Roberto Chamú Vega** y la Sra. **Hermelinda Juárez Chamú**. Para ustedes que son mi mayor motivación para salir adelante. Gracias por el apoyo, su cariño y sobre todo por el amor que siempre brindan.

Desde la tierra al cielo para mis cuatro ángeles que me ven desde allá. **Magdalena Vega<sup>+</sup>**, **Aldegunda Chamú<sup>+</sup>**, **Heracleo Chamú<sup>+</sup>** y **Marcial Juárez<sup>+</sup>**. Gracias por sus sabios consejos que me dieron de niño, que aún los conservo como el tesoro más apreciado. Lamento mucho que no estén conmigo. ¡Este logro es parte de ustedes!

Con especial amor para mis herman@s y cuñad@s: **Marcelino, J Rosario, Francisco, Berenice, Natividad, Heracleo, Estanislao, Magdalena, Guadalupe, Blanca Rosa, María Elena, Cesar, Teodolo, Consuelo y Gabriel**. Para ustedes que siempre estuvieron dándome palabras de aliento para salir adelante. Sus palabras convirtieron mi trayecto académico menos cansado. Además, por el apoyo económico.

**Para todos mis sobrín@s**. Por su afecto. Además, para que ven en mí un ejemplo de lucha y constancia.

A todos mis amigos, con los que tuve la fortuna de coincidir en esta experiencia académica. **A Nefer, Ross, Diego, Orlando, Jorge, Mariana, Juanita, Luis Manuel, Gio, Oscar, Jordán, Moi, Oscar, Bety, Paola, Kike, Cristian, Don José, Don Alfredo, Santos, Juan, Víctor, Sol, Luis, Víctor y Sonia**. Gracias amigos por haber hecho de esta estancia menos cansada. Asimismo, por los buenos tiempos. ¡Seles aprecia mucho!

A cada uno de ustedes gracias por su apoyo, confianza y amor incondicional, siempre los llevo presente en mi corazón.

## CONTENIDO

	Página
<b>RESUMEN</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>vi</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>viii</b>
<b>LISTA DE CUADROS</b> .....	<b>xiv</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b> .....	<b>xvi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>3</b>
Objetivo general .....	3
Objetivos específicos .....	3
<b>HIPÓTESIS</b> .....	<b>3</b>
Hipótesis general .....	3
Hipótesis específicas .....	3
<b>REVISIÓN DE LITERATURA</b> .....	<b>4</b>
Importancia de los cultivos silvestres.....	4
Económica.....	4
Medicinal.....	4
Alimentaria.....	5
El tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis</i> spp.).....	6
Caracterización de los materiales de tomate silvestre mexicano.....	7
La solución nutritiva de Steiner .....	7
El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) .....	8
El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva .....	9
Presión osmótica (PO) de la solución nutritiva.....	9
Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva .....	9

El pH de la solución nutritiva.....	10
Funciones de los nutrimentos en las plantas .....	10
El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) y la absorción nutrimental de las plantas .....	12
El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva en el crecimiento y fisiología de la planta....	12
El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva en la concentración nutrimental en la hoja... 13	
El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva en la calidad y la producción de frutos .....	13
<b>LITERATURA CITADA .....</b>	<b>14</b>
<b>CAPÍTULO I. RESPUESTA DEL TOMATE SILVESTRE MEXICANO (<i>Physalis spp.</i>) AL POTENCIAL OSMÓTICO EN HIDROPONÍA .....</b>	<b>25</b>
<b>1.1. RESUMEN.....</b>	<b>25</b>
<b>1.2. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>25</b>
<b>1.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>27</b>
1.3.1. Condiciones ambientales.....	27
1.3.2. Material vegetal.....	27
1.3.3. Siembra de semilleros y trasplante de plántulas.....	27
1.3.4. Tratamientos y diseño experimental.....	28
1.3.5. Manejo agronómico.....	29
1.3.6. Variables evaluadas.....	29
1.3.7. Análisis estadístico.....	29
<b>1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>30</b>
1.4.1. El potencial osmótico sobre el crecimiento.....	30
1.4.2. Efecto del material silvestre sobre el crecimiento.....	32
1.4.3. El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) en el número y porcentaje de flores caídas .....	34
1.4.4. El material silvestre en el número y en el porcentaje de flores caídas .....	35
1.4.5. El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) y el material silvestre sobre las lecturas SPAD .....	35
1.4.6. El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) en el porcentaje de amarre y producción de frutos .....	36
1.4.7. El material silvestre en el porcentaje de amarre y producción de frutos.....	38

1.5. CONCLUSIONES.....	38
1.6. LITERATURA CITADA .....	39
<b>CAPÍTULO II. CRECIMIENTO Y FISIOLOGÍA DEL TOMATE SILVESTRE MEXICANO (<i>Physalis spp.</i>) POR EFECTO DEL POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA.....</b>	<b>45</b>
2.1. RESUMEN.....	45
2.2. INTRODUCCIÓN.....	45
2.3. MATERIALES Y MÉTODOS.....	46
2.3.1. Condiciones ambientales.....	46
2.3.2. Material vegetal.....	47
2.3.3. Siembra de semilleros y trasplante de plántulas.....	47
2.3.4. Tratamientos y diseño experimental.....	48
2.3.5. Manejo agronómico.....	48
2.3.6. Variables evaluadas.....	49
2.3.6.1. Crecimiento.....	49
2.3.6.2. Fisiológicas.....	49
2.3.6.3. Análisis estadístico.....	49
2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	49
2.4.1. El potencial osmótico sobre el crecimiento.....	49
2.4.2. Efecto del material silvestre sobre el crecimiento.....	51
2.4.3. El potencial osmótico sobre la fisiología.....	53
2.4.4. Efecto del material silvestre sobre la fisiología.....	55
2.5. CONCLUSIONES.....	56
2.6. LITERATURA CITADA .....	56
<b>CAPÍTULO III. POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA, ESTADO NUTRIMENTAL Y MATERIA SECA DEL TOMATE SILVESTRE MEXICANO (<i>Physalis spp.</i>).....</b>	<b>60</b>
3.1. RESUMEN.....	60

<b>3.2. INTRODUCCIÓN</b> .....	61
<b>3.3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	62
3.3.1. Condiciones ambientales.....	62
3.3.2. Material vegetal.....	62
3.3.3. Siembra de semilleros y trasplante de plántulas.....	63
3.3.4. Tratamientos y diseño experimental.....	63
3.3.5. Manejo agronómico.....	64
3.3.6. Variables evaluadas.....	64
3.3.6.1. Concentración nutrimental en hoja.....	64
3.3.6.2. Materia seca.....	64
3.3.7. Análisis estadístico.....	65
<b>3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	65
3.4.1. El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) sobre la concentración nutrimental en hoja.....	65
3.4.2. Efecto del material silvestre sobre la concentración nutrimental en hojas.....	68
3.4.3. El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) sobre el peso de la materia seca.....	70
3.4.4. El material silvestre sobre la materia seca.....	72
<b>3.5. CONCLUSIONES</b> .....	72
<b>3.6. LITERATURA CITADA</b> .....	73
<b>CAPÍTULO IV. PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRUTOS DE TOMATE SILVESTRE MEXICANO (<i>Physalis</i> spp.) EN RESPUESTA AL POTENCIAL OSMÓTICO</b> .....	<b>78</b>
<b>4.1. RESUMEN</b> .....	78
<b>4.2. INTRODUCCIÓN</b> .....	78
<b>4.3. MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	79
4.3.1. Condiciones ambientales.....	79
4.3.2. Material vegetal.....	80
4.3.3. Siembra de semilleros y trasplante de plántulas.....	80
4.3.4. Tratamientos y diseño experimental.....	81

4.3.5. Manejo agronómico.....	81
4.3.6. Variables registradas .....	82
4.3.6.1. Producción de frutos.....	82
4.3.6.2. Calidad de fruto.....	82
4.3.7. Análisis estadístico.....	82
<b>4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>83</b>
4.4.1. Número de frutos, peso con cáliz y sin cáliz.....	83
4.4.2. Calidad de fruto.....	84
4.4.2.1. pH y acidez titulable (ATT) .....	84
4.4.2.2. Firmeza y sólidos solubles totales (SST) .....	86
4.4.2.3. Diámetro polar y ecuatorial del fruto .....	87
<b>4.5. CONCLUSIONES.....</b>	<b>87</b>
<b>4.6. LITERATURA CITADA .....</b>	<b>88</b>
<b>DISCUSIÓN GENERAL .....</b>	<b>91</b>
<b>CONCLUSIONES GENERALES .....</b>	<b>95</b>
<b>LITERATURA CITADA.....</b>	<b>96</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>98</b>

## LISTA DE CUADROS

### MARCO TEÓRICO

	<b>Página</b>
Cuadro 1. Relación de accesiones de <i>Physalis</i> spp. utilizadas en la investigación. ....	7

### CAPÍTULO 1

	<b>Página</b>
Cuadro 1. 1. Efecto de la interacción entre el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva y los materiales silvestres de tomate mexicano ( <i>Physalis</i> spp.) sobre el diámetro de tallo, a los 90 días después del trasplante (ddt).....	33
Cuadro 1.2. Efecto del potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) sobre el porcentaje de amarre de frutos, número y peso de frutos con cáliz acumulados al final del experimento de materiales de tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis</i> spp.).....	37
Cuadro 1.3. Efecto del material silvestre ( <i>Physalis</i> spp.) sobre el porcentaje de amarre de frutos, número y peso de frutos con cáliz acumulados al final del experimento. ....	38

### CAPÍTULO 2

	<b>Página</b>
Cuadro 2.1. Efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva sobre variables de crecimiento en tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis</i> spp.), a 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt). ....	50
Cuadro 2.2. Efecto del material silvestre sobre variables de crecimiento en tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis</i> spp.), a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt). ..	52
Cuadro 2.3. Efecto de la interacción entre el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva y el material silvestre ( <i>Physalis</i> spp.) sobre el número de flores por planta, a los 60 días después del trasplante (ddt). ....	52
Cuadro 2.4. Efecto del potencial osmótico sobre lecturas SPAD e índice normalizado de vegetación (INV) a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt) y, en el área foliar y la tasa de asimilación de CO <sub>2</sub> , a los 22, 45 y 88 ddt. ....	53

Cuadro 2.5. Efecto de los materiales ( <i>Physalis</i> spp.) sobre lecturas SPAD e índice normalizado de vegetación (INV) a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt) y, en área foliar y asimilación de CO <sub>2</sub> a los 22, 45 y 88 ddt.....	55
---	----

### CAPÍTULO 3

	<b>Página</b>
Cuadro 3.1. Concentración de N, P, K, Ca y Mg en hojas del material silvestre ( <i>Physalis</i> spp.), en etapa vegetativa, floración y fructificación (22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt) en respuesta al potencial osmótico ( $\Psi_o$ ). .....	65
Cuadro 3.2. Concentración Mn, Fe, B, Zn y Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) en hojas del material silvestre ( <i>Physalis</i> spp.) en las etapas vegetativa, floración y fructificación (22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt) en respuesta al potencial osmótico ( $\Psi_o$ ). .....	67
Cuadro 3.3. Concentración de N, P, K, Ca y Mg (g kg <sup>-1</sup> ) en hojas, en las etapas vegetativa, floración y fructificación en respuesta al material silvestre ( <i>Physalis</i> spp.).....	69
Cuadro 3.4. Concentración de Mn, Fe, B, Zn y Cu (mg kg <sup>-1</sup> ) en hojas, en las etapas vegetativa, floración y fructificación (22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt) en respuesta al material silvestre ( <i>Physalis</i> spp). .....	70
Cuadro 3.5. Peso de materia seca (raíz, vástago y total) del material silvestre ( <i>Physalis</i> spp.) en la etapa vegetativa, floración y fructificación, a los 22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt) en respuesta al potencial osmótico de la solución nutritiva. ....	71
Cuadro 3.6. Peso de materia seca (raíz, vástago y total) del tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis</i> spp.) en etapa vegetativa, floración y fructificación 22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt). .....	72

### CAPÍTULO 4

	<b>Página</b>
Cuadro 4.1. Número de frutos, peso de frutos con cáliz y sin cáliz sobre del material silvestre 9b a los 84 y 90 días después del trasplante por efecto del potencial osmótico ( $\Psi_o$ ). .....	83

## LISTA DE FIGURAS

### MARCO TEÓRICO

	<b>Página</b>
Figura 1. Planta de tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis</i> spp.) (a), flor (b) y fruto (c). .....	7

### CAPÍTULO 1

	<b>Página</b>
Figura 1.1. Efecto del potencial osmótico (MPa) sobre la altura (A) y el diámetro de tallo (B) de plantas de tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis</i> spp.). Medias $\pm$ DE con letras distintas indican diferencias significativas (hisal, $p \leq 0.05$ ). .....	30
Figura 1. 2. Efecto del material silvestre ( <i>Physalis</i> spp.) sobre la altura (A) y el diámetro de tallo (B). Medias $\pm$ DE con letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$ ). .....	32
Figura 1. 3. Efecto del potencial osmótico (MPa) sobre el número de flores (30, 60 y 90 ddt) (A) y flores caídas (90 ddt) (B) en <i>Physalis</i> spp. Medias $\pm$ DE con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ). .....	34
Figura 1.4. Efecto del material silvestre ( <i>Physalis</i> spp.) a los 30, 60 y 90 ddt, en el número de flores (A) y el porcentaje de flores caídas (90 ddt) (B). Medias $\pm$ DE con letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey, $p \leq 0.05$ ). .....	35
Figura 1.5. Efecto del potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) (A) y el material silvestre (B) sobre las lecturas SPAD en plantas de <i>Physalis</i> spp. a 30, 60 y 90 días después del trasplante. Medias $\pm$ DE con letras diferentes indican diferencias diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ). .....	36

### CAPÍTULO 4

	<b>Página</b>
Figura 4. 1. Efecto del potencial osmótico sobre el pH (A) y acidez titulable (B): primera y segunda cosecha, a los 84 y 90 ddt, en frutos del material silvestre 9b. Medias $\pm$	

DE con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ). .....	85
Figura 4.2. Efecto del potencial osmótico sobre la firmeza (A) y SST (°Brix) (B): primera y segunda cosecha, a los 84 y 90 ddt, en frutos del material silvestre 9b. Medias $\pm$ DE con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p \leq 0.05$ ). .....	86
Figura 4. 3. Efecto del potencial osmótico sobre el diámetro polar (A) y ecuatorial (B): primera y segunda cosecha, a los 84 y 90 ddt en frutos del material silvestre 9b. Medias $\pm$ DE con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey, $p$ $\leq 0.05$ )......	87

## ANEXOS

	<b>Página</b>
Fura A 1. Material de tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis philadelphica</i> Lam.), accesión 9b (170 BNGEN) de la Universidad Autónoma Chapingo. ....	98
Fura A 2. Material de tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis philadelphica</i> Lam.), accesión 17b (48 BNGEN) de la Universidad Autónoma Chapingo. ....	99
Figura A 3. Material de tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis philadelphica</i> Lam.), accesión 7b (167 BNGEN) de la Universidad Autónoma Chapingo. ....	100
Fura A 4. Material de tomate silvestre mexicano ( <i>Physalis</i> ), colecta Filadelfia, colectado en la región de la Tierra Caliente Guerrero. ....	101

## INTRODUCCIÓN

En México el aprovechamiento de las especies silvestres se obtiene de forma tradicional (Martínez-Pérez *et al.*, 2012) y desde la antigüedad brindan importantes servicios a la humanidad (Baydoun *et al.*, 2017), han sido fuente de alimento en zonas rurales, utilizadas como forraje, leña y principalmente como medicina tradicional (Laila *et al.*, 2015). Asimismo, para el mejoramiento de variedades cultivadas para la resistencia de plagas y enfermedades, y para incrementar su potencial productivo (Maxted *et al.*, 2010). Sin embargo, a pesar de sus altos valores nutritivos y medicinales, están excluidas de las estadísticas oficiales como especies que ofrecen altos valores económicos (Bharucha y Pretty *et al.*, 2010). Factores como el aumento poblacional (Sujarwo *et al.*, 2015), actividades humanas inconscientes (Maxted *et al.*, 2006), aplicaciones excesivas de herbicidas en los campos agrícolas y los cambios en nuestro esquema de alimentación, están ocasionando su extinción.

El tomate silvestre mexicano perteneciente al género *Physalis* incluye especies que se recolectan de los campos de cultivo (Santiaguillo *et al.*, 2010). Son cosechadas cuando crecen de forma espontánea (López-Sandoval *et al.*, 2018), a sus frutos se les atribuyen sabores y aromas muy aceptados por los mexicanos; asimismo, propiedades medicinales (Santiaguillo y Blas, 2009; Santiaguillo *et al.*, 2010). El objetivo del hombre es cultivar especies de este género para su producción a mayor escala (López-Sandoval *et al.*, 2018). Sin embargo, el desconocimiento de su demanda nutrimental es una limitante para aumentar la producción de frutos.

No obstante, diversos estudios se han realizado para evaluar la demanda de nutrimentos en especies del género *Physalis* (Ramos-Lara *et al.*, 2002; Castro-Brindis *et al.*, 2004; Magdaleno-Villar *et al.*, 2006; Trejo-Téllez *et al.*, 2007; Martínez *et al.*, 2008; Gastelum-Osorio *et al.*, 2013; Antúnez- Ocampo, *et al.* 2014; Peña-Lomelí *et al.*, 2014), excepto en el tomate silvestre mexicano, perteneciente a este mismo género; conocido por su fruto como tomate, tomatillo, tomate de hoja y milpero (Hudson, 1986). Por consiguiente, existe la necesidad de rescatar, conservar y estudiar estas especies, con la finalidad de mejorar el rendimiento y la calidad del fruto similar al de cultivares comerciales de *Physalis philadelphica* (L.), considerándolo como un buen prospecto para producirlo en sistemas intensivos en invernadero e hidroponía.

Los sistemas hidropónicos se han utilizado como uno de los métodos estándar para la investigación en biología vegetal y también para la producción comercial de varios cultivos (Rodríguez-Delfín, 2012; Shavrukov *et al.*, 2012; Nguyen *et al.*, 2016). Muchos investigadores han usado la solución nutritiva de Steiner, dada sus propiedades (balance entre aniones y cationes, conductividad eléctrica y potencial osmótico) ya que permite un buen desarrollo de la planta (Miranda-Villagómez *et al.*, 2014). La solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) consiste de: 12, 1 y 7 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y de 9, 4 y 7 meq L<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> y K<sup>+</sup> respectivamente. Con estas concentraciones y utilizando agua destilada para la elaboración de la solución se tiene un potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de -0.072 MPa (Steiner, 1984; Lara *et al.*, 1999; Juárez *et al.*, 2006).

El  $\Psi_o$  es consecuencia de los solutos disueltos, disminuye la energía libre del agua y es siempre de signo negativo. A medida que la concentración de solutos aumenta el  $\Psi_o$  disminuye (Sánchez-Díaz y Aguirreolea, 2008). Este efecto se lleva a cabo principalmente por entropía; es decir, la mezcla de solutos y agua aumenta el desorden del sistema y, por lo tanto, disminuye su energía libre (Taiz *et al.*, 2015). De acuerdo con Baca *et al.* (2016) éste es una de las cuatro propiedades coligativas del agua que tienen relación directa con la energía libre o potencial químico del solvente y que están influenciados por la presencia de las partículas del soluto en la solución nutritiva.

En particular, en el tomate de cáscara entre las características a mejorar destacan el rendimiento, distribución de la producción, así como color, forma y tamaño de fruto (Peña-Lomelí *et al.*, 2014), aunado, que el tomate silvestre todavía se comporta como arvense, se hipotetiza que, debido a su mayor plasticidad fenotípica, habría una respuesta en su crecimiento, fisiología, rendimiento y calidad de sus frutos en respuesta a los diferentes potenciales osmóticos de la solución nutritiva. Dado que el  $\Psi_o$  puede influir sobre el crecimiento y la concentración nutrimental (Jiménez *et al.*, 2013; García-Gaytán *et al.*, 2017) y, en la productividad, pero el efecto está en función de la magnitud del  $\Psi_o$  y de la demanda o la capacidad de cada especie (Juárez *et al.*, 2006). En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue evaluar la producción hidropónica del tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) expuesto a diferentes potenciales osmóticos de la solución nutritiva, con relación a su crecimiento, fisiología, concentración nutrimental, rendimiento y calidad de fruto.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Evaluar la producción hidropónica del tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) expuesto a diferentes potenciales osmóticos de la solución nutritiva, con relación a su crecimiento, fisiología, concentración nutrimental, rendimiento y calidad de fruto.

### Objetivos específicos

- a) Determinar los materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) que presenten mayor producción de frutos a diferente potencial osmótico de la solución nutritiva.
- b) Comparar el crecimiento y fisiología de los materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) a diferentes potenciales osmóticos de la solución nutritiva.
- c) Cuantificar la concentración nutrimental en la hoja, producción de materia seca, rendimiento y calidad de fruto de los materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva.

## HIPÓTESIS

### Hipótesis general

El potencial osmótico de la solución nutritiva ejerce efecto en el crecimiento, fisiología, rendimiento y calidad de fruto del tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.).

### Hipótesis específicas

- a) Los materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) responden de diferente manera al ser expuestos a distinto potencial osmótico de la solución nutritiva.
- b) El crecimiento y la fisiología de los materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) está influenciado por el potencial osmótico de la solución nutritiva.
- c) No existe relación entre el potencial osmótico de la solución nutritiva y la concentración nutrimental en la hoja, materia seca, rendimiento y calidad de fruto del tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.).

## REVISIÓN DE LITERATURA

### **Importancia de los cultivos silvestres**

La gran riqueza biológica que posee la República Mexicana se debe a la considerable extensión de la zona subtropical, la cual le hace obtener una de las floras más variadas de América (Gheno-Heredia *et al.*, 2011). México es la quinta nación en términos de riqueza de especies vegetales, alberga de 25,000 a 30,000 especies de plantas y actualmente se registran 7461 plantas útiles, de las cuales 2,168 son comestibles, de acuerdo a la base de datos etnobotánicos de plantas útiles mexicanas (BADEPLAM) (Mapes y Basurto *et al.*, 2016). En México la mayor parte de especies silvestres útiles se encuentran en zonas de propiedades comunes, de allí las personas locales obtienen de forma tradicional diversos productos de su ambiente inmediato, que son de importancia para su supervivencia (Martínez-Pérez *et al.*, 2012). Muchas de estas especies tienen el potencial de aportar rasgos beneficiosos como: resistencia contra plagas o enfermedades y mejorar el rendimiento y la estabilidad de los cultivos (Maxted *et al.*, 2010). Sin embargo, en los últimos años en ciertas regiones con el crecimiento de la industria turística, los hábitats silvestres de las plantas comestibles se han visto gravemente afectadas, de igual manera que el conocimiento tradicional de este tipo de plantas (Sujarwo *et al.*, 2015), otro factor por el cual han sido afectadas son por las actividades humanas descuidadas (Maxted *et al.*, 2006).

### **Económica**

Las plantas silvestres desde tiempos antiguos le han brindado importantes servicios a la humanidad (Baydoun *et al.*, 2017), beneficios económicos, tales como fuentes de forraje, leña y medicina tradicional, para ritos ceremoniales y también como juguetes (Santiaguillo y Blas, 2009; Laila *et al.*, 2015). Como alimento fresco, las verduras silvestres han desempeñado un papel importante en la vida diaria y en los ingresos de los grupos étnicos locales durante siglos (Xiaobo *et al.*, 2010). Sin embargo, los recursos que tenemos a nuestra disposición están siendo subutilizados a pesar de la importancia que tienen para la supervivencia humana, se están perdiendo a una velocidad alarmante debido a escasos intereses políticos e incentivos para su estudio, conservación y uso sustentable (Santiaguillo *et al.*, 2010).

### **Medicinal**

La ingesta de especies silvestres comestibles consumidas tradicionalmente recibe hoy en día una atención renovada, debido al reconocimiento de sus benéficos potenciales para la salud humana

(Sánchez-Mata *et al.*, 2012), tal que se ha demostrado que las plantas silvestres comestibles proporcionan ácido alfa-linolénico (ALA) y mayores cantidades de vitamina E y vitamina C, en comparación con las plantas cultivadas. Además, son ricas en fenoles y otros compuestos que aumentan su capacidad antioxidante (Simopoulos, 2004). Por ejemplo, los usos médicos que representa el género *Physalis* son numerosos, por lo que se reconoce una amplia variedad de especies, las cuales se usan para tratar el asma, problemas urinarios, reumatismo y tumores (Silva *et al.*, 2005). Cakir *et al.* (2014) investigaron las propiedades antibacteriana y antioxidante de *Physalis peruviana* (baya de oro) en extractos de hojas y etanol y sus efectos sobre la citotoxicidad de las células HeLa y la expresión de los genes de la vía apoptótica, y encontraron que los extractos de hojas y brotes poseen un efecto citotóxico en las células HeLa cuando se aplican concentraciones de 100 µg/mL. Choi *et al.* (2006) evaluaron la ixocarpalactona A aislada del tomatillo mexicano (*Physalis philadelphica* Lam.) y hallaron que los químicos presentes en los frutos (IxoA) presentan propiedades quimiopreventivas contra el cáncer de colon humano SW480 al mostrar una interrupción en el ciclo celular de las células cancerígenas. Cabaleta-Velasco *et al.* (2013) señalan que el género *Physalis* representa especies silvestres, muchas de las cuales tienen un alto valor alimenticio y son fuente de importantes sustancias con usos medicinales, como los flavonoides, que son antioxidantes naturales; los witanólidos, que son sustancias con potencial anticancerígeno; y otras sustancias de interés para el consumo diario.

### **Alimentaria**

En México, además de los usos señalados en párrafos anteriores. Estas especies son utilizadas con fines comestibles (Santiaguillo y Blas, 2009). El uso promedio es de 120 por comunidad, principalmente en las comunidades indígenas en los países industrializados y en desarrollo, a pesar de su alto valor, están excluidos de las estadísticas oficiales sobre los valores económicos de los recursos naturales (Bharucha y Pretty, 2010). El consumo de alimentos de origen silvestre está determinado por los factores sociales, económicos y culturales, así como por el contacto directo con la naturaleza en la vida cotidiana de las comunidades (Pardo-de-Santayana *et al.*, 2007), razón por lo cual, están muy expuestas a erosión genética, al ser consumidas por poblaciones pequeñas, son fáciles de ser reemplazadas por otros cultivares más rentables. Además, porque son utilizadas por los grupos sociales más pobres que reciben escasa atención (Santiaguillo *et al.*, 2010). Estos materiales se encuentran relacionados con los cultivos agrícolas más rentables, representan una gran diversidad genética a partir de la cual se pueden extraer nuevas variaciones alélicas, requeridas

en los programas genéticos para aumentar la producción y así abastecer las demandas del mercado (Dempewolf, *et al.*, 2017). El tomate silvestre mexicano, perteneciente al género *Physalis*, incluye especies que han servido de alimento en las poblaciones de bajo recursos, recolectado de los campos de cultivo de maíz, conocido como miltomate o tomatillo en los estados del sureste de México y Guatemala (Santiaguillo *et al.*, 2010), constituye un recurso de recolección en el territorio mexicano y en algunas zonas se ha impulsado su cultivo, por lo que representa un recurso productivo consistente (Santiaguillo-Hernández *et al.*, 2009).

### **El tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.)**

El género *Physalis* tiene una importancia cultural, económica y biológica en México. Ha estado presente en la dieta mexicana desde tiempos precolombinos y su uso perdura hasta nuestros días. Se consume principalmente en fresco, aunque también se industrializa, tanto para el mercado internacional como para exportación (Peña-Lomelí *et al.*, 2017). México es el centro de la diversidad del tomate de cáscara, que incluye una serie de especies comestibles y ornamentales de importancia comercial. Este género incluye 90 especies, 70 de las cuales crecen en México (Vargas-Ponce *et al.*, 2011). Dentro de la amplia diversidad genética que comprende el tomate de cáscara en México, se distingue un tipo denominado comúnmente “tomate milpero”, también como “miltomate” o “tomate de milpa. Con este nombre se designa a las poblaciones de tomate de cáscara o sus frutos, que crecen y se desarrollan como ruderal o arvense y, de silvestres a cultivadas en diferentes zonas del territorio mexicano. Dicho nombre obedece a que las plantas de este tomate emergen de manera natural o inducida en parcelas con diversos cultivos, siendo muy comunes en maíz. Entre las características distintivas del tomate milpero se encuentran su tamaño, sabor y vida postcosecha. En relación al fruto, su diámetro ecuatorial sin cáliz, varía de uno a dos centímetros y la baya es mucho más pequeña en comparación con el cáliz, mientras que su pH presenta valores de 4.163 a 4.410, contenido de sólidos solubles vía de 1.883 a 4.350 % de grados brix, esto es, menos ácido y dulces que los frutos de variedades cultivadas (Santiaguillo- Hernández *et al.*, 2009). Estas cualidades de estos materiales lo hacen atractivos para el desarrollo de tecnologías de producción (Cobalda-Velazco *et al.*, 2013) sobre todo por tratarse de un género que agrupa especies que se distribuyen en ambientes modificados (López. Sandoval *et al.*, 2018). La publicación de la importancia de todos sus aspectos de estos materiales abrirá la puerta de mayor uso, se tendrá aprovechamiento de los recursos del taxón y con ello mayor posibilidad de conservación. (Santiaguillo y Blas, 2009).



Figura 1. Planta de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) (a), flor (b) y fruto (c).

### Caracterización de los materiales de tomate silvestre mexicano

De acuerdo con las claves de Vargas *et al.* (2003) y Rzedowski, (2005) las tres accesiones (9b, 17b y 7b) corresponden a la especie *Physalis philadelphica*, sinónimo de *Physalis ixocarpa* Brot. (Santiaguillo *et al.*, 2010).

Cuadro 1. Relación de accesiones de *Physalis* spp. utilizadas en la investigación.

Na	Descripción	Lugar de colecta
9b	170 BNGEN	Villa de Purificación, Villa de Purificación, Jalisco
17b	48 BNGEN	Soyatlán del Oro, Atengo, Jalisco
7b	167 BNGEN	Cofradía de Lepe, Atengo, Jalisco
Filadelfia	Material silvestre	Filadelfia, Tlapehuala, Tierra Caliente, Guerrero

Na: número de accesión de *Physalis* spp.; BNGEN: Banco Nacional de Germoplasma de Especies Nativas de la Universidad Autónoma Chapingo.

### La solución nutritiva de Steiner

La solución nutritiva de Steiner consiste en agua con aire (oxígeno) y los nutrimentos esenciales en forma iónica: 12, 1 y 7 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y de 7, 9 y 4 me L<sup>-1</sup> de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, 9 y Mg<sup>2+</sup>

respectivamente. Con estas concentraciones y utilizando agua destilada para la elaboración de la solución se tiene un potencial osmótico de  $-0.072$  MPa (Steiner, 1968; Steiner, 1984; Lara *et al.*, 1999; Juárez *et al.*, 2006). Además, de algunos compuestos orgánicos como los quelatos de hierro (Steiner, 1968). Los aspectos más importantes de la solución nutritiva son: la relación mutua entre aniones y cationes, la concentración de nutrimentos expresada con la conductividad eléctrica (CE), el pH, la relación  $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$  y la temperatura (Lara, 1999). Desde un punto de vista técnico, para que las plantas puedan obtener los máximos rendimientos, la solución nutritiva debe cubrir sus requerimientos nutrimentales, de tal manera que se eviten deficiencias o el consumo en exceso (Favela *et al.*, 2006). Por lo tanto, cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una solución nutritiva con características específicas (Lara, 1999). La solución nutritiva Steiner es una de las soluciones más utilizadas en cultivos hidropónicos, dada sus propiedades (balance entre aniones y cationes, conductividad eléctrica y potencial osmótico), ya que le permite un buen desarrollo a la planta (Miranda-Villagómez *et al.*, 2014). Marín *et al.* (2010) señalan que la composición de la solución nutritiva juega un papel importante en la tasa de absorción de la raíz, debido a las interacciones entre los nutrimentos y la regulación interna. Para el uso de las soluciones hay que considerar que la composición específica depende de las condiciones climáticas, en particular de la temperatura y de la luz, y de la calidad del agua que se utilice. Además, se deben tomar en cuenta las necesidades nutrimentales de la planta a la que se le va a aplicar, así como su edad y etapa fenológica, y sistema con el cual se trabajará el cultivo; ya sea cerrado o abierto en el cual no hay recirculación de la solución (Gómez-Hernández y Sánchez- del Castillo, 2003). Para cubrir la demanda de los micronutrimentos esenciales para los cultivos, la solución nutritiva se complementa de acuerdo a lo sugerido por (Hoagland y Arnon 1950): Fe, B, Mn, Zn, Cu y Mo, con 3, 0.5, 0.7, 0.09, 0.02 y 0.04 ( $\text{mg L}^{-1}$ ).

### **El potencial osmótico ( $\Psi_o$ )**

El  $\Psi_o$  es consecuencia de los solutos disueltos en el agua, con característica intrínseca de disminuir la energía libre del agua de efecto negativo, el cual está relacionado con la fracción molar del agua o con su actividad (Sánchez y Aguirreolea, 2008), es uno de los componentes del potencial de agua y su determinación se basa principalmente en el cambio de las propiedades físicas y químicas, generado por la presencia de las propiedades coligativas de las soluciones (Cárdenas y Villegas, 2002). Además, el  $\Psi_o$  es un componente del potencial del agua que resulta de la presencia

de partículas de soluto y es equivalente a la presión osmótica en concepto, pero de signo opuesto (Baca *et al.*, 2016).

### **El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva**

El  $\Psi_o$  es una propiedad físico-química de las soluciones, dependiente de la cantidad de partículas o solutos disueltos (Favela *et al.*, 2006). Un bajo  $\Psi_o$  disminuye la energía libre del agua, por lo tanto, es un factor que inhibe la absorción de nutrientes (Bautista, 2010). Gallegos (2012) indicó que el  $\Psi_o$  de una solución nutritiva apropiado para producir tomate (*Solanum lycopersicum* L.) está directamente relacionado con los niveles de humedad relativa, temperatura, luz y fotoperiodo de la zona de producción. Sandoval *et al.* (2009) indicaron que el  $\Psi_o$  se calcula mediante la fórmula: (PO) (-0.1), expresado en megapascales (MPa). La importancia del  $\Psi_o$  de la solución nutritiva es que disminuye su potencial hídrico. De acuerdo con Salisbury y Ross (1994) el  $\Psi_o$  siempre será negativo (o cero en el agua pura) ya que al agregar solutos siempre disminuye el potencial hídrico por debajo del que posee el agua pura. Por consiguiente, se afecta la absorción de agua y de nutrientes, y la planta se ve afectada (Steiner, 1984).

### **Presión osmótica (PO) de la solución nutritiva**

Las características químicas de la solución nutritiva se reflejan en la respuesta de las plantas, siendo la PO la más importante de estas características (Juárez *et al.*, 2006). La cantidad total de los iones correspondientes a las sales disueltas en la solución nutritiva, ejerce una fuerza llamada PO, a medida que aumenta la cantidad de iones se incrementa esta presión (Favela *et al.*, 2006). La PO de la solución nutritiva afecta la absorción de agua y nutrientes y, por consiguiente, el crecimiento y la nutrición de las plantas (Preciado *et al.*, 2003). De acuerdo con Sandoval *et al.* (2009) la presión osmótica se calcula con la fórmula (CE) (0.36).

### **Conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva**

La CE es un estimador de la concentración total de sales y debe ser mantenida a lo largo del cultivo (Carrasco *et al.*, 2006), influye en la nutrición de las plantas, a una CE mayor a 6 dS m<sup>-1</sup> se induce diferente absorción entre los nutrientes y como efecto un desbalance entre éstos; pero una CE menor a 2 dS m<sup>-1</sup> es deficiente, sobre todo en los lugares o temporadas frías (Lara, 1999).

## **El pH de la solución nutritiva**

El pH es un parámetro que mide la acidez y la alcalinidad de una solución. Este valor indica la relación entre la concentración de los iones libres H y OH presente en una solución y oscila entre 0 y 14 (Steiner, 1984; Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012).

## **Funciones de los nutrimentos en las plantas**

Las plantas requieren al menos 14 elementos minerales para su nutrición. Estos incluyen los macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), y azufre (S) y los micronutrientes: cloro (Cl), boro (B), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), zinc (Zn), níquel (Ni) y molibdeno (Mo) (White y Brown, 2010; Kopriva, 2015). Los cuales ejercen funciones específicas en la vida de la planta; como formar parte de la molécula de uno o más compuestos orgánicos, ser constituyentes de enzimas y en el transporte y regulación osmótica (Alcántar *et al.*, 2009). Después del carbono, el N es el elemento requerido en mayor cantidad por las plantas: desempeña un papel central en su metabolismo, como constituyente de proteínas, ácidos nucleicos, clorofila, coenzimas, fitohormonas y metabolitos secundarios (Hawkesford *et al.* 2012.). por lo tanto, este elemento es determinante para el crecimiento y la producción de los cultivos (Razaq, *et al.*, 2017; Kazem y Dehnavard, 2017). El P, forma parte de los ácidos nucleicos, lípidos de la membrana y los intermedios fosforados del metabolismo energético (Prat *et al.*, 2009; Shen *et al.*, 2011). El K, es un nutrimento esencial, relacionado con los procesos bioquímicos y fisiológicos, al influir en el crecimiento y metabolismo de las plantas (Wang *et al.*, 2013.); un bajo nivel de K, provoca el desencadenamiento y la expresión de los transportadores de  $K^+$  de alta afinidad, regulada por el incremento de algunos canales de  $K^+$  y además activa las cascadas de señalización, algunas de las cuales son similares a aquellas involucradas en las heridas y otras respuestas de estrés (Ashley *et al.*, 2006). El Ca, forma parte de la pared celular y da estabilidad a la membrana, en la osmorregulación y actúa como segundo mensajero; al permitirles a las plantas regular los procesos de desarrollo en respuesta a los estímulos ambientales (Hawkesford *et al.* 2012.). Sin embargo, su absorción y distribución puede ser reprimida directa e indirectamente por los cationes K, Mg, Na,  $NH_4^+$  y H, siendo más evidente a bajas concentraciones (Wallace y Mueller, 2008). El Mg, tiene funciones fisiológicas y moleculares en las plantas, por ser un componente de la molécula de clorofila, un cofactor para muchos procesos enzimáticos asociados con la fosforilación, desfosforilación y la hidrólisis de varios compuestos y, como estabilizador estructural para varios nucleótidos (Merhaut, 2007). El S, es un componente vital de las proteínas a través de los

aminoácidos cisteína y metionina y un componente activo de numerosas coenzimas y grupos protésicos, centros de azufre de hierro, coenzima A, tiamina, ácido lipoico, adenosilmetionina S, glutatión (Kopriva *et al.*, 2015), por lo tanto, es necesario para el crecimiento de todos los organismos, al estar presente en una amplia variedad de metabolitos que tienen funciones biológicas (Takahashi, *et al.*, 2011). El Cl, es un micronutriente que participa en varios procesos del metabolismo fisiológico de las plantas. Sus funciones en el crecimiento y desarrollo de las plantas incluyen la regulación osmótica y estomática, la producción de oxígeno en la fotosíntesis y la resistencia y tolerancia a enfermedades (Chen *et al.*, 2008). El B, es un elemento vital para las plantas (Uluisik *et al.*, 2018), desempeña un papel importante en la nutrición, pero un nivel extremadamente deficiente o tóxico puede ser responsable de la reducción del crecimiento y como resultado se presenta un cambio en la fisiología y bioquímica de las plantas (Tariq y Mott, 2007). Junto con el Ca, el B tiene tres características fisiológicas: (a) un papel estructural en la pared celular, (b) su movilidad y solubilidad muy escasa (concentración citosólica muy baja), y (c) una función de señalización (González-Fontes *et al.*, 2008). El Fe, es un micronutriente que desempeña un papel fundamental en los procesos metabólicos, como la síntesis de ADN, la respiración y la fotosíntesis. Además, muchas vías metabólicas son activadas por el Fe, y es un componente prostético protésico de muchas enzimas. Por lo tanto, una baja concentración de Fe en la solución del suelo cuando la planta lo demanda produce clorosis férrica (Rout y Sahoo, 2015). El Mn, es un elemento que interviene en varios procesos metabólicos, principalmente en la fotosíntesis y como cofactor antioxidante (Millaleo *et al.*, 2010). El Cu, es un metal esencial para el crecimiento y desarrollo normal de las plantas, participa en numerosos procesos fisiológicos; además es un cofactor metaloproteínas. Sin embargo, un exceso en las células inhibe el crecimiento de las plantas, al perjudicar los procesos celulares (transporte de electrones fotosintéticos) (Yruela, 2005). El zinc, está involucrado en muchas funciones fisiológicas. La deficiencia puede retrasar el crecimiento, disminuyendo el número de retoños, clorosis y hojas más pequeñas, aumentando el periodo de madurez del cultivo, la esterilidad de las espiguillas y la calidad inferior de los productos cosechados (Hafeez *et al.*, 2013). El Ni, tiene un efecto significativo en la productividad de las plantas fijadoras de nitrógeno, aquellas en las que los ureidos son una forma significativa de N y las que utilizan urea como fuente primaria de nitrógeno (Brown, 2007). El Mo, es útil para el crecimiento de las plantas es desproporcionado con respecto a las cantidades absolutas requeridas

por la mayoría de las plantas es utilizado por enzimas seleccionadas para llevar a cabo reacciones redox (Kaiser *et al.*, 2005).

### **El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) y la absorción nutrimental de las plantas**

Las plantas toman del suelo los elementos esenciales (macronutrientes y micronutrientes) para la composición de su biomasa, a excepción del carbono, oxígeno e hidrógeno que son tomados del aire y del agua. Tales elementos son incorporados desde la solución del suelo hasta el interior de las células, donde son almacenados, metabolizados o transportados a otras células, tejidos u órganos de la planta (Fernández *et al.*, 2008). Los mecanismos por los que las plantas acumulan nutrimentos son selectivos. Ésta es una característica típica de las plantas superiores en la captación iónica. Cuando se cultivan plantas en una solución nutritiva de volumen limitado, las concentraciones externas de los iones cambian con el tiempo. En el caso de las concentraciones de  $K^+$ ,  $PO_4^{2-}$  y  $NO_3^-$  disminuyen marcadamente, mientras que las de  $Na^+$  y  $SO_4^{2-}$  pueden incrementar, lo que indica que el agua se absorbe más rápidamente que cualquiera de estos dos iones. Para el caso de las tasas de absorción, especialmente para  $K^+$  y  $Ca^{2+}$ , difieren entre especies de plantas. Por lo tanto, las concentraciones de iones en la savia de las raíces son generalmente más altas que la solución nutritiva; esto es más evidente en el caso del  $K^+$ ,  $NO_3^-$  y  $PO_4^{2-}$ . La absorción de iones tanto en plantas inferiores como superiores se caracterizan por la selectividad; ciertos elementos minerales se toman preferentemente, mientras que otros son discriminados o casi excluidos; la concentración de elementos puede ser mucho mayor en la savia celular que en la solución externa y por su genotipo; hay diferencias claras entre las especies de plantas en sus características de absorción iónica (White, 2012).

### **El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva en el crecimiento y fisiología de la planta**

Parra-Terraza *et al.* (2004) al estudiar el efecto del  $\Psi_o$  de la solución nutritiva sobre el crecimiento de pepino, encontraron que las plantas de menor tamaño fueron obtenidas con la solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa y las de mayor con -0.072 MPa. Es decir, el crecimiento del cultivo de pepino estuvo relacionado con el incremento de la concentración de la solución nutritiva. Cruz-Crespo *et al.* (2014) obtuvieron tallos más gruesos en chile serrano al usar la solución nutritiva Steiner al 75 % ( $\Psi_o$  de -0.054 MPa) con respecto al 25 % ( $\Psi_o$  de -0.018 MPa). Mientras que, Miranda-Villagómez *et al.* (2014) lograron obtener tallos más gruesos de *Freesia × hybrida* sólo con el 50 % ( $\Psi_o$  de -0.036 MPa). Al respecto Munns y Tester (2008) mencionan que el bajo potencial de soluto (mayor concentración de sales) del agua de riego causa

la reducción del crecimiento en las plantas. Munns y Tester (2008 ) y Zhang *et al.* (2010) señalan que como resultado se presenta una absorción de agua más lenta y una disminución de la tasa de crecimiento de las células. Schwarz *et al.* (2001) encontraron que al aumentar la concentración de la solución de nutrimentos para la producción de *Solanum Lycopersicum* L., se redujo el crecimiento, efecto generado por la inhibición de la fotosíntesis, ya que estos parámetros fisiológicos están estrechamente relacionados con el crecimiento de las plantas, así como con el rendimiento y la calidad del fruto (Wu y Kubota, 2008).

### **El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva en la concentración nutrimental en la hoja**

García-Gaytán *et al.* (2017) encontraron que la disminución del potencial osmótico de la solución nutritiva incrementó la concentración de micronutrientes, con excepción del Ca. Jiménez *et al.* (2013) reportaron que al disminuir el  $\Psi_o$  de la solución nutritiva, se aumentaron las concentraciones de N y K, pero el P, Ca, Mg, B, Mn, Zn y Cu disminuyeron. Gastelum-Osorio *et al.* (2013) obtuvieron mayor concentración de K, tanto en la etapa vegetativa y en la de fructificación en *Physalis peruviana* L. reportaron valores ascendentes, con respecto al incremento de la concentración en la solución nutritiva; indicaron que la disminución del K en hojas de *Physalis peruviana* L. (pariente del tomate silvestre) presenta este comportamiento al ser un nutrimento con mayor demanda en la etapa de floración y fructificación. Por otro lado, Cruz-Crespo *et al.* (2014), cuando incrementaron la concentración de la solución nutritiva, encontraron que la concentración de Ca aumentó en hojas de chile serrano. Por otra parte, Cruz *et al.* (2012) reportaron mayor incremento de Zn después de usar la solución al 50 % ( $\Psi_o$  de -0.036 MPa), dejando claro que para aumentar la concentración de este elemento no se requiere incrementar la concentración más del 50 % de su fuerza iónica.

### **El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva en la calidad y la producción de frutos**

García-Gaytán *et al.* (2017) señalaron que al disminuir el potencial osmótico de la solución nutritiva también el pH de frutos de chile pimiento chilhuacle se redujo. Gastelum-Osorio *et al.* (2013) al evaluar diferentes concentraciones de la solución Steiner sobre el cultivo de *Physalis peruviana* L. no encontraron diferencias significativas en sólidos solubles totales ( $^{\circ}$ Brix) y el pH del fruto; en producción, obtuvieron mayor número de frutos al usar la solución Steiner al 100 % ( $\Psi_o$  de -0.072 MPa). También encontraron que el incremento de la producción frutos se relacionó con el aumento de la concentración de la solución nutritiva; aunque recomiendan producir *P.*

*peruviana* usando una solución entre el 50 % y 75 % ( $\Psi_o$  de -0.036 y -0.054 MPa), con la finalidad de tener un óptimo económico en la producción. Cruz-Crespo *et al.* (2014), también reportaron una relación entre el incremento del porcentaje de la solución nutritiva y la producción de chile serrano. Por otro lado, Valenzuela *et al.* (2014) encontraron diferencias significativas en diámetro polar y ecuatorial en tomate. Asimismo, observaron disminución en el diámetro con el paso del tiempo. Además, reportaron que la producción de tomate se encuentra en relación al incremento del porcentaje de la solución nutritiva.

#### LITERATURA CITADA

- Alcántar G., G., L. Trejo-Téllez, L. Fernández P. y M. Rodríguez M. 2009.** Elementos esenciales *In:* Nutrición de cultivos (eds.) Alcántar G. G., y Trejo T. L. Mundi-Prensa, México. pp. 8-47.
- Antúñez-Ocampo, O. M., M. Sandoval-Villa, G. Alcántar-González y M. Solís-Martínez. 2014.** Aplicación de amonio y nitrato en plantas de *Physalis peruviana* L. *AGROCIENCIA* 48: 805-814.
- Ashley, M. K., M. Grant and A. Grabov. 2006.** Plant responses to potassium deficiencies: a role for potassium transport proteins. *Journal of Experimental Botany* 57: 425-436. DOI: 10.1093/jxb/erj034.
- Baca, C. G. A. de J., E. Rodríguez C. y A. Quevedo N. 2016.** La solución nutritiva en hidroponía. Impresos Studio Litográfico. Ecatepec, Estado de México. 154 p.
- Bautista C., M. T. 2010.** Potencial osmótico en la absorción nutrimental y calidad de futo en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Tesis de Maestría en Ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Estado de México. 64 p.
- Baydoun, SA, D. Kanj, K. Raafat, E. M. Aboul, L. Chalak. and N. Arnold-Apostolides. 2017.** Ethnobotanical and economic importance of wild plant species of jabal moussa bioreserve, Lebanon. *Journal of Ecosystem & Ecography* 7: 1-10. DOI: 10.4172/2157-7625.1000245.
- Bharucha, Z. and J. Pretty. 2010.** The roles and values of wild foods in agricultural systems. *Philosophical Transactions of the Royal Society B* 365: 2913-2926. DOI: 1098/rstb.2010.0123.

- Brown, P. H. 2007.** Nickel. *In:* A. V. Barrker and D. J. Pilbeam (eds.). Handbook of Plant Nutrition. United States of America. Taylor & Francis Group. Pp. 145-181.
- Cakir, O., M. Pekmez, E. Cepni, B. Candar and K. Fidan. 2014.** Evaluation of biological activities of *Physalis peruviana* ethanol extracts and expression of Bcl-2 genes in HeLa cells. Food Science and Technology 34: 422-430. DOI: 10.1590/fst.2014.0060.
- Cárdenas L. Ma. A. y A. Villegas M. 2002.** Potencial osmótico del medio de cultivo con diferentes componentes para la propagación in vitro. Revista Fitotecnia Mexicana 25: 213-217.
- Carrasco, G., P. Ramírez y H. Vogel. 2006.** Efecto de la conductividad eléctrica de la solución nutritiva sobre el rendimiento y contenido de aceite esencial en albahaca cultivada en NFT. IDESIA (Chile) 25: 59-62.
- Castro-Brindis, R., P. Sánchez-García, A. Peña-Lomelí, G. Alcántar-González, G. A. Baca-Castillo, R. Ma. López-Romero. 2000.** Niveles críticos de suficiencia y toxicidad de N-NO<sub>3</sub> en el extracto celular de tomate de cáscara. Revista Chapingo Serie Horticultura 6: 33-38.
- Chen, W., Z. L. Él, X. E. Yang, S. Mishra and P. J. Stoffella. 2008.** Chlorine nutrition of higher plants: progress and perspectives. Journal of Plant Nutrition 33: 943-952. DOI: 10.1080/01904160903242417.
- Choi, k. J., G. Murillo, S. Bao-Ning, J. M. Pezzuto, AD. Kinghorn and R. G. Mehta. 2006.** Ixocarpalactone A isolated from the mexican tomatillo shows potent antiproliferative and apoptotic activity in colon cancer cells. The FEBS Journal 273: 5714-5723. DOI: 10.1111/j.1742-4658.2006.05560.x.
- Cobaleda-Velasco, M., A. Reyes-Martínez, G. Barriada-Bernal, J. R. Medina-Medrano, R. Torres-Ricario, E. A. Delgado-Alvarado, R. E. Alanis-Bañuelos y N. Almaraz-Abarca. 2013.** Una mirada general al tomate de cáscara (*Physalis*). Vidsupra vision científica 52: 90-99.

- Cruz C., E., M. Sandoval, V., V. H. Volke H., A. Can, Ch. y J. Sánchez, E. 2012.** Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 1361-1373.
- Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, R., Bugarín-Montoya, J., Pineda-Pineda, R., Flores-Canales, P., Juárez-López y G., Alejo-Santiago. 2014.** Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 289-295.
- Dempewolf, H., G. Baute, J. Anderson, B. Kilian, Ch. Smith and L. Guarino. 2017.** Past and future use of wild relatives in crop breeding. *Crop Science* 57: 1070-1082. DOI: 10.2135/cropsci2016.10.0885.
- Favela C., E., P. Preciado R. y A. Benavides M. 2006.** Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Universidad Autónoma Antonio Narro. Torreón Coahuila. 146 p.
- Fernández, J. A., Ma. de J. García S y J. Ma. Maldonado. 2008.** Absorción y transporte de nutrientes minerales. *In: J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.). Fundamentos de Fisiología Vegetal.* McGraw-Hill Internacional, Madrid, España. Pp 123-141.
- Gallegos, C. D. 2012.** Efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva en la producción de licopeno en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados, Montecillo, México 66 p.
- García-Gaytán, V., L. I. Trejo-Téllez, F. C. Gómez-Merino, S. García-Morales, Ol. Tejeda-Sartorius. M. Ramírez-Martínez y J. Delgadillo-Martínez. 2017.** Gamma radiation and osmotic potential of the nutrient solution differentially affect macronutrient concentration, pH and EC in chilhuacle pepper fruits. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 315: 145-156.
- Gastelum-Osorio, D., A., M. Sandoval-Villa, C. Trejo-López, y R. Castro-Brindis. 2013.** Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19: 197-210.

- Gheno-Heredia, Y. A., G. Nava-Bernal, A. R. Martínez-Campos y E. Sánchez-Vera. 2011.** Las plantas medicinales de la organización de parteras y médicos indígenas tradicionales de Ixhuatlancillo, Veracruz, México y su significancia cultural. *Polibotánica* 31: 199-251.
- Gómez-Hernández, T. y F. Sánchez-del Castillo. 2003.** Soluciones nutritivas diluidas para la producción de jitomate a un racimo. *Terra Latinoamericana* 21: 57-63.
- González-Fontes, A., J. Rexach, M. T. Navarro-Gochicoa, M. B. Herrera-Rodríguez, V. M. Beato, J. M. Maldonado and J. J. Camacho-Cristóbal. 2008.** Is boron involved solely in structural roles in vascular plants? *Plant Signaling & Behavior* 3: 24-26.
- Hafeez, B. Y. M. Khanif and M. Saleem. 2013.** Role of Zinc Plant Nutrition-A Review. *American Journal of Experimental Agriculture* 3: 447-391.
- Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring I. Skrumsagre M. and P. White. 2012.** Functions of Macronutrients. *In: P. Marschner (eds.). Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Academic Press. San Diego, CA. Pp. 135-192.*
- Hoagland D. R., Arnon D. I. 1950.** The water-culture method for growing plants without soil. *Coll Agric U. C. Berkeley, USA, California Agricultural Experiment Station Circular 347: 1-32.*
- Hudson, W.D. 1986.** Relationships of domesticated and wild *Physalis philadelphica*: *In: Solanaceae: Biology and Systematics. D'Arcy WG (ed). Columbia University Press. New York. Pp. 416-432.*
- Jiménez-Peña, N., L. A. Valdez-Aguilar, A. M. Castillo-González and M. T. Colinas-León and, A. D. Cartmill. 2013.** Growing media and nutrient solution concentration affect vegetative growth and nutrition of *Laelia anceps* Lindl. *HortScience* 48: 773-779.
- Juárez, H. Ma. de J., G. A. Baca C., L. A. Aceves N., P. Sánchez G., J. L. Tirado T., J., Sahagún C. y M. T. Colinas De L. 2006.** Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 4: 246-253.
- Kaiser, B. N. K. L. Gridley, J. N. Brady, T. Phillips and S. Tyerman. 2005.** The role of molybdenum in agriculture plant production. *Annals of Botany* 95: 745-754. DOI: 10.1093/aob/mci226.

- Kazem, S. M. and S. Dehnavard. 2017.** Characterization of tomato growth and fruit quality under foliar ammonium spray. *Open Agriculture* 2:531-536. DOI: 10.1515/opag-2017-0055.
- Kopriva, S. 2015.** Plant sulfur nutrition: From Sachs to big data. *Plant Signaling & Behavior*. 10: 1-5. DOI: 10.1080/15592324.2015.1055436.
- Laila, M. B., S. A. Kamal, M. Waseem A. H., S. and Z. Heneidy. 2015.** Goods and services provided by native plants in desert ecosystems: Examples from the northwestern coastal desert of Egypt. *Global Ecology and Conservation* 3: 433-447. DOI: 10.1016/j.gecco.2015.02.001.
- Lara, H. A. 1999.** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17: 221-229.
- López-Sandoval, J. A., E. J. Morales-Rosales, H. Vibrans, E. Uscanga-Mortera, O. Vargas-Ponce y M. Martínez-y-Díaz-De-Dalas. 2018.** Cultivo de especies silvestres del género *Physalis* y su relación con la sinantropía. *Tropical and Subtropical Agroecosystems* 21: 303-315.
- Magdaleno-Villa, J. J., A. Peña-Lomelí, R. Castro-Brindis, A. M. Castillo-González, A. Galvis-Spíndola, F. Ramírez-Pérez y B. Hernández-Hernández. 2006.** Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 12: 223-229.
- Mapes, C. and F. Basurto. 2016.** Biodiversity and edible plants of México. *In: Lira, R., Casas J. Blancas* (eds.). *Etnobotany of México. Interactions of people and plants in Mesoamerica*. Springer. New York, USAS. pp. 121-124.
- Marín, M., L. A. Valdez-Aguilar, A. M. Castillo-González, J. Pineda-Pineda, J. J. Galván-Luna. 2010.** Modeling growth and ion concentration of *Lilium* in response to nitrogen: potassium: calcium mixture solutions. *Journal of Plant Nutrition* 34: 12-26.
- Martínez, F. E., J. Sarmiento, G. Fischer y F. Jiménez. 2008.** Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana* 26:389-398.

- Martínez-Pérez, A., P. A. López, A. Gil-Muñoz y J. A. Cuevas-Sánchez. 2012.** Plantas silvestres útiles y prioritarias identificadas en la mixteca poblana. *Acta Botánica Mexicana* 98: 73-98.
- Maxted, N., B. V. Ford-Lloyd, S. Jury, S. Kell and M. Scholten. 2006.** Towards a definition of a crop wild relative. *Biodiversity & Conservation* 15: 2673-2685.
- Maxted, N., B. V. Ford-Lloyd, S. Jury, S. Kell and M. Scholten. 2006.** Towards a definition of a crop wild relative. *Biodiversity & Conservation* 15: 2673-2685.
- Maxted, N., S. Kell, A. Toledo, E. Dulloo, V. Heywood, T. Hodgkin, D. Hunter, L. Guarino, A. Jarvis and B. Ford-Lloyd. 2010.** A global approach to crop wild relative conservation: securing the gene pool for food and agriculture. *Kew Bulletin* 65: 561-576.
- Merhaut, D. J. 2007.** Magnesium. *In:* A. V. Barrker and D. J. Pilbeam (eds.). *Handbook of Plant Nutrition*. United States of America. Taylor & Francis Group. pp. 145-181.
- Millaleo, R., M. Reyes-Díaz, AG, Ivanov, ML Mora and M. Alberdi. 2010.** Manganese as essential and toxic element for plants: transport, accumulation and resistance mechanisms. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition* 4: 470-481. DOI: 10.4067/S0718-95162010000200008.
- Miranda-Villagómez E., J. A. Carrillo-Salazar, María-de-las-Nieves Rodríguez-Mendoza, M. T. Colinas-León, M. Livera-Muñoz y E. A. Gaytán-Acuña. 2014.** Crecimiento y calidad del tallo floral de *Freesia x hybrida* en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 31-39.
- Munns R. and M. Tester. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review Plant Biology* 59: 651-681. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.
- Nguyen N. T., S. A. McInturf, and D. G. Mendoza-Cózatl, 2016.** Hydroponics: A versatile system to study nutrient allocation and plant responses to nutrient availability and exposure to toxic elements. *Journal of Visualized Experiments* 113: 1-9. DOI: 10.3791/54317.
- Pardo-de-Santayana, M., J. Tardío, E. Blanco, A. M. Carvalho, J. J. Lastra, E. San Miguel and R. Morales. 2007.** Traditional knowledge of wild edible plants used in the northwest

of the Iberian Peninsula (Spain and Portugal): a comparative study. *Journal of Ethnobiology and Ethnomedicine* 3: 1-11. DOI: 10.1186/1746-4269-3-27.

**Parra-Terraza S., G., A., Baca-Castillo, R. Carrillo-González, J. Kohashi-Shibata, A., Martínez-Garza y C., Trejo-López. 2004.** Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. *Terra Latinoamericana* 22: 467-473.

**Peña-Lomelí, A., J. J. Ponce-Valerio, F. Sánchez-del-Castillo y N. Magaña-Lira. 2014.** Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:381-391.

**Peña-Lomelí, A., N. Magaña-Lira, A. Gámez-Torres, F. A. Mendoza-Celino y M. Pérez-Grajales. 2017.** Polinización manual en dos variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 24: 41-52.

**Pratt, J., Anne-Marie Boisson, E. Gout, R. Bigny, R. Douce and S. Aubert. 2009.** Phosphate (Pi) Starvation effect on the cytosolic Pi concentration and Pi exchanges across the tonoplast in plant cells: an in vivo <sup>31</sup>P-Nuclear magnetic resonance study using methylphosphonate as a Pi Analog. *Plant Physiology* 151: 1646-1657. DOI: 10.1104/pp.109.144626.

**Preciado-Rangel, P., G. A. Baca-Castillo, J. L. Tirado-Torres, J. Kohashi-Shibata, L. Tijerina-Chávez, A. Martínez-Garza. 2003.** Presión osmótica de la solución nutritiva y la producción de plántulas de melón. *Terra* 21: 461-470.

**Ramos-Lara, C., G. Alcántar-González, A. Galvis-Spíndola, A. Peña-Lomelí y A. Martínez-Garza. 2002.** Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra* 20: 465-469.

**Razaq, M., P., Zhang, S. Hai-long S. and S. 2017.** Influence of nitrogen and phosphorous on the growth and root morphology of Acer mono. *Plos One* 12: 1-13. DOI: 10.1371/journal.pone.0171321.

**Rodríguez-Delfín A., 2012.** Advances of hydroponics in Latin America. *Acta Horticulturae* 947: 23-32. DOI: 10.17660 / ActaHortic.2012.947.

- Rout, G. R. and S. Sahoo. 2015.** Role of iron in plant growth and metabolism. *Reviews in Agricultural Science* 3: 1-24. DOI: 10.7831/ras.3.1.
- Rzedowski, G. C. y J. Rzedowski. 2005.** Flora Fanerogámica del Valle de México. 2a ed., 1ª reimp., Instituto de Ecología, A. C. y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad, Pátzcuaro, Michoacán. México. 1406 pp.
- Salisbury, F. B. y C. W. Ross. 1994.** Fisiología vegetal. Traducción de la cuarta edición del inglés por Virgilio González Velázquez. Grupo Editorial Iberoamérica. México, DF. 759 p.
- Sánchez-Díaz M. y J. Aguirreolea. 2008.** El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera *In: J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds).* Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Internacional, Madrid, España. pp 25-39.
- Sánchez-Mata, M. C., R. D. Cabrera, L., P. Morales, V. Fernández-Ruíz, M. Cámara, C. Díez, M., M. Pardo de Santayana and J. Tardío. 2012.** Wild vegetables of the Mediterranean area as valuable sources of bioactive compounds. *Genetic Resources and Crop Evolution* 59: 431-443.
- Sandoval V., M., P. Sánchez G. y G. Alcántar G. 2009.** Principios de la hidroponía y del fertirriego. *In: G. Alcántar G. y L. I. Trejo-Téllez. (eds.).* Nutrición de Cultivos. Colegio de Postgraduados. Mundi-Prensa. México. Pp. 373-348.
- Santiagoullo, H. J. F. y S. Blas Y. 2009.** Aprovechamiento tradicional de las especies de *Physalis* en México. *Revista de Geografía Agrícola* 43: 81-86.
- Santiagoullo-Hernández, J. F., O. Vargas-Ponce, O. Grimaldo-Juárez, J. Sánchez-Martínez y N. Magaña-Lira. 2009.** Aprovechamiento tradicional y moderno de tomate (*Physalis*) en México. Chapingo, México. Universidad Autónoma de Chapingo.
- Satiaguillo, H. J. F., E. Cedillo P. y J. A. Cuevas, S. 2010.** Distribución geográfica de *Physalis* spp. en México. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México. Prometeo Editores. Guadalajara, Jalisco, México. 245 p.
- Schwarz, D., M. W. Van L., K. T. Ingram and H. P. Klaring. 2001.** Nutrient solution concentration effects on growth and photosynthesis of tomato grown hydroponically. *Plant Nutrition* 92: 432-433. DOI: 10.1007/0-306-47624-X\_209.

- Shavrukov, Y., Y. Genc and J. Hayes. 2012.** The use of hydroponics in abiotic stress tolerance research. En: Asao, T (ed.). Hydroponics – A Standard Methodology for Plan Biology Researches. In Tech. Primera Edición. Riejeqa, Croacia. Pp. 39-66.
- Shen, J. L. Yuan, J. Zhang, H. Li, Z. Bai, X. Chen, W. Zhang and F. Zhang. 2011.** Phosphorus dynamics: From soil to plant. *Plant Physiology* 156: 997-1005. DOI: 10.1104/pp.111.175232.
- Silva, M. T., S. M. Simas, T. G. Batista, P. Cardarelli and T. C. Tomassini. 2005.** Studies on antimicrobial activity, in vitro, of *Physalis angulata* L. (Solanaceae) fraction and physalin B bringing out the importance of assay determination. *Memórias do Instituto Oswaldo Cruz* 100: 779-782. DOI: 10.1590/50074-02762005000700018.
- Simopoulos AP. 2004.** Omega-3 fatty acids and antioxidants in edible wild plants. *Biological Research* 37: 263-277. DOI: 10.4067/S0716-97602004000200013.
- Steiner, A. A. 1984.** “The Universal Nutrient Solution”. ISSOC. Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress Soilless Culture. Lunteren, Holland Pp.: 633-649.
- Sujarwo, W., IBK. Arinasa, G. Caneva and PM. Guerrero. 2015.** Traditional knowledge of wild and semi-wild edible plants used in Bali (Indonesia) to maintain biological and cultural diversity. *Plant Biosystems* 150: 971-976. DOI: 10.1080/11263504.2014.994577.
- Sujarwo, W., IBK. Arinasa, G. Caneva and PM. Guerrero. 2015.** Traditional knowledge of wild and semi-wild edible plants used in Bali (Indonesia) to maintain biological and cultural diversity. *Plant Biosystems* 150: 971-976. DOI: 10.1080/11263504.2014.994577.
- Taiz, L., E. Zeiger, I. X. Moller and A. Murphy. 2015.** *Plant Physiology and Development*. Sixth Edition. Sinauer. MA, USA. 761 p.
- Takahashi, H., S. Koprina, M. Giordano, K. Saito and R. Hell. 2011.** Sulfur assimilation in photosynthetic organisms: molecular functions and regulations of transporters and assimilatory enzymes. *Annual Review of Plant Biology* 62: 157-184. DOI: 10.1146/annurev-arplant-02110-103921.
- Tariq, M. and CJB Mott. 2007.** The significance of boron in plant nutrition and environment-A-review. *Journal of Agronomy* 6: 1-10. DOI: 10.3923/ja.2007.1.10.

- Trejo-Téllez L. I.** and **F. C. Gómez-Merino.** 2012. Nutrient solutions for hdroponics systems: In: Asao T (ed) Hydroponics-A Standard methodology for biological researches. InTech, Rijeka. Pp 1-23.
- Trejo-Téllez L. I., M. N. Rodríguez-Mendoza, G. Alcántar-González and F. C. Gómez-Merino.** 2007. Effect of foliar fertilization on plant growth and quality of mexican husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta Horticulturae* 729:295-299. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.729.48.
- Ulusik, I., H. C. Karakaya and A. Koc.** 2018. The importance of boron in biological systems. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology* 45: 156-162. DOI: 10.1016/j.jtemb.2017.10.008.
- Valenzuela, L. M., L. Partida R., T. Díaz V., T. de J. Velázquez A., G. Bojórquez B. y T. Enciso O.** 2014. Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 807-818.
- Vargas, P. O., D. M. Martínez, y A. P. Dávila.** 2003. La familia Solanaceae en Jalisco. El Género *Physalis*. Universidad de Guadalajara. México. 127 Pp.
- Vargas-Ponce, O., L. F. Pérez-Álvarez. P. Zamora- Tavares, and A. Rodríguez.** 2011. Assessing genetic diversity in mexican husk tomato species. *Plant Molecular Biology* 29: 733-738.
- Wallace, A. and R. T. Mueller.** 2008. Calcium uptake and distribution in plants. *Journal of Plant Nutrition* 2: 1-2. DOI: 1080/01904168009362774.
- Wang, M., Q. Zheng, Q. Shen and S. Guo.** 2013. The critical of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences* 14: 7370-7390. DOI: 10.3390/ijms1447370.
- White, J. P.** 2012. Ion uptake mechanisms of individual cells and roots: short-distance transport. *Functions of Macronutrients. In: P. Marschne (eds.). Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Academic Press. San Diego, CA. Pp. 135-192.*

- White, PJ and PH Brown. 2010.** Plant nutrition for sustainable development and global health. *Annals of Botany* 05: 1073-1080. DOI: 10.1093/aob/mcq08.
- Wu, M. and Ch. Cubata. 2008.** Effects of electrical conductivity of hydroponic nutrient solution on leaf gas exchange of five greenhouse tomato cultivars. *HortiTechnology* 18: 271-277.
- Xiaobo, Z., H. Fengqiu, H. Limin, Z. Jiewen, M. Hanpin, Z. Jiachun and R. Shuyan. 2010.** The socio-economic importance of wild vegetable resources and their conservation: a case study from China. *Kew Bulletin* 65: 577-582.
- Yruela, I. 2005.** Cooper in plants. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 17: 145-156. DOI: 10.1590/S1677-04202005000100012.
- Zhang, H., L. J. Irving, C. McGill, C. Matthew, D. Zhou and P. Kemp. 2010.** The effects of salinity and osmotic stress on barley germination rate: sodium as an osmotic regulator. *Annals of Botany* 106:1027–1035. DOI; 10.1093 / aob / mcq204.

# CAPÍTULO I. RESPUESTA DEL TOMATE SILVESTRE MEXICANO (*Physalis spp.*) AL POTENCIAL OSMÓTICO EN HIDROPONÍA

## 1.1. RESUMEN

El potencial osmótico ( $\Psi_0$ ) de la solución nutritiva puede influir en el crecimiento y la producción. Sin embargo, el efecto está en función de la magnitud del  $\Psi_0$  y de la demanda o la capacidad de absorción de cada especie. El objetivo de la presente investigación fue determinar el material con mayor producción de frutos de tomate de cáscara silvestre mexicano (9b, 17b, 7b y Filadelfia) por efecto de los  $\Psi_0$  de -0.018, -0.036 y -0.054 MPa producidos en invernadero. Para evaluar el efecto de los tratamientos a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt) se midió la altura de la planta, el diámetro de tallo, se cuantificó el número de flores por planta y se realizaron tomas de lecturas SPAD. A los 90 ddt, se determinó el porcentaje de flores caídas, y durante un mes, se cuantificó el porcentaje de amarre de frutos, número de frutos por planta y el peso de frutos con cáliz. En general, todas las variables fueron afectadas por el  $\Psi_0$  de la solución nutritiva y también por el material silvestre. La altura de planta, el diámetro de tallo, el número de flores, las lecturas SPAD fueron mayores al aumentar la concentración de la solución nutritiva. Sin embargo, el porcentaje de flores caídas, el amarre de frutos, el número y el peso de frutos fueron menores al exponer las plantas a un  $\Psi_0$  de -0.054 MPa. El material 9b presentó la mayor altura, 17b incrementó el diámetro. Los materiales 9b y 17b aumentaron el número de flores; 17b y 7b presentaron el mayor porcentaje de flores caídas, 7b aumentó las lecturas SPAD y la mejor producción de frutos se consiguió con el material 9b. También, a los 90 ddt, el análisis de varianza mostró interacción entre el  $\Psi_0$  y los materiales silvestres sobre el diámetro de tallo.

**Palabras clave:** accesiones, materiales silvestres, solución nutritiva, concentración nutrimental.

## 1.2. INTRODUCCIÓN

En el género *Physalis* se han realizado varios estudios para determinar su demanda nutrimental (Castro-Brindis *et al.*, 2000; Ramos-Lara *et al.*, 2002; Castro-Brindis *et al.*, 2004; Magdaleno-Villar *et al.*, 2006; Trejo-Téllez *et al.*, 2007; Gastelum-Osorio *et al.*, 2013; Peña-Lomelí *et al.*, 2014). Sin embargo, en el tomate silvestre mexicano, perteneciente al mismo género no se encontraron investigaciones al respecto. Además, el uso excesivo de herbicidas en los campos agrícolas está ocasionando su extinción, dado que en las prácticas actuales se incluyen productos químicos conocidos por su capacidad de causar efectos negativos en la vida silvestre y degradar el

medio ambiente (Nicolopoulou-Stamati *et al.*, 2016). Otros problemas, son el uso de variedades comerciables más rentables y el cambio en nuestro esquema de alimentación. A pesar de su alto valor nutritivo y medicinal, los alimentos silvestres están excluidos de las estadísticas oficiales sobre los valores económicos de los recursos naturales (Bharucha y Pretty, 2010). Por consiguiente, existe la necesidad de rescatar, conservar y estudiar estas especies, con la finalidad de mejorar el rendimiento y la calidad del fruto, considerándolo como un buen prototipo para producirlo en sistemas intensivos en invernadero e hidroponía. En relación a lo anterior, los sistemas hidropónicos se han utilizado como uno de los métodos estándar para la investigación en biología vegetal y también para la producción comercial de varios cultivos (Rodríguez-Delfín, 2012; Nguyen *et al.*, 2016), donde se emplea la solución nutritiva universal Steiner, dada sus propiedades (balance entre aniones y cationes, conductividad eléctrica y potencial osmótico) ya que permite un buen desarrollo de la planta (Miranda-Villagómez *et al.*, 2014). La solución nutritiva universal consiste de: 12, 1 y 7 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 7, 9 y 4 me L<sup>-1</sup>; de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>, y con un  $\Psi_o$  resultante de -0.072 MPa y el pH sugerido entre un intervalo de 5.5 a 6.5 (Steiner, 1984 y Trejo-Téllez y Gómez-Merino, 2012). El  $\Psi_o$ , es consecuencia de los solutos disueltos, con característica intrínseca de disminuir la energía libre del agua, el cual se encuentra relacionado con la fracción molar del agua o con su actividad, siendo parte del componente del potencial de agua (Sánchez y Aguirreolea, 2008). Por otra parte, Cárdenas y Villegas (2002) argumentaron que su determinación se basa principalmente en el cambio de las propiedades físicas y químicas, generado por las características coligativas de las soluciones. Además, es el constituyente del potencial del agua que resulta de la presencia de partículas de soluto, siendo equivalente a la presión osmótica en concepto, pero de signo negativo (Baca *et al.*, 2016). Parra-Terraza *et al.* (2004) evaluaron el efecto del  $\Psi_o$  de la solución nutritiva sobre el crecimiento del cultivo de pepino y reportaron que las plantas de menor tamaño fueron las que se produjeron con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa y las de mayor tamaño con un  $\Psi_o$  de -0.072 MPa. Por otro lado, Urrieta-Velázquez *et al.* (2012), determinaron en tres selecciones de jitomate costilla (*Solanum lycopersicum* L.), expuestas a los potenciales osmóticos de -0.036 y -0.072 MPa, que las selecciones presentaron mejor comportamiento cuando fueron regadas con la solución cuyo  $\Psi_o$  fue de -0.072 MPa, caso contrario a lo obtenido por Valentín-Miguel *et al.* (2013), en chile de agua, quienes reportaron que con una concentración osmótica menor a 0.054 MPa se obtuvieron rendimientos mayores de 2 kg de fruto comercial por planta. Por otro lado, Rojas-Velázquez *et al.* (2013) evaluaron el  $\Psi_o$  de la solución sobre

*Antirrhinum majus* L. en invierno y verano y encontraron que en invierno las plantas presentaron mejor respuesta cuando se usaron los  $\Psi_o$  de -0.072 y -0.090 MPa y en verano con -0.036 MPa. En este contexto, el objetivo de la presente investigación fue determinar los materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) con mayor producción de frutos a diferente potencial osmótico de la solución nutritiva.

### **1.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **1.3.1. Condiciones ambientales**

La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, ubicado en las coordenadas 19° 29' 05" latitud norte y 98° 54' 09" longitud oeste, a una altitud de 2,242 msnm, en un invernadero tipo dos-aguas, con cubierta de polietileno calibre 720  $\mu\text{m}$  y estructura de acero galvanizado, que refleja 90 % de rayos ultravioleta (UV-II), con 35 % de sombra y 65 % de transmitancia en el punto central, del Área de Nutrición Vegetal. Durante el experimento el intervalo de humedad relativa al interior del invernadero varió de 10.1 % a 96.0 %, entre el día y la noche y la temperatura promedio fue 20.9 °C, la máxima de 41.6 °C, y la mínima de 8.4 °C.

#### **1.3.2. Material vegetal**

Se utilizaron cuatro materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.): accesiones 9b (170 BNGEN) 17b (48 NNGEN) y 7b (167 BHGEN) del Banco Nacional de Germoplasma de Especies Nativas de la Universidad Autónoma Chapingo, y el material Filadelfia colectado en la localidad Filadelfia del Municipio de Tlapehuala Región de Tierra Caliente, Guerrero, ubicada entre los paralelos 18°12'57"N y 100°32'58"O a 269 msnm de altitud, con temperaturas media-mínima de 25 °C y una media-máxima de 32 °C. Previo a la siembra, se escarificaron las semillas (con una lija de agua de grano 80 y 9"  $\times$  1"). Además, se remojaron en agua destilada dentro de cajas de Petri a 25 °C por 24 h, esto con el objetivo de promover una germinación uniforme.

#### **1.3.3. Siembra de semilleros y trasplante de plántulas**

La siembra se llevó a cabo el día 12 de abril de 2017 en charolas de poliuretano de 200 cavidades llenadas con turba humedecida, con pH 7.5 y CE de 0.65 dS  $\text{m}^{-1}$ , en las cuales se depositaron dos semillas por cavidad, posteriormente se cubrieron con el mismo sustrato y se aplicó un riego hasta saturación. Las charolas se apilaron y se cubrieron con plástico negro. A los cinco dds, los semilleros se extendieron sobre bancales dentro de un invernadero de vidrio del Posgrado de

Botánica, en el Colegio de Postgraduados. La emergencia de las plántulas inició cinco dds y el 50 % se alcanzó a los 10 dds. Desde la siembra hasta que las plántulas presentaron la primera hoja verdadera se regaron con agua de la llave. Posteriormente, a los 20 dds el riego se llevó a cabo alternadamente con agua y solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) al 25 %; a los 25 dds se aumentó al 50 % y a los 30 dds al 75 % de su fuerza iónica. El trasplante se realizó el día 16 de mayo de 2017 (35 dds). Los recipientes fueron bolsas de polietileno de color negro de 30×30 cm con capacidad de 13 L, y como sustrato se utilizó tezontle rojo, con una granulometría de diámetro medio ponderado de 1 mm e índice de grosor de 71 %, densidad aparente promedio de 1.1g cm<sup>-3</sup>, 51 % porosidad total, 13 % de porosidad de aireación, 38 % de retención de humedad y 13 % de agua fácilmente disponible. Se trabajó con una densidad de población de 11 plantas por m<sup>2</sup> en doble hilera. Antes de llevar a cabo el trasplante se aplicó un riego pesado para humedecer el sustrato y previo al trasplante se aplicó un tratamiento preventivo contra plagas y enfermedades, el cuál consistió en sumergir las charolas con las plántulas en una mezcla de productos Previcur® 72.2 % (propamocarb HCL) en dosis de 0.5 mL L<sup>-1</sup> para prevenir la incidencia de enfermedades fungosas y contra el ataque de plagas se aplicó Confidor® 350 SC (Imidacloprid) 1 mL L<sup>-1</sup>.

#### **1.3.4. Tratamientos y diseño experimental**

Las plántulas de los cuatro materiales de tomate silvestre mexicano se expusieron a tres potenciales osmóticos ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva: -0.018, -0.036 y -0.054 MPa. Las soluciones nutritivas se prepararon con base en la formulación de la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) completa (12 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 1 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 7 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 7 K<sup>+</sup>, 9 Ca<sup>2+</sup> y 4 Mg<sup>2+</sup> meq L<sup>-1</sup>) con un  $\Psi_o$  de -0.072 MPa, complementada con micronutrientes de acuerdo a lo sugerido por Hoagland y Arnon, (1950): Fe, B, Mn, Zn, Cu y Mo, con 3, 0.5, 0.7, 0.09, 0.02 y 0.04 (mg L<sup>-1</sup>). La conductividad eléctrica (CE) de las soluciones fue 0.5, 1.0 y 1.5 dS m<sup>-1</sup>. El pH se mantuvo a un intervalo de 5.5 a 6.5, usando ácido sulfúrico 1 N para ajustarlo cada tercer día, utilizando para medir el pH un potenciómetro PC18 Conductronic. La combinación de los cuatro materiales silvestres (9b, 17b, 7b y Filadelfia) y los potenciales osmóticos de -0.018, -0.036 y -0.054 (MPa) generaron 12 tratamientos. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de parcelas divididas completamente al azar 3×4 con 4 repeticiones, dando un total de 48 unidades experimentales. La unidad experimental consistió de una bolsa negra de polietileno con capacidad de 13 L con tezontle rojo con una planta. Para evitar el efecto de orilla, se colocó una línea de plantas por cada costado de la parcela experimental.

### **1.3.5. Manejo agronómico**

Durante el experimento, las plantas se regaron por goteo, se usaron goteros con un gasto de 8 L por h, aplicando la solución nutritiva. Se inició con tres riegos por día de 1 minuto de duración en cada riego; a los 15 días se aumentó a 9 riegos por día con una duración de 3 minutos por cada riego en la etapa vegetativa, 5 en la de floración y 7 en la de fructificación. A los 8 ddt se colocaron tutores de rafia tomatara de color negro. Cada 15 días se lavó el sistema de riego y el sustrato con agua acidulada a pH 4.5, con el objetivo de hacer más eficiente el riego y evitar la saturación de sales en el sustrato. Considerando la susceptibilidad que presenta el género *Physalis* contra la cenicilla (*Oidiopsis taurica*) se realizaron aplicaciones preventivas con el producto Precure® (triflumizole) a una dosis de 2 mL L<sup>-1</sup> cada 15 días. Para prevenir la incidencia de mosquita blanca se aplicó Oberon® SC 240 (spiromesifen) 2 mL L<sup>-1</sup> cada 15 días y cada 15 días después del cuajado del fruto se realizaron aplicaciones del producto Karate Zeon® 5 CS (lambda cyalotrina) a razón de 3 mL L<sup>-1</sup> para evitar el daño del gusano del fruto.

### **1.3.6. Variables evaluadas**

Las variables evaluadas durante 90 ddt fueron: altura de planta; medida con un flexómetro desde el cuello de la planta hasta el ápice de la rama más larga, diámetro de tallo; medido con un vernier digital marca Truper® a 5 cm arriba del cuello de la raíz, número de flores totales por planta cuantificadas de forma manual y lecturas SPAD con el equipo SPAD502 (Konica Minolta. Osaka, Japan) a los 30, 60 y 90 ddt. También se determinó el porcentaje de flores caídas considerando la diferencia entre el número de flores a los 90 ddt y la acumulación de frutos cosechados hasta el final del experimento. Para evaluar el rendimiento, se cosechó y cuantificó el número de frutos maduros por planta, se pesaron incluyendo el cáliz con una balanza electrónica de laboratorio portátil Ohaus Scout Pro. Además, se calculó el porcentaje de amarre de frutos, considerando el número de frutos cosechados.

### **1.3.7. Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza y prueba de comparación medias de Tukey (HSD) con un nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), utilizando el programa estadístico SAS, versión 9.4 (SAS, 2015). Dado al incumplimiento del supuesto de normalidad y considerando el efecto significativo del análisis de varianza en las variables de rendimiento (número y peso de frutos), los datos fueron transformados mediante la transformación logarítmica con el objeto de

lograr el cumplimiento de los supuestos como regla del diseño experimental de parcelas divididas completamente al azar. La representación gráfica de los valores se realizó con el programa SigmaPlot de Jandel Scientific versión. 13 (SigmaPlot, 2014).

## 1.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 1.4.1. El potencial osmótico sobre el crecimiento

Los análisis de varianza indicaron diferencias significativas por efecto del potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva sobre las variables de crecimiento (Figura 1.1). La altura de planta se vio afectada a los 30 ddt (Figura 1.1A), mientras que el diámetro de tallo en todas las fechas de muestreo (Figura 1.1B). Además, a los 90 ddt el diámetro de tallo fue afectado por interacción del  $\Psi_o$  y el material silvestre (Cuadro 1.1). A los 30 ddt, las mayores alturas fueron con los  $\Psi_o$  de -0.054 y -0.036 MPa (55.90 cm y 51.68 cm). El mayor diámetro, a los 30 y 60 ddt con el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa (12.75 y 15.30 mm) y a los 90 ddt con los potenciales osmóticos de -0.036 (15.35 mm) y de -0.054 (16.82 mm).

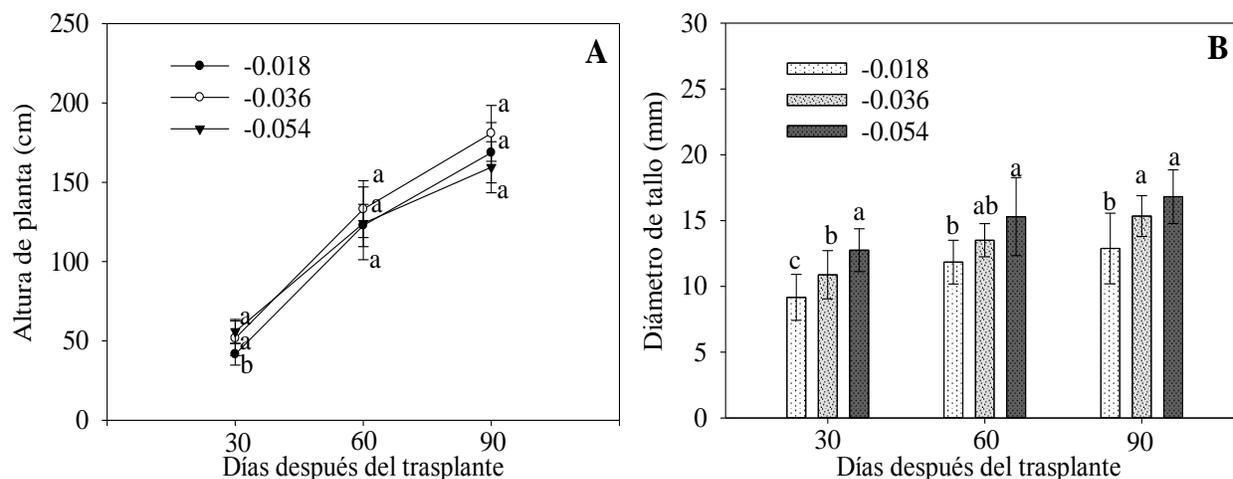


Figura 1.1. Efecto del potencial osmótico (MPa) sobre la altura (A) y el diámetro de tallo (B) de plantas de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.). Medias  $\pm$  DE con letras distintas indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

A los 30 ddt, el análisis de varianza reveló que la altura de planta presentó una dinámica ascendente en relación al aumento de la concentración de la solución nutritiva. Flores-Ruvalcaba *et al.* (2005) observaron en plantas de crisantemo que, al ser regadas con las soluciones cuyas presiones osmóticas fueron de 0.036 y 0.045 MPa aumentó el crecimiento. Efecto atribuible al aumento de la concentración nutrimental. Las plantas se vieron favorecidas al contener mayor

porcentaje de N en la solución nutritiva, dado que el N es el nutrimento que se requiere en mayor cantidad para el crecimiento y la productividad de las mismas (Kazem y Dehnavard, 2017).

En contraste, en los dos siguientes muestreos (60 y 90 ddt), no hubo efecto significativo. Sin embargo, cabe destacar que los valores más altos se obtuvieron con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa (133.125 y 180.875 cm), presentado una diferencia de 6.77 % y 11.82 %, en relación con el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Asimismo, a los 90 ddt, las plantas expuestas a un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa fueron más altas que las del  $\Psi_o$  -0.054 MPa, mostrando una diferencia de 5.74 %. Al respecto, Miranda-Villagómez *et al.* (2014) en *Freesia × hybrida*, encontraron que la mayor altura fue con la solución nutritiva al 25 %, respecto a 75 % ( $\Psi_o$  de -0.018 y -0.054 MPa), indicando que el exceso de nutrimentos disminuye el  $\Psi_o$  en el sustrato por altos niveles de sales al aumentar la CE. A su vez, los resultados obtenidos con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa, en comparación con uno de -0.054 MPa en esta investigación, se le atribuye al bajo potencial hídrico que pudo generarse. Según Munns y Tester, (2008) el bajo  $\Psi_o$  del agua de riego es uno de los componentes de la salinidad que causa la reducción del crecimiento en las plantas, debido a una absorción de agua más lenta y a la disminución de la tasa de crecimiento de las células (Munns y Tester, 2008; Zhang *et al.*, 2010). Por otra parte, Kafkafi y Tarchitzky (2012) argumentaron que en un sistema de riego por goteo, el mojado más superficial implica que áreas de mojado superficial están expuestas a la evaporación directa del agua y a una gradual acumulación de sales en la superficie del sustrato, por lo tanto esto puede generar alteraciones en los órganos del sistema aéreo por efecto de las sales, obteniéndose tallos que alcanzan menor altura, además de reducirse el número de hojas y presentarse desecación en sus bordes de modo que hay menos producción de fotoasimilados (Goykovic y Saavedra, 2007).

El diámetro de tallo en todos los muestreos mostró relación entre el aumento de la concentración de la solución y el grosor del tallo, dado que, el mayor diámetro siempre se encontró con un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Cruz-Crespo *et al.* (2014) obtuvieron tallos más gruesos en chile serrano con el 75 % ( $\Psi_o$  de -0.054 MPa) de la solución nutritiva Steiner con respecto a la del 25 % ( $\Psi_o$  de -0.018 MPa), valores similares en esta investigación, mientras que Miranda-Villagómez *et al.* (2014) lograron alcanzar mejores promedios con el 50 % ( $\Psi_o$  de -0.036 MPa) en tallos florales de *Freesia × hybrida*. Los valores obtenidos en esta investigación sugieren que el tomate silvestre con la disminución del  $\Psi_o$  incrementa su diámetro de tallo.

### 1.4.2. Efecto del material silvestre sobre el crecimiento

El material silvestre modificó la altura de planta, sólo a los 30 y 60 ddt (Figura 2A) y al diámetro de tallo a los 30 y 90 ddt (Figura 1.2B). A los 30 ddt, con los materiales 9b, 17b y 7b se obtuvieron plantas de mayor altura (55.65, 50.79 y 50.62 cm) y a los 60 ddt con el 9b (136.41 cm), respectivamente. A los 30 ddt, el diámetro de tallo fue mayor con el material 17b (12.4 mm) y a los 90 ddt en los materiales 17b, 7b y Filadelfia (16.49, 15.44 y 14.93 mm), respectivamente.

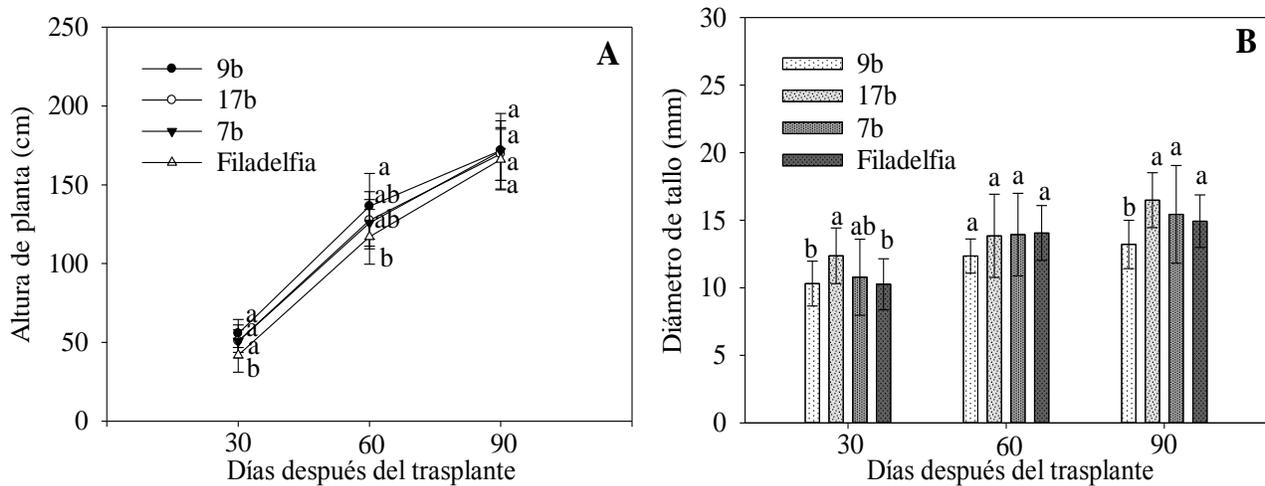


Figura 1. 2. Efecto del material silvestre (*Physalis* spp.) sobre la altura (A) y el diámetro de tallo (B). Medias  $\pm$  DE con letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

En las fechas que se presentó efecto significativo, la mayor altura la obtuvo el material 9b y la menor fue para Filadelfia. Al respecto, Peña-Lomelí *et al.* (2014) argumentan que la expresión del potencial de los cultivos está relacionada directamente con el genotipo de cada planta, el ambiente y la interacción genotipo  $\times$  ambiente. Mientras que, Silva-Robledo *et al.* (2007) señalan que cada especie tiende a presentar un comportamiento diferente, al observar los valores obtenidos en los cambios en el potencial osmótico de la planta debido al efecto de la concentración por reducción en el volumen celular. López-Sandoval *et al.* (2008) evaluaron siete materiales silvestres en relación con la sinantropia y reportaron que las plantas de *Physalis Philadelphia* y *P. angulata* presentaron mejor comportamiento. Asimismo, señalan que estos materiales silvestres presentan una gran variabilidad genética factor que les confiere a presentar comportamientos heterogéneos.

A los 30 y 90 ddt, los diámetros de tallo mayores correspondieron a los materiales 17b y 7b, mismos que también produjeron el menor número y peso de frutos. Posiblemente, el bajo nivel en producción de estos materiales les permitió aumentar su diámetro de tallo, por lo contrario, los materiales 9b y Filadelfia sus reservas fueron enviadas a los sitios de mayor demanda para

aumentar su producción de frutos. Preciado *et al.* (2002) señalan que el diámetro de tallo es un indicador del vigor de las plantas porque refleja la acumulación de fotosintatos, los cuales posteriormente pueden traslocarse a los sitios de demanda. Sin embargo, en el presente estudio la respuesta fue contraria a lo que señalan estos autores, debido posiblemente porque se trabajó con diferentes materiales silvestres.

La interacción entre el  $\Psi_o$  y los materiales silvestres (Cuadro 1.1) mostró que el material 7b fue el que presentó el mayor diámetro de tallo, cuando el  $\Psi_o$  fue de -0.054 MPa, dicho incremento en diámetro fue de 13.79 % en comparación con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa.

Cuadro 1. 1. Efecto de la interacción entre el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva y los materiales silvestres de tomate mexicano (*Physalis* spp.) sobre el diámetro de tallo, a los 90 días después del trasplante (ddt).

$\Psi_o$ (MPa)	Material silvestre	Diámetro de tallo (mm)
-0.018	9b	11.49 ± 1.81 d
-0.018	17b	15.50 ± 2.28 abc
-0.018	7b	11.33 ± 3.01 d
-0.018	Filadelfia	13.18 ± 1.92 cd
-0.036	9b	13.30 ± 0.91 cd
-0.036	17b	15.78 ± 0.59 abc
-0.036	7b	16.20 ± 0.65 abc
-0.036	Filadelfia	16.14 ± 1.68 abc
-0.054	9b	14.84 ± 0.46 bcd
-0.054	17b	18.18 ± 1.95 ab
-0.054	7b	18.79 ± 0.64 a
-0.054	Filadelfia	15.47 ± 1.04 abc

Medias ± DE con letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Por un lado, los resultados sugieren que solamente el material 7b es capaz de responder favorablemente a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa de la solución. y, por otro lado, la cantidad de nutrientes suministrados en la solución talvez no fue capaz de abastecer la demanda nutrimental de los materiales 9b, 17b y Filadelfia, quienes con la mayor concentración presentaron agobio, el cual posiblemente inhibió el crecimiento del tallo. Al respecto, Martínez *et al.* (2008) mencionan que la nutrición puede modificar las características morfológicas y el crecimiento, pero si la concentración de un elemento está por debajo de lo requerido por parte de la planta se afecta su desarrollo y provoca alteraciones en sus procesos metabólicos.

### 1.4.3. El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) en el número y porcentaje de flores caídas

El número de flores mostró diferencias significativas entre los potenciales osmóticos a los 30 ddt (Figura 1.3A), pero a los 60 y 90 ddt, no se presentó. A los 30 ddt, la mayor cantidad de flores se obtuvo de plantas expuestas a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa (17.93 flores). El porcentaje de flores caídas registradas al final del experimento presentó diferencias significativas por efecto del  $\Psi_o$  (Figura 1.3B). El mayor porcentaje de flores caídas se obtuvo bajo un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa, con una diferencia del 20.76 % y 12.71 % en relación a los  $\Psi_o$  de -0.036 y -0.018 MPa, respectivamente.

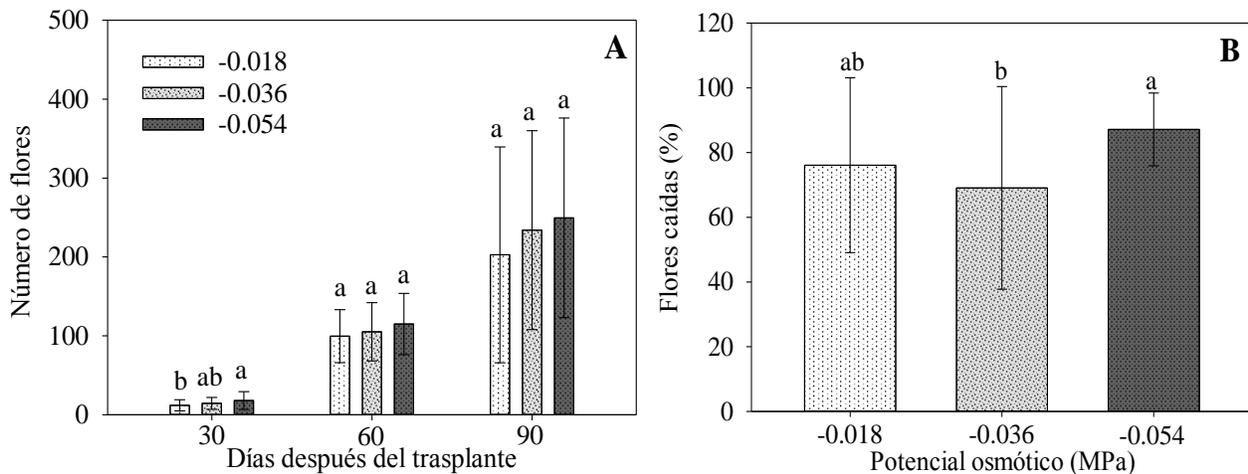


Figura 1. 3. Efecto del potencial osmótico (MPa) sobre el número de flores (30, 60 y 90 ddt) (A) y flores caídas (90 ddt) (B) en *Physalis* spp. Medias  $\pm$  DE con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Marcelis *et al.* (2004) argumentan que el aborto de flores y frutos de chile dulce, no sólo dependió de la fuerza de la fuente sino también de la demanda de órganos competidores. Por lo que, en nuestra investigación, la respuesta pudo ser meramente fisiológica o por efecto de los materiales silvestres. Según Wubs *et al.* (2009), la fuerza total de la demanda es alta, cuando muchos frutos crecen, además, en esta etapa las flores y los frutos jóvenes no pueden competir por los fotoasimilados con los frutos de crecimiento rápido y, por lo tanto, abortan. Otro factor que se le puede atribuir es porque las plantas crecieron libremente al no podarse, ya que la poda influye en el número y calidad de flores y frutos. Sin embargo, cuando no se realiza, el crecimiento rápido de algún órgano compite con las hojas por nutrimentos que fácilmente se pueden translocar provocando senescencia foliar y reducción en la fotosíntesis (Ponce *et al.*, 2012).

#### 1.4.4. El material silvestre en el número y en el porcentaje de flores caídas

El material silvestre afectó al número de flores en todas las fechas de muestreo (Figura 1.4A). Asimismo, éste influyó sobre el porcentaje de flores caídas (Figura 1. 4B). A los 30 ddt, la mayor cantidad de flores correspondió al material 9b (24.00), y a los 60 y 90 ddt al 9b (124.66 y 124.33) y al 17b (280.00 y 283.41). En el porcentaje de flores caídas, se encontró que los materiales 17b y 7b fueron los que presentaron el mayor porcentaje de flores caídas (86.94 y 87.28 %).

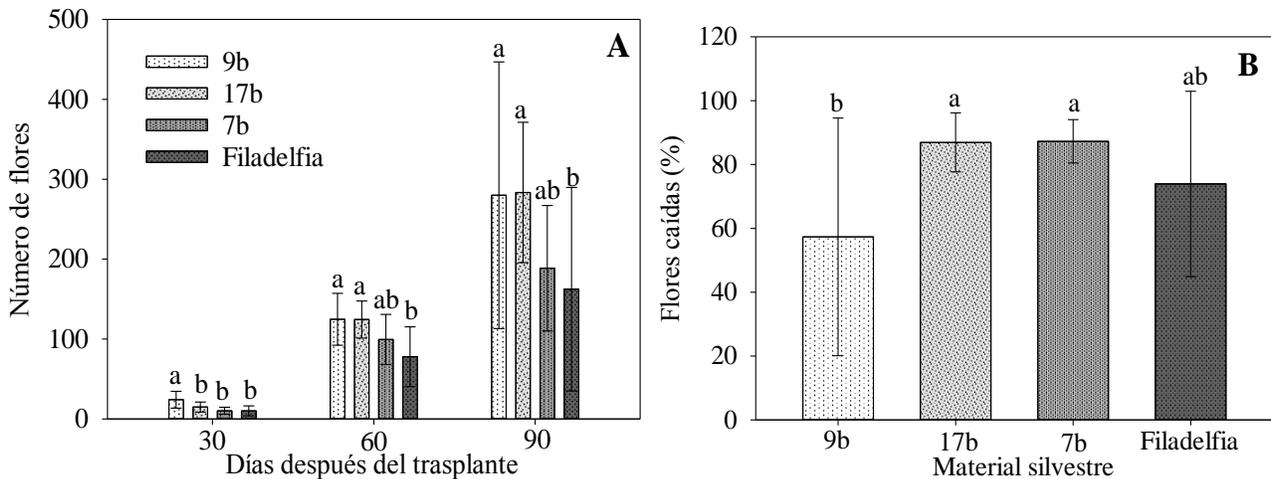


Figura 1.4. Efecto del material silvestre (*Physalis* spp.) a los 30, 60 y 90 ddt, en el número de flores (A) y el porcentaje de flores caídas (90 ddt) (B). Medias  $\pm$  DE con letras diferentes indican diferencias significativas (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

En el número flores, el material 9b fue el que presentó mayores valores en los tres muestreos y con el Filadelfia se obtuvo la menor cantidad. Asimismo, en el porcentaje de flores caídas el 9b fue el que menos flores perdió, seguido por Filadelfia. Los cuales también produjeron la mayor cantidad de frutos, contrario a lo que sucedió con los materiales 17b y 7b que fueron los que presentaron el mayor porcentaje de flores caídas, así como el menor número de frutos por planta.

#### 1.4.5. El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) y el material silvestre sobre las lecturas SPAD

El  $\Psi_o$  tuvo efecto significativo sobre las lecturas SPAD en las tres fechas de muestreo (Figura 1.5A) y el material silvestre mostró efecto sólo a los 60 y 90 ddt (Figura 1.5B). Los valores expresados por efecto del  $\Psi_o$  presentaron la misma tendencia en las tres fechas de muestreo, obteniéndose las lecturas más altas con los potenciales osmóticos de -0.036 (51.70, 50.3 y 48.30) y -0.054 MPa (55.78, 55.11 y 49.83) a los 30, 60 y 90 ddt, respectivamente. El material silvestre, a los 60 ddt, las mayores lecturas se registraron con los materiales 9b y 7b (50.73 y 50.59), y a los 90 ddt solamente con el material 7b (47.83).

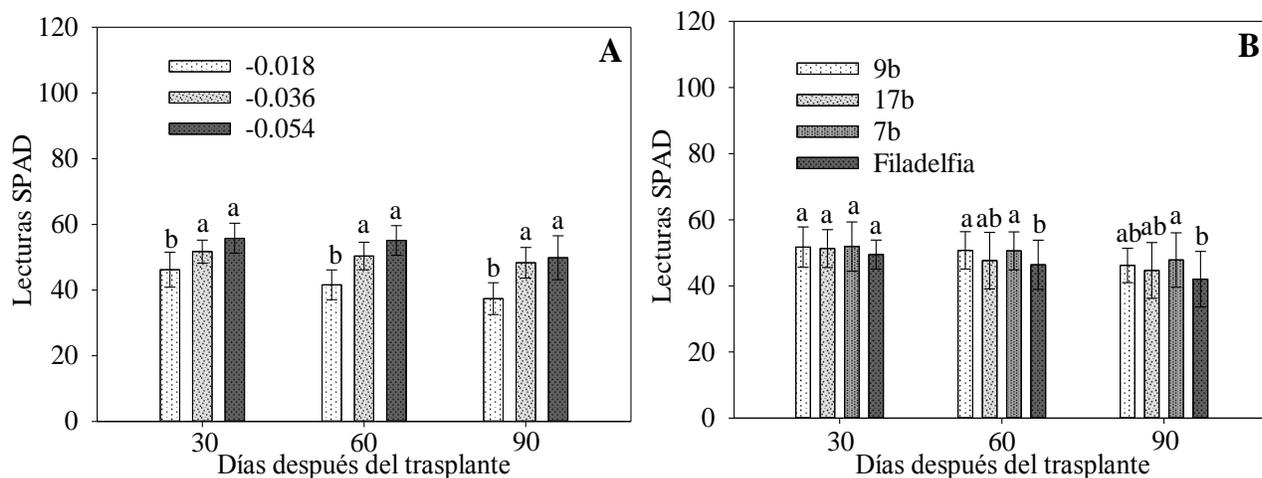


Figura 1.5. Efecto del potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) (A) y el material silvestre (B) sobre las lecturas SPAD en plantas de *Physalis* spp. a 30, 60 y 90 días después del trasplante. Medias  $\pm$  DE con letras diferentes indican diferencias diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Entre mayor fue la concentración de la solución nutritiva, se incrementaron las lecturas SPAD. Mismos resultados encontraron Valenzuela *et al.* (2014), al evaluar el efecto de la solución nutritiva Steiner a 25, 50 y 100 % de su fuerza iónica en plantas de tomate. Ellos observaron que las plantas expuestas a mayor concentración aumentaron el índice de verdor en hojas. Sin embargo, en esta investigación se encontró que al paso del tiempo los valores disminuyeron, efecto posiblemente relacionado con el transcurso del tiempo o al aumento de la demanda nutrimental. Según Ribeiro *et al.* (2015) las lecturas SPAD presentan una tendencia de disminución al paso del tiempo. Por otro lado, Castro *et al.* (2004) señalan que las lecturas SPAD son mayores al inicio del desarrollo vegetativo de la planta, momento en el que está en la plenitud el proceso fotosintético, el cual es mayor con un suministro adecuado de N, ya que éste está asociado con intervalos óptimos de clorofila, crecimiento vegetativo vigoroso, alta actividad fotosintética y con la síntesis de carbohidratos de la planta. Por otra parte, Caires *et al.* (2005) argumentan que las lecturas SPAD se correlacionan positivamente con el N foliar, ya que la clorofila está constituida por pigmentos responsables de la conversión de la radiación luminosa en energía en forma de ATP y NADPH, y están estrechamente relacionadas con la eficiencia fotosintética de las plantas, su crecimiento y adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales.

#### 1.4.6. El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) en el porcentaje de amarre y producción de frutos

Hubo efecto significativo debido al  $\Psi_o$  sobre el porcentaje de amarre, número y peso de frutos con cáliz, siendo mayor en las tres variables con el  $\Psi_o$  de -0.036 MPa y menor con el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa (Cuadro 1.2).

Cuadro 1.2. Efecto del potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) sobre el porcentaje de amarre de frutos, número y peso de frutos con cáliz acumulados al final del experimento de materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis spp.*).

$\Psi_o$ (MPa)	Amarre de frutos (%)	Número de frutos por planta	Peso de frutos con cáliz (g planta <sup>-1</sup> )
-0.018	17.85 ± 16.76 b	54.33 ± 65.03 ab	73.85 ± 145.34 ab
-0.036	30.92 ± 31.32 a	74.68 ± 83.20 a	110.29 ± 156.58 a
-0.054	12.82 ± 11.24 b	27.31 ± 27.73 b	28.03 ± 33.51 b
DSH	11.56	51.69	122.29

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH = diferencia honesta significativa mínima.

Al regar las plantas con la solución nutritiva cuyo  $\Psi_o$  fue de -0.036 MPa aumentaron: el amarre de frutos (58.54 %), el número de frutos (63.44 %) y el peso de frutos (74.59 %) en comparación con el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Con el  $\Psi_o$  de -0.018 MPa se incrementaron: el amarre de frutos (28.18 %), el número de frutos (49.74 %) y el peso de frutos (62.05 %) en comparación con el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Valentín-Miguel *et al.* (2013) al evaluar varias presiones osmóticas en chile de agua, encontraron que con una concentración osmótica menor a 0.054 MPa se obtienen rendimientos mayores de 2 kg de fruto comercial por planta. En nuestro trabajo se obtuvo mejor repuesta a un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa que a uno de  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Posiblemente con el paso del tiempo, se encuentra relacionado con el aumento de la concentración de sales en la zona radicular de la planta (sustrato), el cual evitó la absorción de agua y nutrientes, ocasionando una reducción en los procesos fisiológicos de la planta y disminución de la productividad de frutos, ya que la salinidad afecta tanto el crecimiento vegetativo, así como el desarrollo reproductivo de las plantas, al presentarse reducción en el número de flores (Ruíz *et al.*, 2014). Además, se incrementa la esterilidad y se altera la duración de la floración, a su vez afecta la maduración de los frutos. Goykovic y Saavedra (2007) señalaron la magnitud de las respuestas que presenten las plantas está relacionada con la concentración de sales, a la duración del estrés al cual se exponen y al tipo de especie o cultivar con la que se trabaje, pero si las plantas se manejan en buenas condiciones podrán expresar fácilmente todo su potencial genético. En nuestra investigación, los valores sugieren que cuando las plantas son manejadas a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa disminuye su productividad, por lo contrario cuando se trabajan con los potenciales osmóticos de -0.036 y -0.018 MPa, es mayor su producción. Este efecto se debe posiblemente a que al no abastecer la demanda generada por la planta la producción baja o también al ser expuestas a altas concentraciones se inhiben sus procesos metabólicos. Al respecto, Schwarz *et al.* (2002) señalan que un aumento en la concentración de la

solución de nutrimentos para producir tomate, puede reducir el crecimiento y el rendimiento. Con lo mencionado por este autor queda claro que el tomate silvestre mexicano no debe producirse a potenciales osmóticos mayores a -0.054 MPa,

#### 1.4.7. El material silvestre en el porcentaje de amarre y producción de frutos

Hubo efecto significativo debido al material silvestre sobre el porcentaje de amarre, número y peso de frutos con cáliz, siendo mayor en las tres variables con el material 9b (Cuadro 1.3).

Cuadro 1.3. Efecto del material silvestre (*Physalis* spp.) sobre el porcentaje de amarre de frutos, número y peso de frutos con cáliz acumulados al final del experimento.

<b>Material silvestre</b>	<b>Amarre de frutos (%)</b>	<b>Número de frutos por planta</b>	<b>Peso de frutos con cáliz (g planta<sup>-1</sup>)</b>
9b	42.64 ± 37.24 a	110.54 ± 96.88 a	158.38 ± 164.18 a
17b	13.05 ± 9.22 b	33.91 ± 23.03 b	28.15 ± 18.73 b
7b	12.71 ± 6.79 b	20.91 ± 10.79 b	18.05 ± 10.19 b
Filadelfia	19.04 ± 18.19 b	47.75. 58.96 b	78.32 ± 155.01 ab
DSH	15.26	55.92	121.37

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH = diferencia honesta significativa mínima.

En todas las variables evaluadas, los valores más bajos fueron para el material 7b. Quizá posiblemente sea una respuesta genética de esta especie. Al respecto, Castro-Brindis *et al.* (2000) argumentan que la expresión del potencial sobre el rendimiento de los cultivos está determinada por su constitución genética, el clima, las características del suelo, las condiciones nutrimentales, la técnica de producción y los factores biológicos, así como por la alta actividad fotosintética y también debido a la síntesis de carbohidratos (Castro-Brindis *et al.*, 2004). El tomate de cáscara requiere de polinización cruzada para la formación de frutos, pero dentro del invernadero el aire que circula no es suficiente para que se lleve el polen (Santiaguillo *et al.*, 2009). Por lo tanto, la baja cantidad del número de frutos de los materiales 17b y 7b podría estar asociada a este problema. Sin embargo, el invernadero se puede usar cuando se realizan cruza manuales o se incorpore polinizadores (Peña-Lomelí *et al.*, 2017).

### 1.5. CONCLUSIONES

Los materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) respondieron de diferente manera al ser expuestos al  $\Psi_0$  de la solución nutritiva. Cuando se regaron con uno de -0.018 MPa, las plantas disminuyeron su crecimiento y cuando se expusieron al de -0.054 MPa se redujo la producción. Sin embargo, con el de -0.036 MPa se incrementó la producción de frutos. Por lo tanto,

el de -0.036 MPa es el idóneo para la producción de estos materiales. El material 9b, es el indicado para trabajarse en sistemas protegidos con fines de comercialización o para trabajos posteriores. Se confirmó la hipótesis que los materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) responden de distinta manera al ser expuestos a diferente potencial osmótico de la solución nutritiva

## 1.6. LITERATURA CITADA

- Baca, C. G. A. de J., E. Rodríguez C. y A. Quevedo N. 2016.** La solución nutritiva en hidroponía. Impresos Studio Litográfico. Ecatepec, Estado de México. 154 p.
- Bharucha, Z. and J. Pretty. 2010.** The roles and values of wild foods in agricultural systems. Philosophical Transactions of the Royal Society B 365: 2913-2926. DOI: 1098/rstb.2010.0123.
- Caires, N. O. S., J. Guedes de Carvalho, F. A. Diaz M., T. R. Pereira de Pádua y P. Jorge de Pinho. 2005.** Uso do SPAD-502 na avaliação dos teores foliares de clorofila, nitrogênio, enxofre, ferro e manganês do algodoeiro herbáceo. Pesquisa Agropecuária Brasileira 40: 517-521. DOI: 10.1590/S0100-204X2005000500014.
- Cárdenas L. Ma. A. y A. Villegas M. 2002.** Potencial osmótico del medio de cultivo con diferentes componentes para la propagación in vitro. Revista Fitotecnia Mexicana 25: 213-217.
- Castro-Brindis, R., A. Galvis-Spíndola, P. Sánchez-García, A. Peña-Lomelí, M. Sandoval-Villa y G. Alcántar-González. 2004.** Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura 10:147-152.
- Castro-Brindis, R., P. Sánchez-García, A. Peña-Lomelí, G. Alcántar-González, G. A. Baca-Castillo, R. Ma. López-Romero. 2000.** Niveles críticos de suficiencia y toxicidad de N-NO<sub>3</sub> en el extracto celular de tomate de cáscara. Revista Chapingo Serie Horticultura 6: 33-38.
- Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, R., Bugarín-Montoya, J., Pineda-Pineda, R., Flores-Canales, P., Juárez-López y G., Alejo-Santiago. 2014.** Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato Revista Fitotecnia Mexicana 37: 289-295.

- Flores-Ruvalcaba, J. S., A. E. Becerril-Román, V. A. González-Hernández, L. Tijerina-Chávez y T. Vásquez-Rojas. 2005.** Crecimiento vegetativo y floral del crisantemo [*dendranthema x grandiflorum* (Ramat) Kitamura] en respuesta a la presión osmótica de la solución nutritiva. Revista Chapingo Serie Horticultura 2: 241-249.
- Gastelum-Osorio, D., A., M. Sandoval-Villa, C. Trejo-López, y R. Castro-Brindis. 2013.** Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. Revista Chapingo Serie Horticultura 19: 197-210.
- Goykovic, C. V. y G. Saavedra, del R. 2007.** Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. IDESIA (Chile) 25: 47-58. DOI: 10.4067/S0718-34292007000300006.
- Hoagland D. R., Arnon D. I. 1950.** The water-culture method for growing plants without soil. Coll Agric U. C. Berkeley, USA, California Agricultural Experiment Station Circular 347: 1-32.
- Kafkafi U. and J. Tarchitzky. 2012.** Fertirrigación: una herramienta para una eficiencia fertilización y manejo del agua. Primera edición, IFA, Paris, Francia, e IIP, Horgen, Suiza. 151 p.
- Kazem, S. M. and S. Dehnavard. 2017.** Characterization of tomato growth and fruit quality under foliar ammonium spray. Open Agriculture 2: 531-536. DOI: 10.1515/opag-2017-0055.
- López-Sandoval, J. A., E. J. Morales-Rosales, H. Vibrans, E. Uscanga-Mortera, O. Vargas-Ponce y M. Martínez-y-Díaz-De-Dalas. 2018.** Cultivo de especies silvestres del género *Physalis* y su relación con la sinantropía. Tropical and Subtropical Agroecosystems 21: 303-315.
- Magdaleno-Villar, J. J., A. Peña-Lomelí, R. Castro-Brindis, A. M. Castillo-González, A. Galvis-Spíndola, F. Ramírez-Pérez y B. Hernández-Hernández. 2006.** Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura 12: 223-229.

- Marcelis, L. F. M., E., Heuvelink, L. R. B. Hofman-Eijer, J. D. Bakker and L. B. Xue. 2004.** Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany* 55: 2261-2268. DOI: 10.1093/jxb/erh245.
- Martínez, F. E., J. Sarmiento, G. Fischer y F. Jiménez. 2008.** Efecto de la deficiencia de N, P, K, Ca, Mg y B en componentes de producción y calidad de la uchuva (*Physalis peruviana* L.). *Agronomía Colombiana* 26:389-398.
- Miranda-Villagómez E., J. A. Carrillo-Salazar, María-de-las-Nieves Rodríguez-Mendoza, M. T. Colinas-León, M. Livera-Muñoz y E. A. Gaytán-Acuña. 2014.** Crecimiento y calidad del tallo floral de *Freesia x hybrida* en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 31-39.
- Munns R. and M. Tester. 2008.** Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review Plant Biology* 59: 651-681. DOI: 10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911.
- Nguyen N. T., S. A. McInturf, and D. G. Mendoza-Cózatl, 2016.** Hydroponics: A versatile system to study nutrient allocation and plant responses to nutrient availability and exposure to toxic elements. *Journal of Visualized Experiments* 113: 1-9. DOI: 10.3791/54317.
- Nicolopoulou-Stamati, P., S. Maipas, C. Kotampasi, P. Stamatis and L. Hens. 2016.** Chemical pesticides and human health: The urgent need for a new concept in agriculture. *Frontiers in Public Health* 4:1-8. DOI: 10.3389/fpubh.2016.00148.
- Parra-Terraza S., G., A., Baca-Castillo, R. Carillo-González, J. Kohashi-Shibata, A., Martínez-Garza y C., Trejo-López. 2004.** Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. *Terra Latinoamericana* 22: 467-473.
- Peña-Lomelí, A., J. J. Ponce-Valerio, F. Sánchez-del-Castillo y N. Magaña-Lira. 2014.** Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:381-391.
- Peña-Lomelí, A., N. Magaña-Lira, A. Gámez-Torres, F. A. Mendoza-Celino y M. Pérez-Grajales. 2017.** Polinización manual en dos variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. ex Horm.) en invernadero. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 24: 41-52.

- Ponce, V. J. J., A. Peña-Lomelí, J. E. Rodríguez-Pérez, R. Mora-Aguilar, R. Castro-Brindis y N. Magaña L. 2012.** Densidad y poda en tres variedades de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot. Ex Horm.) cultivada en invernadero. Revista Chapingo Serie Horticultura 18: 325-332.
- Preciado, R. P., G. A. Baca, C., J. L. Tirado, T., J. Kohashi-Shibata, L. Tijerina, Ch. y A. Martínez G. 2002.** Nitrógeno y potasio en la producción de plántulas de melón. Terra 20: 267-276.
- Ramos-Lara, C., G. Alcántar-González, A. Galvis-Spíndola, A. Peña-Lomelí y A. Martínez-Garza. 2002.** Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. Terra 20: 465-469.
- Ribeiro, da C. A., I. Katz, A. de Pàdua, S. y R. A. Martínez, U. 2015.** Índice SPAD en el crecimiento y desarrollo de plantas de *lisianthus* en función de diferentes dosis de nitrógeno en ambiente protegido. IDESA (Chile) 33:97-105.
- Rodríguez-Delfín A., 2012.** Advances of hydroponics in Latin America. Acta Horticulturae 947: 23-32. DOI: 10.17660 / ActaHortic.2012.947.
- Rojas-Velázquez, A. N., L. A. Valdez-Aguilar, L. del M., Ruiz-Posadas, M. Sandoval-Villa y V. Bertolini. 2013.** Respuestas de *Antirrhinum majus* (L.) para la flor de corte al potencial osmótico de la solución nutritiva en dos estaciones de crecimiento. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 4: 1151-1160.
- Ruíz, E. F. H., R. L. Villalpando G., B. Murillo A., F. A. Beltrán M., y L. G. Hernández M. 2014.** Respuesta diferencial a la salinidad de genotipos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en primeras etapas fenológicas. Terra Latinoamericana 32: 311-323.
- Sánchez-Díaz M. y J. Aguirreolea. 2008.** El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera *In*: J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds). Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Internacional, Madrid, España. Pp. 25-39.
- Santiaguillo-Hernández, J. F., O. Vargas-Ponce, O. Grimaldo-Juárez, J. Sánchez-Martínez y N. Magaña-Lira. 2009.** Aprovechamiento tradicional y moderno de tomate (*Physalis*) en México. Chapingo, México. Universidad Autónoma de Chapingo.

- SAS Institute. 2015.** SAS/STAT Users Guide. Version 9.4 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schwarz, D. and H. P. Kläring. 2002.** Growth and photosynthetic response of tomato to nutrient solution concentration at two light levels. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 127: 984-990.
- SigmaPlot, 2014.** SigmaPlot 2014 V. 13. Systat Software Inc., Point Richmond, California
- Silva-Robledo, H., M. Ortiz-Lizana y E. Acevedo-Hinojosa. 2007.** Relaciones hídricas y ajuste osmótico en trigo. *Agrociencia* 41:23-24.
- Steiner, A. A. 1984.** “The Universal Nutrient Solution”. ISSOC. Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress Soilless Culture. Lunteren, Holland Pp.: 633-649
- Trejo-Téllez L. I., Gómez-Merino F.C. 2012.** Nutrient solutions for hydroponic systems. *In: Asao T (ed) Hydroponics-A Standard Methodology for Plant Biological Researches.* InTech, Rijeka, pp 1–23.
- Trejo-Téllez L. I., M. N. Rodríguez-Mendoza, G. Alcántar-González and F. C. Gómez-Merino. 2007.** Effect of foliar fertilization on plant growth and quality of mexican husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Acta Horticulturae* 729:295-299. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.729.48.
- Urrieta-Velázquez, J. A., Ma. de las N. Rodríguez-Mendoza, P. Ramírez-Vallejo, G. A. Baca-Castillo, L. del M. Ruiz-Posadas y J. A. Cueto-Wong. 2012.** Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 18: 371-381.
- Valentín-Miguel, M. C., R. Castro-Brindis, J. E. Rodríguez-Pérez y M. Pérez-Grajales. 2013.** Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19:71-78.
- Valenzuela, L. M., L. Partida R., T. Díaz V., T. de J. Velázquez A. G. Bojórquez y T. Enciso O. 2014.** Respuestas del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexican de Ciencias Agrícolas* 5: 807-818.

**Wubs, A.M, Ma Y. E. Heuvelink and L. F. M. Marcelis. 2009.** Genetic differences in fruit-set patterns are determined by differences in fruit sink strength and a source: sink threshold for fruit set. *Annals of Botany*. 104:957–964. DOI: 10.1093/aob/mcp181.

**Zhang, H., L. J. Irving, C. McGill, C. Matthew, D. Zhou and P. Kemp. 2010.** The effects of salinity and osmotic stress on barley germination rate: sodium as an osmotic regulator. *Annals of Botany* 106: 1027–1035. DOI; 10.1093 / aob / mcq204.

## CAPÍTULO II. CRECIMIENTO Y FISIOLOGÍA DEL TOMATE SILVESTRE MEXICANO (*Physalis* spp.) POR EFECTO DEL POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA

### 2.1. RESUMEN

A pesar de su importancia económica y propiedades nutrimentales y terapéuticas, no se han realizado estudios en el tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.). El objetivo de la presente investigación fue comparar el crecimiento y la fisiología de los materiales 9b y Filadelfia del tomate silvestre mexicano a diferentes potenciales osmóticos de la solución nutritiva. A los 35 días después de la siembra (dds) se les aplicaron a las plántulas los tratamientos de los potenciales osmóticos -0.018, -0.036 y -0.054 MPa. Se llevaron a cabo muestreos a lo largo de 90 días después del trasplante (ddt). Se encontró que las lecturas SPAD, el índice normalizado de vegetación (INV) y el área foliar aumentaron a mayores concentraciones de la solución nutritiva, excepto la asimilación de CO<sub>2</sub>. La altura de planta y el número de flores aumentaron con el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de -0.036 MPa, el diámetro de tallo y las bifurcaciones variaron de acuerdo al aumento de la concentración de la solución nutritiva. El material 9b aumentó los valores de altura, número de bifurcaciones, lecturas SPAD y de asimilación de CO<sub>2</sub>, y Filadelfia sólo incrementó el área foliar. A los 60 ddt se encontró interacción entre el  $\Psi_o$  y el material silvestre sobre el número de flores, siendo mayor con el de -0.036 MPa y 9b. Los valores de la asimilación de CO<sub>2</sub> fueron mayores con un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa. La altura y el número de flores por planta aumentaron con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. Sin embargo, para el diámetro de tallo, el número de bifurcaciones, las lecturas SPAD, el INV y el área foliar, fueron mayores a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. El material 9b fue el de mejor desempeño.

**Palabras clave:** materiales silvestres, órganos reproductores, fotosíntesis e hidroponía.

### 2.2. INTRODUCCIÓN

La hidroponía es una herramienta para estudiar la fisiología de las plantas, ya que permite la aplicación de formulaciones cualitativas y cuantitativas precisas de los nutrimentos individuales (Conn *et al.*, 2013; Kopriva, 2015). Una de las soluciones nutritivas más utilizadas es la Steiner, dada sus propiedades (balance entre aniones y cationes, conductividad eléctrica y potencial

osmótico), las cuales permiten que las plantas tengan un buen desarrollo (Miranda-Villagómez *et al.*, 2014). La solución nutritiva Steiner consiste de: 12, 1 y 7 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, respectivamente; y de 9, 7 y 4 meq L<sup>-1</sup> de Ca<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> Mg<sup>2+</sup>, respectivamente. Con estas concentraciones y utilizando agua destilada para la elaboración de la solución se tiene un  $\Psi_o$  de -0.072 MPa (Steiner, 1984; Lara *et al.*, 1999; Juárez *et al.*, 2006). El  $\Psi_o$ , es consecuencia de los solutos disueltos (Sánchez y Aguirreolea, 2008). Su determinación se basa principalmente en el cambio de las características físicas y químicas, generado por las propiedades coligativas de las soluciones (Cárdenas y Villegas, 2002); además, es el constituyente del potencial del agua que resulta de la presencia de partículas de soluto, siendo equivalente a la presión osmótica en concepto, pero de signo negativo (Baca *et al.*, 2016). Parra-Terraza *et al.* (2004) evaluaron el efecto del  $\Psi_o$  de la solución nutritiva sobre el crecimiento de pepino y determinaron que las plantas de menor tamaño se obtuvieron al usar una solución con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa, mientras que las de mayor tamaño fueron aquellas a las que se les aplicó una solución de un  $\Psi_o$  de -0.072 MPa. Por otro lado, Urrieta-Velázquez *et al.* (2012) en tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.) sometidas a dos potenciales osmóticos (-0.036 y -0.072 MPa) encontraron que las selecciones presentaron mejor comportamiento cuando fueron expuestas a un  $\Psi_o$  de -0.072 MPa. No obstante, Schwarz *et al.*, (2001) señalaron en *Solanum lycopersicum* L. que el aumento de la conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva reduce el crecimiento y el rendimiento por inhibición de la fotosíntesis, dado que los procesos fisiológicos se encuentran relacionados con el crecimiento de la planta, así como con el rendimiento y la calidad de los frutos (Wu y Kubota, 2008). Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue comparar el crecimiento y la fisiología en dos materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) a diferentes potenciales osmóticos de la solución nutritiva.

## **2.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

### **2.3.1. Condiciones ambientales**

La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, ubicado en las coordenadas 19° 29' 05" latitud norte y 98° 54' 09" longitud oeste, a una altitud de 2,242 msnm, en un invernadero tipo dos-aguas, cubierta de polietileno calibre 720  $\mu$ m que refleja 90 % de rayos ultravioleta (UV-II), con 35 % de sombra y 65 % de transmitancia en el punto central, del área de nutrición vegetal. Durante el experimento el intervalo de humedad

relativa al interior en el invernadero varió de 9 % a 96.7 %, entre el día y la noche y, la temperatura máxima fue de 51.1 °C, y la mínima de 4.8 °C.

### **2.3.2. Material vegetal**

Se utilizaron dos materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.): accesión 9b (170 BNGEN) del Banco Nacional de Germoplasma de Especies Nativas de la Universidad Autónoma Chapingo, y el material Filadelfia colectado en la localidad Filadelfia del municipio de Tlapehuala Región de Tierra Caliente, Guerrero, ubicada entre los paralelos 18°12'57"N y 100°32'58"O a 269 msnm de altitud, con temperaturas media-mínima de 25 °C y una media-máxima de 32 °C, mismas que en un trabajo previo presentaron la mayor producción de frutos. Previo a la siembra, se escarificaron las semillas (con una lija de agua de grano 80 y 9" × 1"). Además, se remojaron en agua destilada dentro de cajas de Petri a 25 °C por 24 h, esto con el objetivo de promover una germinación uniforme.

### **2.3.3. Siembra de semilleros y trasplante de plántulas**

La siembra se llevó a cabo el día 30 de junio de 2017 en charolas de poliuretano de 200 cavidades llenadas con turba humedecida, con pH 7.5 y conductividad eléctrica de 0.65 dS m<sup>-1</sup>, en las cuales se depositaron dos semillas por cavidad, se cubrieron con el mismo sustrato y se aplicó un riego hasta saturación y las charolas se apilaron y cubrieron con plástico negro. A los cinco días después de la siembra (dds) se extendieron sobre bancales de madera en un invernadero de vidrio del Posgrado de Botánica, en el Colegio de Postgraduados. La germinación de las semillas inició ocho dds, el 50 % se obtuvo a los 12 dds. Desde la siembra hasta que las plántulas presentaron la primera hoja verdadera se regaron con agua de la llave. Posteriormente, a los 20 dds, se regó alternadamente con agua y solución nutritiva Steiner al 25 %, a los 25 se aumentó al 50 % y a los 30 al 75 % de su fuerza iónica. El trasplante se realizó el día 3 de agosto de 2017, a los 35 dds. Los recipientes fueron bolsas de color negro de polietileno de 30×30 cm, con capacidad de 13 L, y como sustrato se utilizó tezontle rojo, con una granulometría de un diámetro medio ponderado de 2 mm e índice de grosor de 56 %, densidad aparente promedio de 1.2 g cm<sup>-3</sup>, 46 % porosidad total, 10 % de porosidad de aireación, 37 % de retención de humedad y 11 % de agua fácilmente disponible. Se trabajó con una densidad de población a 3 plantas por m<sup>2</sup> en doble hilera. Antes de llevar a cabo el trasplante se aplicó un riego pesado para humedecer el sustrato, y previo al trasplantar se aplicó un tratamiento preventivo contra plagas y enfermedades, el cuál consistió en

sumergir las charolas con las plántulas en una mezcla de productos Previcur® 72.2 % (propamocarb HCL) en dosis de 0.5 mL L<sup>-1</sup> para prevenir la incidencia de enfermedades fungosas y contra el ataque de plagas se aplicó Confidor® 350 SC (Imidacloprid) 1 mL L<sup>-1</sup>.

#### **2.3.4. Tratamientos y diseño experimental**

Las plántulas de los dos materiales de tomate silvestre mexicano se expusieron a tres potenciales osmóticos ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva: -0.018, -0.036 y -0.054 MPa. Las soluciones nutritivas se prepararon con base a la formulación de la solución Steiner (Steiner, 1984) completa (12 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 1 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 7 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 7 K<sup>+</sup>, 9 Ca<sup>2+</sup> y 4 Mg<sup>2+</sup> meq L<sup>-1</sup>) con  $\Psi_o$  de -0.072 MPa, complementada con micronutrientes de acuerdo a lo sugerido por Hoagland y Arnon (1950): Fe, B, Mn, Zn, Cu y Mo, con 3, 0.5, 0.7, 0.09, 0.02 y 0.04 (mg L<sup>-1</sup>). La conductividad eléctrica (CE) de las soluciones fue 0.5, 1.0 y 1.5 dS m<sup>-1</sup>. El pH de las soluciones se mantuvo en un intervalo de 5.5 a 6.5, usando ácido sulfúrico 1 N, para ajustarlo cada tercer día, utilizando para medir el pH un potenciómetro PC18 Conductronic. La combinación de los dos materiales de tomate silvestre (9b y Filadelfia) y los potenciales osmóticos (-0.018, -0.036 y -0.054 MPa) generaron 6 tratamientos. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de parcelas divididas completamente al azar 3×2 con 6 repeticiones por cada tratamiento, dando un total de 36 unidades experimentales. La unidad experimental consistió de una bolsa negra de polietileno con capacidad de 13 L con tezontle rojo con una planta. Para evitar el efecto de orilla, se colocó una línea de plantas por cada costado de la parcela experimental.

#### **2.3.5. Manejo agronómico**

Durante el experimento, las plantas se regaron por goteo, se usaron goteros con un gasto de 8 L por h, aplicando la solución nutritiva. Se inició con tres riegos por día de 1 minuto de duración en cada riego; a los 15 días se aumentó a 9 riegos por día con una duración de 3 minutos por cada riego en la etapa vegetativa, 5 en la de floración y 7 en la de fructificación. A los 8 ddt se colocaron tutores de rafia tomatara de color negro. Cada 15 días se lavó el sistema de riego y el sustrato con agua acidulada a pH 4.5, con el objetivo de hacer más eficiente el riego y evitar la saturación de sales en el sustrato. Considerando la susceptibilidad que presenta el género *Physalis* contra la cenicilla (*Oidiopsis taurica*) se realizaron aplicaciones preventivas con el producto Precure® (triflumizole) a una dosis de 2 mL L<sup>-1</sup> cada 15 días. Para prevenir la incidencia de mosquita blanca se aplicó Oberon® SC 240 (spiromesifen) 2 mL L<sup>-1</sup> cada 15 días y cada 15 días después del cuajado

del fruto se realizaron aplicaciones del producto Karate Zeon® 5 CS (lambda cyaotrina) a razón de 3 mL L<sup>-1</sup> para evitar el daño del gusano del fruto.

### **2.3.6. Variables evaluadas**

#### **2.3.6.1. Crecimiento**

A los 30, 60 y 90 ddt se midió la altura de planta con un flexómetro desde el cuello de la planta hasta el ápice de la rama más larga, y el diámetro de tallo; con un vernier digital marca Truper® a 5 cm a 5 cm del cuello de planta. Se cuantificó el número de flores por planta y, el número de bifurcaciones del tallo manualmente.

#### **2.3.6.2. Fisiológicas**

A los 30, 60 y 90 ddt se determinaron las lecturas SPAD (SPAD 502 Konica Minolta, Osaka, Japan) y el índice normalizado de vegetación (INV) de GreenSeeker. A los 22, 45 y 88 ddt se midió la asimilación CO<sub>2</sub> (LI6400XT LI-COR®, equipado con una cámara de 3×2 cm, modelo 6400-08 LI-COR®, LI-COR Biosciences, Lincoln, NE, USA), en un periodo entre 9:00 y 12:00 h, sobre hojas recientemente maduras. Además, en esta fecha se cortaron seis plantas por tratamiento, desde el cuello de la raíz para medir el área foliar (LI-3100C).

#### **2.3.6.3. Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianzas y prueba de comparación medias, de Tukey (HSD), con nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System, versión 9.4 (SAS, 2015).

## **2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

### **2.4.1. El potencial osmótico sobre el crecimiento**

El  $\Psi_o$  de la solución nutritiva sólo afectó significativamente a la altura de planta, el diámetro de tallo, el número de flores por planta y al número de bifurcaciones, a los 30 y 60 ddt (Cuadro 2.1). A los 30 ddt, la mayor altura, diámetro de tallo, número flores y bifurcaciones se obtuvo de plantas que fueron regadas con la solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa (78.44 cm, 12.14 mm, 17.75 flores y 6.25 bifurcaciones), respectivamente. A los 60 ddt la altura y el diámetro, fueron mayores con los potenciales osmóticos de -0.036 y -0.054 MPa (126.20 cm y 14.35 mm; 133.91 cm y 14.47

mm), el número de flores con el  $\Psi_o$  de -0.036 MPa (342.50 flores) y el número de bifurcaciones con el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa (14.08).

Cuadro 2.1. Efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva sobre variables de crecimiento en tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.), a 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt).

$\Psi_o$ (MPa)	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de flores por planta	Número de bifurcaciones
<b>30 ddt</b>				
-0.018	63.87 ± 18.15 b	9.39 ± 0.98 b	12.75 ± 9.50 b	5.58 ± 0.90 b
-0.036	78.44 ± 17.47 a	12.14 ± 1.88 a	17.75 ± 10.72 a	6.25 ± 1.28 a
-0.054	68.45 ± 15.24 b	9.91 ± 1.58 b	16.41 ± 13.46 ab	5.66 ± 1.43 b
HSD	8.52	1.05	4.05	0.53
<b>60 ddt</b>				
-0.018	107.25 ± 23.51 b	12.40 ± 1.52 b	102.08 ± 44.35 b	12.08 ± 2.84 b
-0.036	126.20 ± 26.36 a	14.35 ± 1.67 a	342.50 ± 253.48 a	13.08 ± 2.31 ab
-0.054	133.91 ± 26.81 a	14.47 ± 2.28 a	181.45 ± 126.03 b	14.08 ± 3.39 a
HSD	17.57	1.83	150.48	1.86
<b>90 ddt</b>				
-0.018	123.87 ± 38.23 a	13.50 ± 2.28 a	155.00 ± 126.19 a	16.50 ± 2.88 a
-0.036	159.08 ± 31.25 a	16.77 ± 3.11 a	122.20 ± 115.91 a	18.20 ± 2.94 a
-0.054	150.60 ± 34.91 a	15.70 ± 2.41 a	272.78 ± 107.01 a	18.00 ± 4.89 a
HSD	31.24	3.32	184.10	2.34

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\Psi_o$  = potencial osmótico; MPa = megapascal; DSH = diferencia honesta significativa mínima

A los 30 ddt (etapa vegetativa) al regar las plantas con la solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa la altura aumentó 12.74 % en comparación con el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa, y a los 60 ddt, (etapa de floración) se observó que las plantas aumentaron su crecimiento con relación al incremento de la concentración de la solución nutritiva. Por lo que los resultados sugieren que a partir de la etapa de floración las plantas requieren una solución más concentrada para completar su demanda nutrimental y así no interrumpir su crecimiento, dado que al regarse con la solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa aumentaron su crecimiento 5.76 %, en comparación con el  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. A los 90 ddt se encontró que las plantas responden de la misma forma al regarlas con los tres diferentes potenciales osmóticos en la solución nutritiva, ya que no se presentaron diferencias significativas. El diámetro de tallo a los 30 ddt con el  $\Psi_o$  de -0.036 MPa incrementó 18.37 %. Sin embargo, a los 60 ddt (etapa de floración) el tamaño del diámetro de tallo aumentó con relación al incremento de la concentración de la solución nutritiva y a los 90 ddt, no se presentó efecto significativo, pero el crecimiento del diámetro de tallo presentó el mismo comportamiento que a

los 60 ddt. El número de flores por planta a los 30 ddt (etapa vegetativa), así como a los 60 ddt (floración) fue mayor al usarse la solución con el  $\Psi_0$  de -0.036 MPa. Observándose que al exponer las plantas a un  $\Psi_0$  de -0.054 MPa disminuyó en la primera fecha de muestreo (7.55 %) y en la segunda (47.08 %;) respectivamente. El número de bifurcaciones en etapa vegetativa fue mayor con el  $\Psi_0$  de -0.036 MPa (9.44 %) que al usarse el  $\Psi_0$  de -0.054 MPa. Sin embargo, en floración los valores revelaron que las plantas requieren que se produzcan con una solución más concentrada, por lo tanto, el número de bifurcaciones se aceleró con el  $\Psi_0$  de -0.054 MPa. Miranda-Villagómez *et al.* (2014) al estudiar el crecimiento y calidad de tallo floral de *Freesia*×*hybrida* en hidroponía reportaron mayor altura de planta hasta con el 50 % ( $\Psi_0$  de -0.036 MPa) en la solución nutritiva. Asimismo, encontraron que el número de flores por espiga y el grosor de tallo disminuyeron al incrementar la concentración de la solución nutritiva. Por otro lado, Cruz-Crespo *et al.* (2012), señalaron que la altura de planta y el diámetro de tallo de tomate Charleston se encuentran en relación al aumento de la solución nutritiva. Por lo tanto, ambos resultados nos sirven para argumentar que el crecimiento posiblemente se encuentra en relación al tipo de especie o cultivar y de las necesidades nutrimentales en cada etapa fenológica, por lo que resulta necesario someter las plantas a estudios donde se evalúe los nutrimentos por separado, de esta manera se tendrían resultados más amplios.

#### **2.4.2. Efecto del material silvestre sobre el crecimiento**

El material silvestre afectó significativamente a la altura de planta, el número de flores por planta y al número de bifurcaciones, pero no al diámetro de tallo (Cuadro 2.2). La altura de planta, el número de flores se vieron afectados a los 30 y 60 ddt y el número de bifurcaciones en las tres fechas de muestreo. A los 30 ddt, la mayor altura y número de flores y bifurcaciones se encontró con el material 9b (84.80 cm, 25.38 flores y 6.77 bifurcaciones). Asimismo, a los 60 ddt (141.30 cm, 249.29 flores y 15.27 bifurcaciones), respectivamente. A los 90 ddt también el número de bifurcaciones fue mayor con el material 9b (21.10 bifurcaciones), respectivamente.

Con el material 9b en etapa vegetativa la altura aumentó 33.92 %, el número de flores 76.84 % y el número de bifurcaciones 27.92 %; en la etapa de floración la altura incrementó 26.68 %, el número de flores 58.81 % y el número de bifurcaciones 28.75 % y en la etapa de fructificación el número de bifurcaciones 31.52 %, respectivamente. El comportamiento negativo en respuesta al crecimiento del material Filadelfia vs. 9b puede ser posiblemente un efecto genético del material,

dado que, también en el primer experimento presentó la menor altura, o quizá fisiológico en respuesta al cambio de ambiente al cual fue sometido, al observarse que el 9b tuvo un mejor comportamiento, atribuible a que está más adaptado al clima del lugar donde se realizó la presente investigación.

Cuadro 2.2. Efecto del material silvestre sobre variables de crecimiento en tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.), a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt).

Material silvestre	Altura de planta (cm)	Diámetro de tallo (mm)	Número de flores por planta	Número de bifurcaciones
<b>30 ddt</b>				
9b	84.60 ± 10.20 a	10.77 ± 2.25 a	25.38 ± 6.29 a	6.77 ± 0.73 a
Filadelfia	55.91 ± 10.00 b	10.19 ± 1.51 a	5.88 ± 4.33 b	4.88 ± 0.83 b
HSD	6.08	1.05	4.04	0.61
<b>60 ddt</b>				
9b	141.30 ± 25.95 a	13.56 ± 2.43 a	294.29 ± 216 a	15.27 ± 2.32 a
Filadelfia	103.61 ± 10.61 b	13.92 ± 1.61 a	102.68 ± 43.8 b	10.88 ± 1.40 b
HSD	11.48	1.37	76.30	1.13
<b>90 ddt</b>				
9b	167.70 ± 36.50 a	14.82 ± 3.33 a	168.91 ± 132.42 a	21.10 ± 2.51 a
Filadelfia	119.91 ± 15.84 a	15.64 ± 2.16 a	229.30 ± 124.02 a	14.45 ± 1.21 b
HSD	35.66	2.56	147.57	2.04

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH = diferencia honesta significativa mínima.

A los 60 ddt se encontró interacción entre el  $\Psi_o$  y los materiales silvestres sobre el número de flores. El número de flores fue mayor entre el  $\Psi_o$  de -0.036 MPa y el material 9b (Cuadro 2.3).

Cuadro 2.3. Efecto de la interacción entre el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva y el material silvestre (*Physalis* spp.) sobre el número de flores por planta, a los 60 días después del trasplante (ddt).

$\Psi_o$ (MPa)	Material silvestre	Número de flores
-0.018	9b	124.50 ± 47.04 b
-0.018	Filadelfia	79.66 ± 30.15 b
-0.036	9b	475.83 ± 245.69 a
-0.036	Filadelfia	142.50 ± 57.07 b
-0.054	9b	280.20 ± 127.05 ab
-0.054	Filadelfia	99.16 ± 31.25 b

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\Psi_o$  = Potencial osmótico; MPa = megapascales.

Los valores indican que cuando el material 9b se expone a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa baja la productividad de flores (41.42 %) y al exponerse al  $\Psi_o$  de -0.018 MPa disminuye hasta 73.84 %;

sin embargo, el material Filadelfia en cualquier concentración responde de la misma manera. Por lo que los valores de Filadelfia podrían servir como referencia para trabajos posteriores como indicador de su demanda nutrimental. Según Varga-Ponce *et al.* (2011) la alta variación morfológica intraespecífica que presenta el género *Physalis* dificulta la caracterización morfológica.

### 2.4.3. El potencial osmótico sobre la fisiología

El  $\Psi_o$  de la solución nutritiva afectó las lecturas SPAD a los 60 y 90 ddt, las lecturas del INV sólo fueron afectadas a los 60 ddt, el área foliar a los 30 y 60 ddt y la asimilación de  $\text{CO}_2$  sólo a los 30 ddt (Cuadro 2.4).

Cuadro 2.4. Efecto del potencial osmótico sobre lecturas SPAD e índice normalizado de vegetación (INV) a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt) y, en el área foliar y la tasa de asimilación de  $\text{CO}_2$ , a los 22, 45 y 88 ddt.

$\Psi_o$ (MPa)	Lecturas SPAD	Lecturas INV	Área foliar ( $\text{dm}^2$ )	Asimilación de $\text{CO}_2$ ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ )
	<b>30 ddt</b>			<b>22 ddt</b>
-0.018	45.60 ± 2.80 a	0.57 ± 0.10 a	5.24 ± 1.77 b	35.67 ± 4.12 a
-0.036	47.59 ± 4.06 a	0.62 ± 0.09 a	7.99 ± 2.12 a	31.87 ± 5.12 ab
-0.054	48.36 ± 4.06 a	0.57 ± 0.12 a	9.44 ± 3.13 a	30.13 ± 3.57 b
HSD	3.78	0.11	2.38	3.98
	<b>60 ddt</b>			<b>45 ddt</b>
-0.018	41.66 ± 3.06 b	0.62 ± 0.12 b	44.55 ± 7.65 b	12.83 ± 6.45 a
-0.036	46.49 ± 3.79 a	0.62 ± 0.15 ab	66.17 ± 16.23 a	14.65 ± 7.44 a
-0.054	44.50 ± 2.81 ab	0.74 ± 0.07 a	69.08 ± 28.85 a	14.05 ± 5.26 a
HSD	4.07	0.12	18.98	5.81
	<b>90 ddt</b>			<b>88 ddt</b>
-0.018	36.05 ± 5.42 b	0.63 ± 0.14 a	41.90 ± 20.92 a	5.90 ± 6.44 a
-0.036	39.82 ± 7.46 ab	0.61 ± 0.07 a	37.83 ± 11.85 a	8.90 ± 9.08 a
-0.054	44.01 ± 4.85 a	0.65 ± 0.11 a	64.36 ± 31.25 a	7.89 ± 4.41 a
HSD	6.02	0.19	46.14	9.41

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\Psi_o$  = potencial osmótico; MPa = megapascal; DSH = diferencia honesta significativa mínima; DDT = días después del trasplante.

El incremento de lecturas SPAD a los 60 ddt, se encontró en plantas producidas con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa (46.49) y, a los 90 ddt con -0.054 MPa (44.01). El valor del INV, a los 60 ddt fue mayor en plantas regadas con solución a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa (0.78). A los 30 y 60 ddt las plantas con la mayor área foliar fueron obtenidas con el  $\Psi_o$  de -0.036 MPa y de -0.054 MPa (7.99:9.44 y

66.17: 69.08 dm<sup>2</sup>). A los 30 ddt, la asimilación de CO<sub>2</sub>, expresada en  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , se encontró en plantas producidas con un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa (35.67  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ), respectivamente.

En floración las lecturas SPAD fueron más altas con el uso de la solución con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa y en fructificación con un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa, obteniendo valores ascendentes, con relación al incremento de la concentración de la solución nutritiva. Sin embargo, se observó que hubo disminución en la etapa de fructificación con respecto a la etapa vegetativa. Cruz *et al.* (2012) obtuvieron mayores lecturas SPAD al incrementar la concentración de la solución nutritiva. Negrão *et al.* (2016) indican que la hora de medición es muy determinante, dado que puede influir en los valores. Por lo tanto, recomiendan que las mediciones se realicen a la misma hora del día. Además, éstas deben realizarse siempre en la misma hoja y sitio para reducir la variación. Los valores de las lecturas del INV en etapa de floración, indican que al suministrarse soluciones más concentradas habrá plantas de mayor calidad y con cobertura más alta. Según Inman *et al.* (2005) y Lan *et al.* (2009) este sensor ayuda a elaborar un diagnóstico rápido y dirigido sobre las condiciones nutrimentales (especialmente de nitrógeno), para conocer el estado fisiológico, la incidencia de estrés, y el rendimiento potencial de los cultivos. Por lo tanto, el uso del equipo GreenSeeker® resulta de gran importancia en la agricultura, por ser una estrategia innovadora, haciendo más eficiente el manejo sustentable de los fertilizantes (Santillano-Cázares *et al.*, 2013). Hubo más área foliar al incrementar la concentración de la solución nutritiva en la etapa vegetativa y en la de floración. Miranda-Villagómez *et al.* (2014) en *Freesia × hybrida*, encontraron mayor área foliar con la solución nutritiva al 50 % y 75 % de su concentración ( $\Psi_o$  de -0.054 MPa), resultados similares en esta investigación. Los valores de la asimilación de CO<sub>2</sub> en la presente investigación indicaron que en la etapa vegetativa la asimilación de CO<sub>2</sub> se redujo cuando se incrementó la concentración de la solución nutritiva. Schwarz *et al.* (2001); Wu y Kubota (2008) reportaron que al aumentar la CE en la solución nutritiva se redujo la tasa fotosintética; resultados similares encontrados en nuestra investigación a los 30 ddt, pero contrarios a los 60 y 90 ddt. Sin embargo, no es de considerarse dado que, ya no se presentó efecto significativo. Parihar *et al.* (2015) indican que la salinidad es uno de los factores que limita la tasa fotosintética y reduce la capacidad de una planta para convertir energía en biomasa. Por otro lado, Chengyao *et al.* (2017) encontraron en *Solanum Lycopersicum* L. que al llegar la planta en etapa de fructificación la tasa fotosintética disminuyó, efecto que se lo atribuyeron al alto sombreado presente, dado que las plantas a esta edad son más frondosas, aspecto que evita la entrada de luz, ya que la planta utiliza energía para

oxidar el agua liberando oxígeno y reduciendo el dióxido de carbono, formando grandes compuestos de carbono, principalmente de azúcares (Etise *et al.*, 2017).

#### 2.4.4. Efecto del material silvestre sobre la fisiología

El material silvestre presentó efecto significativo en lecturas SPAD (30 ddt), en el área foliar, a los 90 ddt y en la asimilación de CO<sub>2</sub>, a los 60 ddt (Cuadro 2.5). Los mayores valores de las lecturas SPAD se encontraron en el material 9b (48.44), al igual que la asimilación de CO<sub>2</sub> (16.73 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>). Filadelfia sólo incrementó en área foliar (62.92 dm<sup>2</sup>).

Cuadro 2.5. Efecto de los materiales (*Physalis* spp.) sobre lecturas SPAD e índice normalizado de vegetación (INV) a los 30, 60 y 90 días después del trasplante (ddt) y, en área foliar y asimilación de CO<sub>2</sub> a los 22, 45 y 88 ddt.

Material vegetal	Lecturas SPAD	Lecturas INV	Área foliar (dm <sup>2</sup> )	Asimilación de CO <sub>2</sub> (μmol CO <sub>2</sub> m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )
<b>30 ddt</b>		<b>22 ddt</b>		
9b	48.44 ± 3.98 a	0.61 ± 0.09 a	8.2 ± 3.35 a	33.21 ± 4.51 a
Filadelfia	45.93 ± 3.10 b	0.56 ± 0.11 a	6.91 ± 2.36 a	31.90 ± 5.27 a
HSD	2.47	0.07	1.75	3.72
<b>60 ddt</b>		<b>45 ddt</b>		
9b	44.63 ± 4.24 a	0.68 ± 0.12 a	55.30 ± 22.20 a	16.73 ± 7.08 a
Filadelfia	43.81 ± 3.23 a	0.64 ± 0.14 a	64.58 ± 20.70 a	10.95 ± 3.74 b
HSD	1.90	0.08	17.74	4.25
<b>90 ddt</b>		<b>88 ddt</b>		
9b	44.28 ± 4.88 a	0.64 ± 0.12 a	42.89 ± 17.92 b	9.24 ± 6.19 a
Filadelfia	36.87 ± 5.80 a	0.63 ± 0.11 a	60.97 ± 33.49 a	5.74 ± 5.83 a
HSD	6.97	0.06	9.69	6.14

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey  $p \leq 0.05$ );  $\Psi_o$  = potencial osmótico; DSH = diferencia honesta significativa mínima; ddt = días después del trasplante.

A los 30 ddt, las lecturas SPAD en el material 9b aumentaron 5.19 % respecto Filadelfia. Sin embargo, el área foliar con Filadelfia, a los 90 ddt, mejoró 30.17 % en comparación con 9b y a los 60 ddt con 9b se logró aumentar 34.55 %, respectivamente. En este estudio los resultados sugieren que el comportamiento del material Filadelfia puede ser efecto del ambiente en el que se cultivó. Sin embargo, el aumento del área foliar y la asimilación lo hacen ser un buen candidato para posteriores trabajos, siempre y cuando se exponga a condiciones favorables, dado que, en este trabajo durante el periodo de investigación la temperatura bajó a 4.8 °C, cuando en el lugar que se obtuvo la mínima se encuentra a 25 °C. Hatfield y Pruger, (2015) señalan que la temperatura es un factor que afecta la tasa de desarrollo de las plantas. La falta de control del clima da como

resultado un microclima inadecuado que afecta negativamente los componentes del rendimiento (Sánchez-Guerrero *et al.*, 2005). Las plantas de tomate cuando crecen en invernadero y a menudo si se enfrentan a una insuficiencia de luz en el dosel inferior, especialmente en la temporada baja de irradiación del invierno reducen su eficiencia (Chengyao *et al.*, 2017). Tomando como ejemplo el *Solanum Lycopersicum* L, Schwarz *et al.* (2014) recomiendan que este cultivo debe de crecer entre un rango de temperatura de 10-35 °C, por lo contrario, si baja o disminuye, la planta no podrá expresar su máximo potencial, por lo tanto, se reducirá la producción de frutos.

## 2.5. CONCLUSIONES

La altura de planta y el número de flores del tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) respondieron mejor al ser regadas con la solución con un  $\Psi_0$  de -0.036 MPa. Sin embargo, para aumentar el diámetro de tallo y el número de bifurcaciones se requiere regar las plantas con solución con un  $\Psi_0$  de -0.054 MPa y también las lecturas SPAD, el índice normalizado de vegetación (INV) y el área foliar. Por lo contrario, a altas concentraciones de solución nutritiva la asimilación de CO<sub>2</sub> se reduce. El material 9b fue el que mejor respondió. Por lo que los valores indican que el crecimiento y la fisiología de los materiales de tomate silvestre mexicano se encuentran influenciados por el incremento en la concentración de la solución nutritiva.

## 2.6. LITERATURA CITADA

- Baca, C. G. A. de J., E. Rodríguez C. y A. Quevedo N. 2016.** La solución nutritiva en hidroponía. Impresos Studio Litográfico. Ecatepec, Estado de México. 154 p.
- Cárdenas L. Ma. A. y A. Villegas M. 2002.** Potencial osmótico del medio de cultivo con diferentes componentes para la propagación *in vitro*. Revista Fitotecnia Mexicana 25: 213-217.
- Chengyao, J. J. Masahuami, H. Masaaki, S. Tsukagoshi, M. Ebihara, A. Nakaminami and T. Maruo. 2017.** Responses of leaf photosynthesis plant growth and fruit production to periodic alteration of plant density in winter produced single-truss tomatoes. The Japanese Society for Horticultural Science. 86: 518-511.

- Conn, S. J., B. Hocking, M. Dayod, B. Xu, A. Athman, S. Henderson, L. Aukett, V. Conn, M. K. Shearer, S. Fuentes, S. D. Tyerman and M. Gilliam. 2013.** Protocol: optimizing hydroponic growth systems for nutritional and physiological analysis of *Arabidopsis thaliana* and other plants. *Plant Methods* 9: 2-11. DOI: doi.org/10.1186/1746-4811-9-4.
- Cruz C., E., M. Sandoval V., V. H. Volke H., A. Can C. y J. Sánchez E. 2012.** Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 1361-1373.
- Etissa, E., N. Dechassa and Y. Alemayehu, 2016.** Yield and physiological response of tomato to various nutrient managements under container grown and drip irrigated conditions. *Irrigat Drainage Sys Eng* 5: 1-7.
- Hatfield, J. L., and J. H. Prueger. 2015.** Temperature extremes: Effect on the plant growth and development. *Weather and Climate Extremes* 10: 4-10. DOI: 10.1016/j.wace.2015.08.001.
- Hoagland D. R., Arnon D. I. 1950.** The water-culture method for growing plants without soil. *Coll Agric U. C. Berkeley, USA, California Agricultural Experiment Station Circular* 347: 1-32.
- Inman, D. Khosla, R. and Mayfield, T. 2005.** On-the-go active remote sensing for efficient crop nitrogen management. *Sensor Review* 25: 209-214.
- Juárez, H. Ma. de J., G. A. Baca C., L. A. Aceves N., P. Sánchez G., J. L. Tirado T., J., Sahagún C. y M. T. Colinas De L. 2006.** Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 4: 246-253.
- Kopriva, S. 2015.** Plant sulfur nutrition: From Sachs to big data. *Plan Signaling & Behavior* 10: 1-5. DOI: 10.1080/15592324.2015.1055436.
- Lan, Y., H. Zhang, R. Lacey, W. C. Hoffmann and W. Wu, 2009.** Development of an integrated sensor and instrumentation system for measuring crop conditions. *Agricultural Engineering International. The CIGR E-Journal* 11:1-16.
- Lara, H. A.1999.** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17: 221-229.

- Miranda-Villagómez, É., J. A. Carrillo-Salazar, María-de-las-Nieves Rodríguez-Mendoza, M. T. Colinas-León, M. Livera-Muñoz y E. A. Gaytán-Acuña. 2014.** Crecimiento y calidad del tallo floral de *Freesia x hybrida* en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 31-39.
- Negrão S., SM. Schmöckel and M. Tester. 2016.** Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany* 119: 1-11. DOI: 10.1093/aob/mcw191.
- Parihar P., S. Singh, R. Singh, V. Pratap S. and S. Mohan P. 2015.** Effect of salinity stress on plants and its tolerance strategies: a review. *Environmental Science and Pollution Reserach* 22: 4056-4075.
- Parra-Terraza S., G., A., Baca-Castillo, R. Carrillo-González, J. Kohashi-Shibata, A., Martínez-Garza y C., Trejo-López. 2004.** Silicio y potencial osmótico de la solución nutritiva en el crecimiento de pepino. *Terra Latinoamericana* 22: 467-473.
- Sánchez-Díaz M. y J. Aguirreolea. 2008.** El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmosfera *In: J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds). Fundamentos de Fisiología Vegetal.* McGraw-Hill. Internacional, Madrid, España. Pp 25-39.
- Santillano-Cázares, J., A. López-López, I. Ortiz-Mendoza, y W. R. Raun. 2013.** Uso de sensores ópticos para la fertilización de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Terra Latinoamericana* 31: 95-103.
- SAS Institute. 2015.** SAS/STAT Users Guide. Version 9.4 SAS Institute Inc., Cary, NC, USA.
- Schwarz, D., A. J. Thompson and K. Hans-Peter. 2014.** Guidelines to use tomato in experiments whit a controlled environment. *Frontiers in Plant Science* 5: 1-16. DOI: 10.3389/fpl.2914.00625.
- Schwarz, D., M. W. Van L., K. T. Ingram and H. P. Klaring. 2001.** Nutrient solution concentration effects on growth and photosynthesis of tomato grown hydroponically. *Plant Nutrition* 92: 432- 433. DOI: 10.1007/0-306-47624-X\_209.
- Steiner, A. A. 1984.** The Universal Nutrient Solution. ISSOC. Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress Soilless Culture. Lunteren, Holland pp. 633-649.

- Urrieta-Velázquez, J. A., M. de las N. Rodríguez-Mendoza, P. Ramírez-Vallejo, G. A. Baca-Castillo, L. del M. Ruiz-Posadas y J. A. Cueto-Wong. 2012.** Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). Revista Chapingo Serie Horticultura 18: 371-381.
- Vargas-Ponce, O., L. F. Pérez-Álvarez. P. Zamora-Tavares, and A. Rodríguez. 2011.** Assessing genetic diversity in mexican husk tomato species. Plant Molecular Biology 29: 733 – 738.
- Wu, M. and Ch. Cubata. 2008.** Effects of electrical conductivity of hydroponic nutrient solution on leaf gas exchange of five greenhouse tomato cultivars. HortTechnology 18: 271-277

## **CAPÍTULO III. POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA, ESTADO NUTRIMENTAL Y MATERIA SECA DEL TOMATE SILVESTRE MEXICANO (*Physalis spp.*)**

### **3.1. RESUMEN**

El tomate silvestre mexicano (*Physalis spp.*) es un cultivo promisorio bajo hidroponía e invernadero. Sin embargo, no existe información sobre su demanda nutrimental. El objetivo del presente estudio fue cuantificar la concentración nutrimental y la producción de materia seca de dos materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis spp.*) por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. Para determinar el efecto de los tratamientos en etapa vegetativa, de floración y en la de fructificación a los 22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt), se cortaron 6 plantas por tratamiento para determinar la concentración nutrimental en hoja y el peso de la materia seca de raíz, vástago y total. El análisis de varianza mostró que el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) sólo influyó en la concentración de K, a los 45 ddt. La mayor concentración de K se encontró en plantas regadas con la solución con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. En micronutrientos, el  $\Psi_o$  afectó la concentración de B, Zn y Cu. En B, el efecto significativo se encontró en etapa vegetativa (22 ddt), el de Zn en fructificación (88 ddt) y el Cu en floración. La mayor concentración de B se encontró en hojas de plantas que se regaron con los potenciales osmóticos de -0.036 y -0.054 MPa, en Zn, con el de -0.036 MPa y Cu con el de -0.054 MPa. El material vegetal no afectó la concentración de macronutrientos, pero sí la de micronutrientos, respectivamente en Mn, Fe y Zn. El Mn se incrementó en el material 9b, en la etapa de floración (45 ddt), el Fe con el Filadelfia en la etapa de fructificación (88 ddt) y el Zn con el 9b en la etapa vegetativa. El peso de materia seca de la raíz sólo fue afectado por el  $\Psi_o$  en la etapa vegetativa. Sin embargo, el peso de vástago y total en la etapa vegetativa y la de floración. En la etapa vegetativa, el mayor peso de raíz se obtuvo de plantas regadas con solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa y, de vástago y peso total con un  $\Psi_o$  de -0.036 y de -0.054 MPa, así como en etapa de floración. El material silvestre sólo afectó al peso de vástago y total. En ambas variables de respuesta, la influencia se presentó en etapa de floración y fructificación (22 y 45 ddt), asimismo, en las dos fechas de muestreo, el mayor peso se consiguió con el material 9b.

**Palabras clave.** material silvestre, hidroponía, concentración nutrimental, materia seca.

### 3.2. INTRODUCCIÓN

En el género *Physalis* se han realizado varios estudios para determinar la demanda nutrimental (Castro-Brindis *et al.*, 2000; Ramos-Lara *et al.*, 2002; Castro-Brindis *et al.*, 2004; Magdaleno-Villar *et al.*, 2006; Trejo-Téllez *et al.*, 2007; Gastelum-Osorio *et al.*, 2013; Peña-Lomelí *et al.*, 2014). Sin embargo, en el tomate silvestre mexicano, conocido por su fruto pequeño como miltomate o tomate silvestre (Santiaguillo *et al.*, 2010), no hay investigaciones al respecto. En este sentido, el análisis químico de tejido vegetal, es una técnica de diagnóstico que permite utilizar la concentración mineral de las plantas como indicador de su situación nutrimental, asociado al logro de altos rendimientos y mejores características de calidad del producto cosechado, en relación al grado de abastecimiento y disponibilidad de nutrimentos en el sustrato (Sánchez *et al.*, 2009). El análisis de plantas se emplea principalmente para diagnosticar deficiencias nutrimentales y como base para formular recomendaciones de fertilización (Etchevers, 2000). Por otra parte, Múnera (2012), argumenta que el análisis foliar se considera actualmente como una referencia indispensable para determinar el estado nutrimental de las plantas, debido a que los análisis foliares indican con precisión la absorción de los elementos por la planta, ya que las hojas son sensibles a los cambios de composición del medio nutritivo. En este contexto, la hidroponía se ha utilizado como uno de los métodos estándar para la investigación en biología vegetal (Rodríguez-Delfín, 2012; Nguyen *et al.*, 2016), con el objetivo de maximizar la calidad, la productividad y concentración nutrimental en el tejido vegetal, al proporcionarle a las plantas agua y nutrimentos suficientes (Oki y Lieth, 2004; Get, 2003). La solución nutritiva Steiner, ha servido como base para la investigación en estos sistemas, dadas sus propiedades (balance entre aniones y cationes, conductividad eléctrica y potencial osmótico) ya que permite un buen desarrollo de la planta (Miranda-Villagómez *et al.*, 2014). La solución nutritiva Steiner consiste de: 12, 1 y 7 me L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; respectivamente; y de 7, 9 y 4 me L<sup>-1</sup> de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup> respectivamente. Con estas concentraciones y utilizando agua destilada para la elaboración de la solución se tiene un potencial osmótico de -0.072 MPa (Steiner, 1984; Lara *et al.*, 1999; Juárez *et al.*, 2006). El  $\Psi_o$  es consecuencia de los solutos disueltos, con característica intrínseca de disminuir la energía libre del agua con efecto negativo, el cual se encuentra relacionado con la fracción molar del agua o con su actividad, siendo parte del componente del potencial de agua (Sánchez y Aguirreolea, 2008), éste puede influir sobre la concentración nutrimental de los cultivos (Jiménez *et al.*, 2013; García-Gaytán *et al.*, 2017). Al respecto, Cruz-Crespo *et al.* (2014) encontraron que conforme pasa el

tiempo disminuye la concentración nutrimental de N, P y K en hojas de chile serrano variedad Tampiqueño; sin embargo, el Ca y Mg tienden a aumentar. Por otra parte, Gastelum-Osorio *et al.* (2013) reportaron que en *Physalis peruviana* L. al aumentar la concentración de la solución nutritiva, la concentración de N es mayor en las hojas de este cultivo, para el K siempre es mayor con la solución más alta y el P fue más alto en etapa vegetativa. Por lo tanto, el objetivo de la presente investigación fue cuantificar la concentración nutrimental y la producción de materia seca de dos materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva.

### **3.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.3.1. Condiciones ambientales**

La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, estado de México, ubicado en las coordenadas 19° 29' 05" latitud norte y 98° 54' 09" longitud oeste, a una altitud de 2,242 msnm, en un invernadero tipo dos aguas, con cubierta de polietileno calibre 720 µm y estructura de acero galvanizado que refleja 90 % de rayos ultravioleta (UV-II), con 35 % de sombra y 65 % de transmitancia en el punto central, del área de nutrición vegetal. Durante el experimento el intervalo de humedad relativa al interior del invernadero varió de 9 % a 96.7 %, entre el día y la noche, la temperatura máxima fue de 51.1 °C, y la mínima de 4.8 °C.

#### **3.3.2. Material vegetal**

Se utilizaron dos materiales de tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp): accesión 9b, (170 BNGEN) del Banco Nacional de Germoplasma de Especies Nativas de la Universidad Autónoma Chapingo, y el material Filadelfia colectado en la localidad Filadelfia del Municipio de Tlapehuala Región de Tierra Caliente, Guerrero, ubicada entre los paralelos 18°12'57"N y 100°32'58"O a 269 msnm de altitud, con temperaturas media-mínima de 25 °C y una media-máxima de 32 °C, mismas que en un trabajo previo presentaron la mayor producción de frutos. Previo a la siembra, se escarificaron las semillas (con una lija de agua de grano 80 y 9" × 1". Además, se remojaron en agua destilada dentro de cajas de Petri a 25 °C por 24 h, esto con el objetivo de promover una germinación uniforme.

### 3.3.3. Siembra de semilleros y trasplante de plántulas

La siembra se llevó a cabo el día 30 de junio de 2017 en charolas de poliuretano de 200 cavidades llenadas con turba humedecida, con pH 7.5 y conductividad eléctrica de  $0.65 \text{ dS m}^{-1}$ , en las cuales se depositaron dos semillas por cavidad, se cubrieron con el mismo sustrato y se aplicó un riego hasta saturación y las charolas se apilaron y se cubrieron con plástico negro. A los cinco días después de la siembra (dds) se extendieron sobre bancales de madera en un invernadero de vidrio del Posgrado de Botánica, en el Colegio de Postgraduados. La germinación de las semillas inició ocho dds, logrando obtener el 50 % a los 12 dds. Desde la siembra hasta que las plántulas presentaron la primera hoja verdadera se regaron con agua de la llave. Posteriormente, a los 20 dds, se regó alternadamente con agua y solución nutritiva Steiner al 25 %, a los 25 se aumentó al 50 % y a los 30 al 75 % de su fuerza iónica. El trasplante se realizó el día 3 de agosto de 2017, los 35 dds. Los recipientes fueron bolsas de color negro de polietileno de  $30 \times 30 \text{ cm}$ , con capacidad de 13 L, y como sustrato se utilizó tezontle rojo, con una granulometría de diámetro medio ponderado de 2 mm e índice de grosor de 56 %, densidad aparente promedio de  $1.2 \text{ g cm}^{-3}$ , 46 % porosidad total, 10 % de porosidad de aireación, 37 % de retención de humedad y 11 % de agua fácilmente disponible. Se trabajó con una densidad de población a 3 plantas por  $\text{m}^2$  en doble hilera. Previo al trasplante se aplicó un riego pesado para humedecer el sustrato, y previamente de trasplantar se aplicó un tratamiento preventivo contra plagas y enfermedades, el cuál consistió en sumergir las charolas con las plántulas en una mezcla de productos Previcur® 72.2 % (propamocarb HCL) en dosis de  $0.5 \text{ mL L}^{-1}$  para prevenir la incidencia de enfermedades fungosas y contra el ataque de plagas se aplicó Confidor® 350 SC (Imidacloprid)  $1 \text{ mL L}^{-1}$ .

### 3.3.4. Tratamientos y diseño experimental

Las plántulas de los dos materiales de tomate silvestre mexicano se expusieron a tres potenciales osmóticos ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva: -0.018, -0.036 y -0.054 MPa. Las soluciones nutritivas se prepararon con base a la formulación de la solución Steiner (Steiner, 1984) completa ( $12 \text{ NO}_3^-$ ,  $1 \text{ H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $7 \text{ SO}_4^{2-}$ ,  $7 \text{ K}^+$ ,  $9 \text{ Ca}^{2+}$  y  $4 \text{ Mg}^{2+} \text{ meq L}^{-1}$ ) con un  $\Psi_o$  de -0.072 MPa, complementada con micronutrientes de acuerdo a lo sugerido por Hoagland y Arnon (1950): Fe, B, Mn, Zn, Cu y Mo, con 3, 0.5, 0.7, 0.09, 0.02 y 0.04 ( $\text{mg L}^{-1}$ ). La conductividad eléctrica (CE) de las soluciones fue 0.5, 1.0 y  $1.5 \text{ dS m}^{-1}$ . El pH de las soluciones se mantuvo a un intervalo de 5.5 a 6.5, usando ácido sulfúrico 1 N, para ajustarlo cada tercer día, se utilizó para medir el pH un potenciómetro PC18 Conductronic. La combinación de los dos materiales silvestres (9b, y Filadelfia) y los potenciales

osmóticos -0.018, -0.036 y -0.054 MPa, generaron 6 tratamientos. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental de parcelas divididas completamente al azar 3×2 con 4 repeticiones, dando un total de 36 unidades experimentales. La unidad experimental consistió de una bolsa negra de polietileno con capacidad de 13 L con tezontle rojo con una planta. Para evitar el efecto de orilla, se colocó una línea de plantas por cada costado de la parcela experimental.

### **3.3.5. Manejo agronómico**

Durante el experimento, las plantas se regaron por goteo, se usaron goteros con un gasto de 8 L por h, aplicando la solución nutritiva. Se inició con tres riegos por día de 1 minuto de duración en cada riego; a los 15 días se aumentó a 9 riegos por día con una duración de 3 minutos por cada riego en la etapa vegetativa, 5 en la de floración y 7 en la de fructificación. A los 8 ddt se colocaron tutores de rafia tomatera de color negro. Cada 15 días se lavó el sistema de riego y el sustrato con agua acidulada a pH 4.5, con el objetivo de hacer más eficiente el riego y evitar la saturación de sales en el sustrato. Considerando la susceptibilidad que presenta el género *Physalis* contra la cenicilla (*Oidiopsis taurica*) se realizaron aplicaciones preventivas con el producto Precure® (triflumizole) a una dosis de 2 mL L<sup>-1</sup> cada 15 días. Para prevenir la incidencia de mosquita blanca se aplicó Oberon® SC 240 (spiromesifen) 2 mL L<sup>-1</sup> cada 15 días y cada 15 días después del cuajado del fruto se realizaron aplicaciones del producto Karate Zeon® 5 CS (lambda cyalotrina) a razón de 3 mL L<sup>-1</sup> para evitar el daño del gusano del fruto.

### **3.3.6. Variables evaluadas**

#### **3.3.6.1. Concentración nutrimental en hoja**

La concentración nutrimental se determinó en las hojas fisiológicamente maduras. Las muestras de hoja se sometieron a digestión húmeda y en el extracto obtenido se determinó N total por el método micro Kjeldahl (Alcántar-González y Sandoval-Villa, 1999). El P, K, Ca, Mg, Mn, Fe, B, Zn y Cu se determinaron en un espectrofotómetro Varían modelo SpectrAA-50® (Canberra, Australia).

#### **3.3.6.2. Materia seca**

Se evaluó el peso de la materia seca de raíz, vástago y total, para lo cual se cortó la planta al nivel del sustrato, y se separó la raíz y el vástago, se colocaron en bolsas de papel y se secaron a 70 °C por 72 h en una estufa h con circulación de aire (Blue M® modelo SW-17TA Illinois, USA) y después se pesó con una balanza electrónica de laboratorio portátil Ohaus Scout Pro.

### 3.3.7. Análisis estadístico

Los datos fueron analizados mediante análisis de varianzas y prueba de comparación medias de Tukey (HSD), con nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System, versión 9.4 (SAS, 2015).

## 3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.4.1. El potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) sobre la concentración nutrimental en hoja

El análisis de varianza mostró que en macronutrientes, el  $\Psi_o$  sólo influyó sobre la concentración de K, el efecto se presentó en la etapa de floración (45 ddt) (Cuadro 3.1). A esta fecha de muestreo, la mayor concentración de K se encontró en plantas que fueron regadas con solución nutritiva de un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa.

Cuadro 3.1. Concentración de N, P, K, Ca y Mg en hojas del material silvestre (*Physalis* spp.), en etapa vegetativa, floración y fructificación (22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt) en respuesta al potencial osmótico ( $\Psi_o$ ).

$\Psi_o$ (MPa)	Concentración nutrimental (g kg <sup>-1</sup> )				
	N	P	K	Ca	Mg
<b>Etapa vegetativa; 22 ddt</b>					
-0.018	31.09 ± 10.98 a	3.87 ± 1.64 a	15.95 ± 8.47 a	12.98 ± 7.04 a	11.52 ± 4.50 a
-0.036	34.53 ± 6.68 a	4.53 ± 0.92 a	17.92 ± 2.87 a	13.53 ± 2.65 a	11.65 ± 2.70 a
-0.054	31.85 ± 6.67 a	3.99 ± 0.89 a	20.05 ± 3.50 a	12.75 ± 3.20 a	11.64 ± 1.37 a
HSD	9.92	1.54	3.67	3.67	3.67
<b>Etapa de floración; 45 ddt</b>					
-0.018	21.38 ± 5.82 a	2.31 ± 0.96 a	14.27 ± 6.70 b	12.65 ± 6.10 a	9.95 ± 4.34 a
-0.036	23.54 ± 3.93 a	2.82 ± 0.66 a	21.62 ± 5.34 a	15.09 ± 3.05 a	11.76 ± 2.59 a
-0.054	24.50 ± 2.66 a	2.75 ± 0.97 a	17.67 ± 4.53 ab	13.86 ± 3.72 a	11.02 ± 3.43 a
HSD	5.18	0.83	5.92	5.37	3.84
<b>Etapa de fructificación; 88 ddt</b>					
-0.018	23.33 ± 4.60 a	2.73 ± 1.39 a	11.72 ± 4.86 a	17.70 ± 5.93 a	12.89 ± 4.10 a
-0.036	22.00 ± 4.94 a	3.02 ± 1.47 a	13.15 ± 4.78 a	21.44 ± 9.11 a	11.92 ± 3.84 a
-0.054	23.80 ± 8.67 a	2.25 ± 0.52 a	13.41 ± 2.10 a	19.52 ± 5.47 a	11.72 ± 3.26 a
HSD	7.74	1.25	5.02	10.06	5.95

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\Psi_o$  = potencial osmótico; DSH = diferencia honesta significativa mínima; ddt = días después del trasplante.

En etapa de floración (45 ddt) al suminístrale a las plantas la solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa la concentración de K aumentó 18.51 %, con relación a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. La baja concentración de K en la etapa de floración al regarlas con la solución con un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa, puede atribuírsele al efecto de dilución que pudo presentar el elemento, dado que en esta fecha

también se encontró mayor área foliar con un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. La concentración de K en hojas de tomate silvestre mexicano en la etapa de floración estuvo dentro del rango de suficiencia reportado para *Solanum lycopersicum* por (Mills y Benton Jones, 1996). Gastelum-Osorio *et al.* (2013) obtuvieron mayor concentración de K, tanto en la etapa vegetativa y en la de fructificación, teniendo valores ascendentes, con respecto al incremento de la concentración en la solución nutritiva, resultado que sólo coincide con este trabajo en la etapa vegetativa. Sin embargo, a los 22 ddt el análisis de varianza no detectó diferencias entre los niveles del  $\Psi_o$ . En tanto, los resultados de esta investigación, permiten observar que la concentración de K estuvo inversamente proporcional con el paso tiempo. Gastelum *et al.* (2013) reportaron que la disminución de K en hojas de *Physalis peruviana* L. (pariente del tomate silvestre) presenta este comportamiento, ya que este nutrimento es el que más demanda *P. peruviana* L. en etapa de floración y fructificación. Dado que, al comienzo del ciclo demanda cantidades bajas de K, pero estas demandas aumentan cuando comienza el desarrollo del cultivo (Silva *et al.*, 2015). El K, es esencial para las plantas, ya que está ligado a varias funciones metabólicas: se encuentra implícito en el proceso de la fotosíntesis, en el crecimiento y el desarrollo de las plantas (Thige-Neira *et al.*, 20018). Además, es muy determinante para la producción y aspectos organolépticos de los frutos (Almeselmani *et al.*, 2009).

En N, P, Ca y Mg, a pesar de no presentarse efecto significativo se observó que, las concentraciones nutrimentales de éstos nutrimentos en la etapa vegetativa fueron mayores al regarse las plantas con la solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. En la etapa de floración, las concentraciones de N y Ca se incrementaron con el aumento de la concentración de la solución. Sin embargo, la concentración de Mg siguió siendo mayor con la aplicación de la solución nutritiva a un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. Además, cabe mencionar que en la etapa de floración los rangos óptimos de acuerdo a lo sugerido por (Mills y Benton Jones, 1996) en *Solanum lycopersicum*. En P se obtuvo con la solución de los potenciales osmóticos de -0.036 y -0.054 MPa, en Ca con los tres potenciales osmóticos (-0.018, -0.036 y -0.054 MPa). Sin embargo, en N se encontró que la concentración no alcanzó el rango óptimo de lo que sugieren dichos autores ni con el uso de la solución nutritiva más concentrada cuyo  $\Psi_o$  fue de -0.054 MPa ya que le hizo falta 51 % para encontrarse en el rango promedio. Por el contrario, en la concentración de Mg, fue mayor (9.1 %) con la aplicación de la solución de menor  $\Psi_o$  (-0.018 MPa).

El análisis de varianza en micronutrientos, reveló que el  $\Psi_o$  no influyó en la concentración de Mn y Fe, pero sí sobre la de B, Zn y Cu (Cuadro 3.2). El efecto significativo en la concentración de B, se presentó en la etapa vegetativa (22 ddt), la de Zn en la de fructificación (88 ddt) y en la de Cu en la de floración (45 ddt). La mayor concentración de B, se encontró en plantas que fueron regadas con la solución con los potenciales osmóticos de -0.036 y de -0.054 MPa, de Zn, sólo al usarse la solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa y el Cu se incrementó con forme aumento la concentración de la solución nutritiva.

Cuadro 3.2. Concentración Mn, Fe, B, Zn y Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en hojas del material silvestre (*Physalis* spp.) en las etapas vegetativa, floración y fructificación (22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt) en respuesta al potencial osmótico ( $\Psi_o$ ).

$\Psi_o$ (MPa)	Concentración nutrimental en hoja ( $\text{mg kg}^{-1}$ )				
	Mn	Fe	B	Zn	Cu
<b>Etapla vegetativa; 22 ddt</b>					
-0.018	76.54 ± 46.69 a	181.05 ± 86.16 a	42.02 ± 16.03 b	25.62 ± 12.54 a	10.46 ± 4.55 a
-0.036	68.63 ± 16.96 a	134.27 ± 27.46 a	62.54 ± 17.66 a	24.88 ± 6.16 a	9.00 ± 2.21 a
-0.054	50.65 ± 9.85 a	156.26 ± 54.54 a	62.09 ± 19.51 a	21.36 ± 4.91 a	10.68 ± 3.80 a
HSD	34.13	66.68	3.67	9.01	3.67
<b>Etapla de floración; 45 ddt</b>					
-0.018	55.41 ± 15.88 a	97.22 ± 42.39 a	25.99 ± 5.22 a	18.19 ± 6.72 a	6.90 ± 6.89 b
-0.036	69.09 ± 12.61 a	121.26 ± 20.43 a	29.11 ± 6.91 a	21.05 ± 5.33 a	17.06 ± 9.58 ab
-0.054	52.67 ± 15.56 a	105.33 ± 18.06 a	31.36 ± 8.77 a	21.44 ± 5.97 a	18.37 ± 10.13 a
HSD	16.18	33.88	7.54	6.52	11.64
<b>Etapla de fructificación; 88 ddt</b>					
-0.018	44.85 ± 21.84 a	96.02 ± 13.55 a	27.75 ± 8.77 a	16.55 ± 4.74 b	105 ± 29.19 a
-0.036	82.39 ± 36.52 a	207.6 ± 266.66 a	30.74 ± 5.52 a	21.14 ± 3.73 a	99.41 ± 44.18 a
-0.054	53.04 ± 21.72 a	102.31 ± 19.87 a	26.80 ± 12.60	20.85 ± 2.87 ab	77.14 ± 18.00 a
HSD	38.49	151.89	11.98	4.54	50.30

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\Psi_o$  = potencial osmótico; DSH = diferencia honesta significativa mínima; ddt = días después del trasplante.

En la etapa vegetativa (22 ddt), las hojas obtenidas de plantas regadas con la solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa presentaron un aumento de 0.72 % en la concentración de B, en comparación de hojas de plantas a las cuales se les suministró la solución del  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Los valores indican que al exponer las plantas a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa disminuye su absorción. De acuerdo con Lara (1999) una alta CE, puede ocasionar un desgaste de energía y provocar una reducción de energía metabólica, reflejado en una disminución del desarrollo de la planta. Según Davis *et al.* (2003) la deficiencia de B en tomate es un problema generalizado que reduce el rendimiento y la calidad del fruto, pero no es considerado por los productores. El B, para el cultivo

de tomate, al igual que otros nutrimentos tiene un efecto pronunciado en la producción y la calidad (Muazzam *et al.*, 2012). Por otro lado, Martínez *et al.* (2009) argumentan que el B se encuentra entre los elementos más requeridos por el cultivo de *Physalis peruviana* L. (pariente del tomate silvestre), dado que, en condiciones de deficiencias afecta el crecimiento de la planta, pero principalmente incide en el agrietamiento de los frutos.

En la etapa de fructificación (88 ddt) el análisis de varianza señaló que al regar las plantas con la solución con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa aumentó 1.38 % la concentración de Zn en comparación con el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Observándose que durante el transcurso del tiempo se presentó un efecto de disminución en la concentración, excepto a los 88 ddt con el  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. Cruz *et al.* (2012) reportaron mayor incremento de Zn después de usar la solución al 50 % ( $\Psi_o$  de -0.036 MPa), dejando claro que para aumentar la concentración de este elemento no existe la necesidad de incrementar la concentración más del 50 %. Valores similares se encontraron en este trabajo, ya que hubo mayor concentración al regar las plantas con solución nutritiva con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. El zinc, es un micronutriente que está involucrado en muchas funciones fisiológicas y su suministro inadecuado reduce el rendimiento en los cultivos. Por lo tanto, la deficiencia puede retrasar el crecimiento, disminuyendo el número de retoños, provoca clorosis y hojas más pequeñas, aumentando el periodo de madurez del cultivo, la esterilidad de las espiguillas y la calidad inferior de los productos cosechados (Hafeez *et al.*, 2013). En la etapa de floración el Cu fue mayor al regar las plantas con la solución nutritiva del  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Se encontró que dichos valores fueron superiores en los tres potenciales osmótico a lo recomendado por (Mills y Benton Jones, 1996). Cruz *et al.* (2012) en tomate Charleston también encontraron mayor concentración de Cu al aumentar la concentración de la solución nutritiva. El Cu en las plantas actúa como cofactor esencial de numerosas proteínas, las cuales realizan funciones centrales en las células vegetales. Sin embargo, en exceso causa efectos perjudiciales (Printz *et al.*, 2016).

### **3.4.2. Efecto del material silvestre sobre la concentración nutrimental en hojas**

El material silvestre en ninguna de las fechas de muestreo influyó en la concentración nutrimental de macronutrimentos (Cuadro 3.3). Los valores obtenidos en esta investigación sugieren que ambos materiales responden de la misma forma al ser expuestas a diferente potencial osmótico.

Cuadro 3.3. Concentración de N, P, K, Ca y Mg ( $\text{g kg}^{-1}$ ) en hojas, en las etapas vegetativa, floración y fructificación en respuesta al material silvestre (*Physalis* spp.)

Material silvestre	Concentración nutrimental ( $\text{g kg}^{-1}$ )				
	N	P	K	Ca	Mg
<b>Etapla vegetativa; 22 ddt</b>					
9b	30.76 ± 9.91 a	4.00 ± 1.45 a	19.18 ± 7.18 a	14.49 ± 6.01 a	11.73 ± 3.84 a
Filadelfia	34.22 ± 5.98 a	4.26 ± 0.90 a	16.77 ± 3.32 a	11.69 ± 1.77 a	11.48 ± 1.54 a
HSD	5.46	0.68	3.01	3.01	3.01
<b>Etapla de floración; 45 ddt</b>					
9b	22.68 ± 4.33 a	2.65 ± 1.05 a	19.82 ± 6.09 a	14.91 ± 5.22 a	10.53 ± 3.90 a
Filadelfia	23.56 ± 4.67 a	2.59 ± 0.65 a	15.64 ± 5.88 a	12.69 ± 3.25 a	11.33 ± 3.04 a
HSD	3.48	0.85	4.45	3.37	3.11
<b>Etapla de fructificación; 88 ddt</b>					
9b	24.75 ± 7.18 a	2.03 ± 0.43 a	13.68 ± 5.02 a	22.08 ± 4.49 a	12.94 ± 3.79 a
Filadelfia	21.52 ± 4.30 a	3.10 ± 1.35 a	11.83 ± 3.02 a	17.01 ± 7.01 a	11.77 ± 3.58 a
HSD	7.16	1.18	6.15	8.11	5.47

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\Psi_o$  = potencial osmótico; DSH = diferencia honesta significativa mínima; ddt = días después del trasplante.

A pesar de no presentarse efecto significativo se observó que, a partir de la etapa vegetativa (22 ddt) a la floración (45 ddt), se presentó disminución en la concentración nutrimental. Sin embargo, en fructificación (88 ddt), sólo el K siguió el mismo comportamiento. Mientras que, hubo mayor concentración N (8.37 %), Ca (26.14 %) y Mg (18.63 %) con el material 9b y, P (16.36 %) con Filadelfia que en etapa de floración. Tal vez estos resultados sea efecto debido a la alta heterogeneidad presente durante todo el periodo de crecimiento de las plantas, generado por haberse trabajado con diferentes materiales, además de ser de distinto origen geográfico, como de tipo especies. De acuerdo con Santiaguillo-Hernández *et al.* (2012) el género *Physalis* diversidad genética. Condición que lo vuelve más complicado para trabajarse, en su mejoramiento, asimismo como el conocer su demanda nutrimental.

El análisis de varianza para micronutrientes, mostró que el material silvestre influyó sobre la concentración de Mn, Fe y Zn, pero no modificó al B y Cu (Cuadro 3.4). La mayor concentración de Zn se logró con el material 9b, en etapa vegetativa (22 ddt), así como la de Mn, en etapa de floración (45 ddt) y, la concentración de Fe aumentó en Filadelfia, en la etapa de fructificación (88 ddt).

Cuadro 3.4. Concentración de Mn, Fe, B, Zn y Cu ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en hojas, en las etapas vegetativa, floración y fructificación (22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt) en respuesta al material silvestre (*Physalis* spp).

Material silvestre	Concentración nutrimental ( $\text{mg kg}^{-1}$ )				
	Mn	Fe	B	Zn	Cu
<b>Etapla vegetativa; 22 ddt</b>					
9b	71.27 ± 38.04 a	158.96 ± 69.14 a	57.92 ± 23.81 a	26.90 ± 10.62 a	11.28 ± 4.19 a
Filadelfia	59.28 ± 19.63 a	155.43 ± 56.59 a	53.03 ± 14.73 a	21.00 ± 4.24 b	8.89 ± 2.59 a
HSD	19.81	44.89	14.34	5.76	3.01
<b>Etapla de floración; 45 ddt</b>					
9b	67.51 ± 14.06 a	108.44 ± 34.46 a	28.54 ± 7.56 a	21.54 ± 5.84 a	12.08 ± 8.85 a
Filadelfia	52.51 ± 14.46 b	107.54 ± 25.85 a	28.02 ± 6.74 a	18.66 ± 6.05 a	16.13 ± 11.27 a
HSD	11.09	24.45	6.75	4.92	6.06
<b>Etapla de fructificación; 88 ddt</b>					
9b	70.34 ± 33.22 a	105.85 ± 14.27 b	33.33 ± 9.49 a	19.53 ± 3.27 a	98.67 ± 25.64 a
Filadelfia	46.15 ± 20.90 a	138.62 ± 149.87 a	24.25 ± 7.34 a	18.73 ± 5.19 a	91.46 ± 36.10 a
HSD	30.19	20.28	14.28	7.69	15.67

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ );  $\Psi_0$  = potencial osmótico; DSH = diferencia honesta significativa mínima; DDT = días después del trasplante.

Con el material 9b, en la etapa de floración (45 ddt) la concentración de Mn aumentó 22.22 %, el de Zn 21.94 % en la etapa vegetativa (45 ddt) en relación con la Filadelfia y el Fe aumentó con Filadelfia 23.65 % en fructificación (88 ddt) en comparación con el material 9b.

### 3.4.3. El potencial osmótico ( $\Psi_0$ ) sobre el peso de la materia seca

El  $\Psi_0$  de la solución nutritiva sólo afectó al peso de la materia seca de la raíz, en la etapa vegetativa (22 ddt). Sin embargo, el peso de vástago y total fueron afectados en la etapa vegetativa y en floración (Cuadro 3.5). En la etapa vegetativa, el mayor peso de raíz se obtuvo de plantas que se les suministró -0.054 MPa y el mayor peso de vástago y total con los potenciales osmóticos de -0.036 y -0.054 MPa. En la etapa de floración (88 ddt), el mayor peso de vástago y total se obtuvo con los potenciales osmóticos -0.036 y el de -0.054 MPa.

El peso de raíz, en la etapa vegetativa mostró un comportamiento ascendente, conforme se incrementó la concentración de la solución nutritiva. Asimismo, conforme pasó el tiempo se incrementó el peso de raíz, con la misma tendencia con respecto al  $\Psi_0$  y el incremento de peso. El peso del vástago y total, en la etapa vegetativa, así como en la de floración, se encontró que después de usar el  $\Psi_0$  de -0.036 MPa se obtienen los mismos resultados. El incremento del peso de raíz se relacionó con el paso del tiempo, pero no con el incremento del potencial osmótico, dado que, en etapa de floración, así como en fructificación hubo mayor peso con  $\Psi_0$  de -0.036 MPa. Sin

embargo, el aumento del peso total se correlacionó con el incremento de la concentración de la solución nutritiva y la fecha de muestreo

Cuadro 3.5. Peso de materia seca (raíz, vástago y total) del material silvestre (*Physalis* spp.) en la etapa vegetativa, floración y fructificación, a los 22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt) en respuesta al potencial osmótico de la solución nutritiva.

$\Psi_0$ (MPa)	Peso seco (g planta <sup>-1</sup> )		
	Raíz	Vástago	Total
	<b>Etapa vegetativa; 22 ddt</b>		
-0.018	0.65 ± 0.35 b	2.73 ± 1.36 b	3.39 ± 1.65 b
-0.036	0.90 ± 0.28 ab	4.30 ± 1.78 a	5.20 ± 1.88 a
-0.054	1.06 ± 0.28 a	4.61 ± 1.50 a	5.68 ± 1.65 a
DSH	0.31	1.12	1.25
	<b>Etapa de floración; 45 ddt</b>		
-0.018	4.15 ± 1.52 a	43.27 ± 14.55 b	47.4 ± 14.96 b
-0.036	6.57 ± 2.22 a	74.42 ± 25.87 a	81.00 ± 26.17 a
-0.054	6.25 ± 4.15 a	68.08 ± 32.72 a	74.33 ± 45.04 a
DSH	2.62	3.67	22.40
	<b>Etapa de fructificación; 88 ddt</b>		
-0.018	7.15 ± 5.42 a	92.24 ± 50.71 a	98.60 ± 54.20 a
-0.036	8.40 ± 3.55 a	135.08 ± 112.71a	141.08 ± 115.05 a
-0.054	16.92 ± 8.96 a	130.90 ± 53.84 a	145.94 ± 59.00 a
DSH	10.27	90.24	95.35

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); MPa = megapascal; DSH = diferencia honesta significativa mínima.

Flores-Ruvalcaba *et al.* (2005) determinaron que el peso seco de diferentes órganos de crisantemo aumentó conforme se incrementó la concentración de sales (PO) en la solución, a excepción del peso de raíz. Este resultado pudo deberse a que la planta al encontrarse abastecida nutrimentalmente pudo desarrollarse adecuadamente. Por otro lado, Castro-Brindis *et al.* (2004) al estudiar la demanda de N en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.) encontraron que la mayor acumulación de materia seca se presentó al regar las plantas con 9 meq L<sup>-1</sup> de NO<sub>3</sub><sup>-</sup> ( $\Psi_0 = -0.054$  MPa). Hawkesford *et al.* (2012.) mencionan que, el N, P, Ca y Mg son importantes para el desarrollo foliar de las plantas, mientras que, García *et al.* (2003) indicaron que el suministro adecuado de las concentraciones en los nutrimentos es un factor determinante, el cual influye en la acumulación de materia seca en cultivos. El crecimiento puede medirse como un cambio en la masa, el volumen o la longitud del brote o la raíz (Smith *et al.*, 2002).

### 3.4.4. El material silvestre sobre la materia seca

El material silvestre afectó el peso de raíz, vástago y total (Cuadro 3.6). En cuyas variables, la influencia se presentó en etapa de floración y fructificación (22 y 45 ddt), asimismo, en las dos fechas de muestreo, el mayor peso se consiguió con el material 9b, respectivamente.

Cuadro 3.6. Peso de materia seca (raíz, vástago y total) del tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) en etapa vegetativa, floración y fructificación 22, 45 y 88 días después del trasplante (ddt).

Material silvestre	Peso seco (g planta <sup>-1</sup> )		
	Raíz	Vástago	Raíz más vástago
<b>Etapa vegetativa; 22 ddt</b>			
9b	0.90 ± 0.32 a	4.84 ± 1.73 a	5.74 ± 1.94 a
Filadelfia	0.85 ± 0.37 a	2.92 ± 1.10 b	3.77 ± 1.45 b
DSH	0.24	1.0	1.20
<b>Etapa de floración: 45 ddt</b>			
9b	4.80 ± 2.62 a	74.66 ± 32.02 a	79.46 ± 34.11 a
Filadelfia	6.52 ± 3.13 a	49.18 ± 16.62 b	55.71 ± 19.15 b
DSH	2.16	3.01	18.77
<b>Etapa de fructificación; 88 ddt</b>			
9b	11.53 ± 8.87 a	134.10 ± 84.64 a	143.70 ± 91.71 a
Filadelfia	10.84 ± 7.35 a	103.43 ± 55.69 a	112.61 ± 60.61 a
DSH	8.60	97.58	99.40

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); MPa = megapascal; DSH = diferencia honesta significativa mínima.

La mayor acumulación de peso en las tres variables ocurrió con el vástago. Sin embargo, cuando la planta no cuenta con los nutrientes necesarios, la deficiencia puede cambiar la relación de crecimiento entre las raíces y los órganos de la planta aérea (Páez-García *et al.*, 2015). En este contexto, el material 9b fue más eficiente en la absorción nutrimental, al presentar los valores más altos en el peso de materia seca, dejando claro que aumentó el 50 % en comparación de Filadelfia, aspecto que le favoreció para aumentar la asimilación de CO<sub>2</sub> y asimismo la acumulación de fotoasimilados para el aumentar la producción de frutos.

### 3.5. CONCLUSIONES

Los resultados sugieren que el incremento de la concentración nutrimental y la producción de materia seca fueron afectados de manera distinta, éstas siempre se vieron favorecidas con el aumento de la concentración de la solución nutritiva. Con el  $\Psi_0$  de -0.036 MPa se incrementó la concentración de K y, con el de -0.054 la de Cu, los tres fueron mayores en la etapa de floración.

El B, fue mayor con los potenciales osmóticos de -0.036 y -0.054 en la etapa vegetativa y, el Zn con -0.036 MPa en la etapa de fructificación. El material silvestre 9b incrementó la concentración de Mn, y Zn y Filadelfia sólo aumentó el Fe. En la etapa vegetativa el peso de raíz, vástago y total se incrementó en relación al aumento de la concentración nutritiva. En la etapa de floración siguieron la misma tendencia, pero sólo el peso seco del vástago y total. El material silvestre sólo afectó al peso de vástago y total. En ambas, el mayor peso lo obtuvo con el material 9b en la etapa vegetativa y en la de floración.

### 3.6. LITERATURA CITADA

- Alcántar, G. G. y M. Sandoval V. 1999.** Manual de Técnicas del Laboratorio de Nutrición Vegetal. Publicación especial No. 10 de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo, Estado de México, México. Pp. 43-46.
- Almeselmani, M., R. C. Pant and B. Singh. 2009.** Potassium level and physiological response and fruit quality in hydroponically grown tomato. *International Journal of Vegetable Science* 16:85-99. DOI: 10.1080/19315260903271526.
- Castro-Brindis, R., A. Galvis-Spíndola, P. Sánchez-García, A. Peña-Lomelí, M. Sandoval-Villa y G. Alcántar-González. 2004.** Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10:147-152.
- Castro-Brindis, R., P. Sánchez-García, A. Peña-Lomelí, G. Alcántar-González, G. A. Baca-Castillo, R. Ma. López-Romero. 2000.** Niveles críticos de suficiencia y toxicidad de N-NO<sub>3</sub> en el extracto celular de tomate de cáscara. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6: 33-38.
- Cruz C., E., M. Sandoval V., V. H. Volke H, C. Chulim, J. Sánchez, E. 2012.** Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 1361-1373.
- Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, R. Bugarín-Montoya, J. Pineda-Pineda, R. Flores-Canales, P. Juárez-López y G. Alejo-Santiago. 2014.** Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 289-295.

- Davis, J. M., D. C. Sanders, P. V. Nelson, L. Lengnick and J. Sperry. 2003.** Boron improves growth, yield, quality, and nutrient content of tomato. *Journal of the American Society for Horticulture Science* 128: 44-446.
- Etchevers B., J. D. 2000.** Técnicas de diagnóstico útiles en la medición de la fertilidad del suelo y el estado nutrimental de los cultivos. *Terra* 17: 209-219.
- Flores-Ruvalcaba, J. S., A. E. Becerril-Román, V. A. González-Hernández, L. Tijerina-Chávez y T. Vásquez-Rojas. 2005.** Crecimiento vegetativo y floral del crisantemo [*dendranthema x grandiflorum* (Ramat) Kitamura] en respuesta a la presión osmótica de la solución nutritiva. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 2: 241-249.
- García E., A.; Kohashi S., J.; Baca C., G. A. y Escalante E., J. A. S. 2003.** Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. *Terra* 21: 471-480.
- García-Gaytán, V., L. I. Trejo-Téllez, F. C. Gómez-Merino, S. García-Morales, Ol. Tejeda-Sartorius. M. Ramírez-Martínez y J. Delgadillo-Martínez. 2017.** Gamma radiation and osmotic potential of the nutrient solution differentially affect macronutrient concentration, pH and EC in chilhuacle pepper fruits. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 315: 145-156.
- Gastelum-Osorio, D., A., M. Sandoval-Villa, C. Trejo-López, y R. Castro-Brindis. 2013.** Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19: 197-210.
- Gent, M. PN. 2003.** Solution electrical conductivity and ratio of nitrate to other nutrients affect accumulation of nitrate in hydroponic lettuce. *HortScience* 38: 222-227.
- Hafeez, B. Y. M. Khanif and M. Saleem. 2013.** Role of zinc plant nutrition-A review. *American Journal of Experimental Agriculture* 3: 447-391.
- Hawkesford, M., W. Horst, T. Kichey, H. Lambers, J. Schjoerring I. Skrumsagre M. and P. White. 2012.** Functions of Macronutrients. *In: P. Marschner (eds.). Nutrition of Higher Plants. Third Edition. Academic Press. San Diego, CA. Pp. 135-192.*

- Hoagland D. R., Arnon D. I. 1950.** The water-culture method for growing plants without soil. Coll Agric U. C. Berkeley, USA, California Agricultural Experiment Station Circular 347: 1-32.
- Jiménez-Peña, N., L. A. Valdez-Aguilar, A. M. Castillo-González and M. T. Colinas-León and, A. D. Cartmill. 2013.** Growing media and nutrient solution concentration affect vegetative growth and nutrition of *Laelia anceps* Lindl. HortScience 48: 773-779.
- Juárez, H. Ma. de J., G. A. Baca C., L. A. Aceves N., P. Sánchez G., J. L. Tirado T., J., Sahagún C. y M. T. Colinas De L. 2006.** Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. Interciencia 4: 246-253.
- Lara, H. A. 1999.** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. Terra 17: 221-229.
- Magdaleno-Villa, J. J., A. Peña-Lomelí, R. Castro-Brindis, A. M. Castillo-González, A. Galvis-Spínola, F. Ramírez-Pérez y B. Hernández-Hernández. 2006.** Efecto de soluciones nutritivas sobre el desarrollo de plántulas de tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). Revista Chapingo Serie Horticultura 12: 223-229.
- Martínez, F. E., J. Sarmiento, G. Fischer, F. Jiménez. 2009.** Síntomas de deficiencia de macronutrientes y boro en plantas de uchuva (*Physalis peruviana* L.). Agronomía Colombiana 27: 169-178.
- Mills, H. A. and Benton Jonesm J. 1996.** Plant analysis handbook II. A practical sampling, preparation, analysis, and interpretación guide. MicroMacro Publishing, Inc., Athens, GA. 422 p.
- Miranda-Villagómez É., J. A. Carrillo-Salazar, María-de-las-Nieves Rodríguez-Mendoza, M. T. Colinas-León, M. Livera-Muñoz y E. A. Gaytán-Acuña. 2014.** Crecimiento y calidad del tallo floral de *Freesia x hibrida* en hidroponía. Revista Fitotecnia Mexicana 37: 31-39.
- Muazzam, N. R. M., S. Muhammad, A. Hamid and F. Bibi. 2012.** Effect of boron on the flowering and fruiting of tomato. Sarhad Journal of Agriculture 28: 37-40.
- Múnera, V. G. 2012.** Manual general análisis de suelos y tejido vegetal. Universidad de Pereira. Pereira Colombia. 40 p.

- Nguyen N. T., S. A. McInturf, and D. G. Mendoza-Cózatl, 2016.** Hydroponics: A versatile system to study nutrient allocation and plant responses to nutrient availability and exposure to toxic elements. *Journal of Visualized Experiments* 113: 1-9. DOI: 10.3791/54317.
- Oki, L. R. y J. H. Lieth. 2004.** Effect of changes in substrate salinity on the elongation of *Rosa hybrida* L. “kardinal” stems. *Scientia Horticulturae* 101: 103-119. DOI: 10.1016/j.scienta.2003.09.013.
- Páez-García, A., C. M. Motes, S. Wolf-Rudiger, R. Chen, E. B. Blancaflor and M. J. Monteros. 2015.** Root traits and phenotyping strategies for plant improvement. *Plants* 4: 334-355. DOI: 10.3390/plants4020334.
- Peña-Lomelí, A., J. J. Ponce-Valerio, F. Sánchez-del-Castillo y N. Magaña-Lira (2014)** Desempeño agronómico de variedades de tomate de cáscara en invernadero y campo abierto. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37:381-391.
- Printz, B., S. Lutts, Jean-Francois, Hausman and K. Sergeant. 2016.** Copper trafficking in plants and its implication on cell wall dynamics. *Frontiers in Plant Science* 7: 1-16. DOI: 10.3389/fpls.2016.0060.
- Ramos-Lara, C., G. Alcántar-González, A. Galvis-Spindola, A. Peña-Lomelí y A. Martínez-Garza. 2002.** Eficiencia de uso del nitrógeno en tomate de cáscara en fertirriego. *Terra* 20: 465-469.
- Rodríguez-Delfín A., 2012.** Advances of hydroponics in Latin America. *Acta Horticulturae* 947: 23-32. DOI: 10.17660 / ActaHortic.2012.947.
- Sánchez. G. P., C. Molinos de S., G. Alcántar G., M. Sandoval V. 2009.** Diagnóstico nutrimental en plantas. *In: Nutrición de cultivos* (eds.) Alcántar G. G., y Trejo T. L. Mundi-Prensa, México. Pp. 201-245.
- Sánchez-Díaz M. y J. Aguirreolea. 2008.** El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmósfera *In: J. Azcón-Bieto y M. Talón* (eds.). *Fundamentos de Fisiología Vegetal*. McGraw-Hill Internacional, Madrid, España. Pp. 25-39.

- Santiaguillo, H. J. F., E. Cedillo P. y J. A. Cuevas, S. 2010.** Distribución geográfica de *Physalis* spp. en México. Universidad Autónoma Chapingo, Chapingo, Texcoco, Estado de México. Prometeo Editores. Guadalajara, Jalisco, México. 245 p.
- Santiguillo-Hernández, J. S., O. Varga-Ponce, O. Grinaldo-Juárez, N. Magaña-Lira, F. Carovelarde, A. Peña-Lomelí y J. Sánchez-Martínez. 2012.** Perfil del Diagnóstico de la Red de Tomate de Cáscara. Chapingo, México. Universidad Autónoma Chapingo. Pp. 49.
- SAS Institute Inc. 2015.** SAS/STAT User's Guide. Version 9.4 SAS Institute, Cary, NC, USA.
- Silva, P. A., C. Albornoz B. A. Castillo M., O. Checa C., T. César L. 2015.** Respuesta de *Physalis peruviana* a la fertilización con diferentes dosis de N, P y K en el Altiplano de Pasto, Colombia. Acta Agronómica 64: 330-335. DOI: 10.15446/acag.v64n4.43488.
- Smith, B. N. L., C. Harris, V. M. Wallace, D. L. Stradling, T. Thygeson, J. Walter, R. S. Criddle and L. D. Hansen. 2002.** Time, plant growth, respiration, and temperature. In: M. Pessaraki (eds.). Handbook of Plant and Crop Physiology. Marcel Dekker. All Rights Reserved. New York. Basel. pp 1-12.
- Steiner, A. A. 1984.** "The Universal Nutrient Solution". ISSOC. Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress Soilless Culture. Lunteren, Holland. pp 633-649.
- Tighe-Neira, R. M. Alberdi, P. Arce-Johnson, J. Romero, M. Reyes-Díaz, Z. Rengel and C. Inostroza-Blancheteau. 2018.** Role of potassium in governing photosynthetic processes and plant yield In: Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance (eds.) Hassanuzzaman M., Fujita M., Oku, H., Nahar K. and Hawrylak-Nowak B. Springer Nature Singapore Pte Ltd. Pp.191-203.
- Trejo-Téllez L. I., Ma. N. Rodríguez-Mendoza, G. Alcántar-González and F. C. Gómez-Merino. 2007.** Effect of foliar fertilization on plant growth and quality of mexican husk tomato (*Physalis ixocarpa* Brot.). Acta Horticulturae 729: 295-299. DOI: 10.17660/ActaHortic.2007.729.48.

## CAPÍTULO IV. PRODUCCIÓN Y CALIDAD DE FRUTOS DE TOMATE SILVESTRE MEXICANO (*Physalis spp.*) EN RESPUESTA AL POTENCIAL OSMÓTICO

### 4.1. RESUMEN

El tomate silvestre mexicano (*Physalis spp.*) sirve de alimento en zonas rurales de nuestro país, además, se le atribuyen características terapéuticas. El objetivo del presente estudio fue cuantificar la producción y calidad de fruto de los materiales de tomate silvestre 9b mexicano (*Physalis spp.*) por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. Se trabajó con el material 9b por presentar el mejor rendimiento en un primer experimento que se llevó a cabo del mes de mayo a septiembre de 2017. Previo a la siembra, las semillas se escarificaron y se pusieron a remojar en agua destilada por 24 h en cajas Petri. A los 35 días después de la siembra (dds), las plántulas se trasplantaron en bolsas de 13 L con tezontle rojo y se aplicaron los tratamientos con las soluciones nutritivas a los potenciales osmóticos de -0.018, -0.036 y -0.054 MPa. A los 84 y 90 días después del trasplante (ddt) se llevó a cabo la cosecha. Para cosechar se eligieron los frutos que presentaron el 100 % de su madurez fisiológica, posteriormente se evaluó el número de frutos por planta, peso con y sin cáliz y, se midió el diámetro ecuatorial y polar; además, se determinó la firmeza, los sólidos solubles totales (SST; °Brix), la acidez titulable y el pH del jugo de los frutos. Se encontró que el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva sólo afectó al pH, éste aumentó cuando las plantas fueron expuestas a un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa en la segunda fecha de muestreo.

**Palabras clave:** material silvestre, número y peso de frutos, firmeza de fruto, diámetro ecuatorial y polar, °Brix, pH, acidez titulable.

### 4.2. INTRODUCCIÓN

El tomate silvestre mexicano (*Physalis spp.*) es un cultivo promisorio bajo hidroponía e invernadero. La producción en sistemas hidropónicos, es una alternativa viable para la producción de hortalizas, al considerarse como uno de los métodos estándar para la investigación en biología vegetal y también en la producción comercial de varios cultivos (Rodríguez-Delfín, 2012; Nguyen *et al.*, 2016). En estos medios, es común el uso de la solución nutritiva Steiner, dada sus propiedades (balance entre aniones y cationes, conductividad eléctrica (CE) y potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) que les permiten un buen desarrollo a las plantas (Miranda-Villagómez *et al.*, 2014). La solución nutritiva Steiner consiste de: 12, 1 y 7 me L<sup>-1</sup> de NO<sup>3-</sup>, H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup> y SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>; respectivamente; y de 7, 9 y 4 me L<sup>-1</sup> de K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, y Mg<sup>2+</sup> respectivamente. Con estas concentraciones y utilizando

agua destilada para la elaboración de la solución se tiene un potencial osmótico de -0.072 MPa (Steiner, 1984; Lara *et al.*, 1999; Juárez *et al.*, 2006). El  $\Psi_o$  es función de los solutos disueltos, éstos disminuyen la energía libre del agua (Sánchez y Aguirreolea, 2008), es el constituyente del potencial del agua que resulta de la presencia de partículas de soluto, siendo equivalente a la presión osmótica en concepto, pero de signo opuesto (Baca *et al.*, 2016). Gastelum *et al.* (2013), en *Physalis peruviana* L. lograron mayor número de frutos al usar la solución Steiner al 100 % ( $\Psi_o$  de -0.072 MPa). Sin embargo, observaron que con el uso de la solución nutritiva entre 50 y 75 % ( $\Psi_o$  de -0.036 y 0.054 MPa) es suficiente para que esta planta produzca satisfactoriamente, dado que, en peso con y sin cáliz observaron que al usarse la solución al 100 % ( $\Psi_o$  de -0.072 MPa) disminuyó el peso de frutos. Por otro lado, Cruz-Crespo *et al.* (2014); Valenzuela *et al.* (2014) también encontraron relación entre el incremento del porcentaje de la solución nutritiva y la producción de chile serrano y tomate. Según Dobričević *et al.* (2007), la calidad del tomate en un sistema hidropónico está definida por sus parámetros internos, como son los sólidos solubles totales (°Brix), la acidez titulable (porcentaje de ácido cítrico), pH, etc. Considerados como los principales parámetros para definir la calidad de este fruto (Jiménez-Santana *et al.*, 2012), los cuales pueden ser influenciados por la fertilización con P y K, en función de la participación de esos nutrimentos en la síntesis, el transporte y el metabolismo de los azúcares de la planta (Coutinho *et al.*, 2014). Valenzuela *et al.* (2014) reportaron en diámetro polar y ecuatorial de tomate que no hubo diferencias significativas entre los porcentajes (25, 50 y 100 %) de las concentraciones de la solución nutritiva Steiner, pero si con respecto al testigo. Por otro lado, García-Gaytán *et al.* (2017) señalaron que al disminuir el potencial osmótico de la solución nutritiva también el pH de frutos de chile pimiento chilhuacle se redujo. En este contexto, el presente estudio tuvo como objetivo evaluar la producción y la calidad de frutos del tomate silvestre mexicano (*Physalis* app.) en respuesta al potencial osmótico de la solución nutritiva.

### **4.3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **4.3.1. Condiciones ambientales**

La investigación se realizó en el Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, Estado de México, ubicado en las coordenadas 19° 29' 05" latitud norte y 98° 54' 09" longitud oeste, a una altitud de 2,242 msnm, en un invernadero tipo dos-aguas, con cubierta de polietileno calibre 720  $\mu\text{m}$  y estructura de acero galvanizado que refleja 90 % de rayos ultravioleta (UV-II), con 35% de sombra y 65% de transmitancia en el punto central, del área de nutrición vegetal. Durante el

experimento el intervalo de humedad relativa al interior del invernadero varió de 9 % a 96.7 %, entre el día y la noche, la temperatura máxima fue de 51.1 °C, y la mínima de 4.8 °C.

#### **4.3.2. Material vegetal**

Se trabajó con el material silvestre de tomate mexicano (*Physalis* spp.) accesión 9b (170 BNGEN) del Banco Nacional de Germoplasma de Especies Nativas de la Universidad Autónoma Chapingo, Previo a la siembra, se escarificaron las semillas (con una lija de agua de grano 80 y 9" × 1"). Además, se remojaron en agua destilada dentro de cajas de Petri a 25 °C por 24 h, esto con el objetivo de promover una germinación uniforme.

#### **4.3.3. Siembra de semilleros y trasplante de plántulas**

La siembra se llevó a cabo el día 30 de junio de 2017 en charolas de poliuretano de 200 cavidades llenadas con turba humedecida, con pH 7.5 y conductividad eléctrica de 0.65 dS m<sup>-1</sup>, en las cuales se depositaron dos semillas por cavidad, se cubrieron con el mismo sustrato y se aplicó un riego hasta saturación y las charolas se apilaron y se cubrieron con plástico negro. A los cinco días después de la siembra (dds) se extendieron sobre bancales de madera en un invernadero de vidrio del Posgrado de Botánica en el Colegio de Postgraduados. La germinación de las semillas inició ocho dds, el 50 % se obtuvo a los 12 dds. Desde la siembra hasta que las plántulas presentaron la primera hoja verdadera se regaron con agua de la llave. Posteriormente, a los 20 dds, se regó alternadamente con agua y solución nutritiva Steiner al 25 %, a los 25 se aumentó al 50 % y a los 30 al 75 % de su fuerza iónica. El trasplante se realizó el día 3 de agosto de 2017, los 35 dds. Los recipientes fueron bolsas de color negro de polietileno de 30×30 cm, con capacidad de 13 L, y como sustrato se utilizó tezontle, con una granulometría de diámetro medio ponderado de 2 mm e índice de grosor de 56 %, densidad aparente promedio de 1.2 g cm<sup>-3</sup>, 46 % porosidad total, 10 % de porosidad de aireación, 37 % de retención de humedad y 11 % de agua fácilmente disponible. Se trabajó con una densidad de población a 3 plantas por m<sup>2</sup> en doble hilera. Antes de llevar a cabo el trasplante se aplicó un riego pesado para humedecer el sustrato y previo al trasplante se aplicó un tratamiento preventivo contra plagas y enfermedades, el cuál consistió en sumergir las charolas con las plántulas en una mezcla de productos Previcur® 72.2 % (propamocarb HCL) en dosis de 0.5 mL L<sup>-1</sup> para prevenir la incidencia de enfermedades fungosas y contra el ataque de plagas se aplicó Confidor® 350 SC (Imidacloprid) 1 mL L<sup>-1</sup>.

#### 4.3.4. Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron tres potenciales osmóticos de la solución nutritiva: -0.018, -0.036 y -0.054 MPa. Las soluciones nutritivas se prepararon con base a la formulación de la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) completa ( $12 \text{ NO}_3^-$ ,  $1 \text{ H}_2\text{PO}_4^-$ ,  $7 \text{ SO}_4^{2-}$ ,  $7 \text{ K}^+$ ,  $9 \text{ Ca}^{2+}$  y  $4 \text{ Mg}^{2+} \text{ meq L}^{-1}$ ) con un  $\Psi_o$  de -0.072 MPa, complementada con micronutrientes de acuerdo a lo sugerido por Hoagland y Arnon (1950): Fe, B, Mn, Zn, Cu y Mo, con 3, 0.5, 0.7, 0.09, 0.02 y 0.04 ( $\text{mg L}^{-1}$ ). La conductividad eléctrica (CE) de las soluciones fue 0.5, 1.0 y 1.5  $\text{dS m}^{-1}$ . El pH de las soluciones se mantuvo en un intervalo de 5.5 a 6.5, usando ácido sulfúrico 1 N, el cual fue ajustado cada 3 días con un potenciómetro marca Conductronic PC18. La combinación del material silvestre 9b y los potenciales osmóticos de -0.018, -0.036 y -0.054 MPa, generaron 3 tratamientos. Los tratamientos se distribuyeron en un diseño experimental completamente al azar con 4 repeticiones por tratamiento, teniendo un total de 12 unidades experimentales. La unidad experimental consistió de una bolsa color negro de polietileno con capacidad de 13 L, con tezontle rojo con una planta. Para evitar el efecto de orilla una línea, se colocó una línea de plantas por cada costado de la parcela experimental.

#### 4.3.5. Manejo agronómico

Durante el experimento, las plantas se regaron por goteo, se usaron goteros con un gasto de 8 L por h, aplicando la solución nutritiva. Se inició con tres riegos por día de 1 minuto de duración en cada riego; a los 15 días se aumentó a 9 riegos por día con una duración de 3 minutos por cada riego en la etapa vegetativa, 5 en la de floración y 7 en la de fructificación. A los 8 ddt se colocaron tutores de rafia tomatera de color negro. Cada 15 días se lavó el sistema de riego y el sustrato con agua acidulada a pH 4.5, con el objetivo de hacer más eficiente el riego y evitar la saturación de sales en el sustrato. Considerando la susceptibilidad que presenta el género *Physalis* contra la cenicilla (*Oidiopsis taurica*) se realizaron aplicaciones preventivas con el producto Precure® (triflumizole) a una dosis de  $2 \text{ mL L}^{-1}$  cada 15 días. Para prevenir la incidencia de mosquita blanca se aplicó Oberon® SC 240 (spiromesifen)  $2 \text{ mL L}^{-1}$  cada 15 días y cada 15 días después del cuajado del fruto se realizaron aplicaciones del producto Karate Zeon® 5 CS (lambda cyalettrina) a razón de  $3 \text{ mL L}^{-1}$  para evitar el daño del gusano del fruto.

#### **4.3.6. Variables registradas**

##### **4.3.6.1. Producción de frutos**

Número de frutos por planta. Los frutos se cosecharon al llegar a madurez fisiológica, después se cuantificaron todos los frutos en cada corte.

Peso de frutos con y sin cáliz. Todos los frutos en cada cosecha se pesaron primero con cáliz, con una balanza electrónica de laboratorio Portátil Ohaus Scout Pro.

##### **4.3.6.2. Calidad de fruto**

Diámetro ecuatorial y polar. Para obtener este dato, se eligieron tres frutos al azar y se midió la parte ecuatorial y polar con un vernier milimétrico digital marca Truper®.

Firmeza de fruto. La firmeza de frutos se determinó con un penetrómetro de punta cónica de 0–5 kg/f. Se midió en la región ecuatorial sobre la cutícula del fruto. Para cuantificar esta variable se tomaron 3 frutos al azar de los cuales al final se obtuvo un dato promedio.

Sólidos Solubles Totales (SST; °Brix). Se determinaron utilizando un refractómetro manual marca HANNA (HI-966801), para ello se tomaron 3 frutos al azar con la misma maduración fisiológica, después se exprimieron y el jugo obtenido se colocó sobre la celda del equipo.

pH. Fue medido con un potenciómetro PC18 Conductronic: se tomaron tres frutos al azar con la misma maduración fisiológica, posteriormente se cortaron y se exprimieron para obtener el jugo y hacer la toma de lectura.

Acidez titulable total (ATT). Esta variable se determinó de acuerdo a la metodología descrita por la AOAC (1998).

##### **4.3.7. Análisis estadístico**

Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza y prueba de comparación medias de Tukey (HSD), con nivel de significancia ( $\alpha = 0.05$ ), utilizando el software estadístico Statistical Analysis System, versión 9.4 (SAS, 2015). La representación gráfica de los valores se realizó con el programa SigmaPlot de Jandel Scientific versión 13 (SigmaPlot, 2014) para comparar el efecto del potencial osmótico sobre las variables de producción y calidad de frutos.

## 4.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.4.1. Número de frutos, peso con cáliz y sin cáliz

En ninguno de los muestreos el  $\Psi_0$  afectó el número de frutos, el peso de frutos con y sin cáliz (Cuadro 4.1). Sin embargo, tanto en la primera (84 ddt) como en la segunda cosecha (90 ddt) el mayor número y peso de las tres variables se obtuvo de plantas que se regaron con la solución de un  $\Psi_0$  de -0.054 MPa.

Cuadro 4.1. Número de frutos, peso de frutos con cáliz y sin cáliz sobre del material silvestre 9b a los 84 y 90 días después del trasplante por efecto del potencial osmótico ( $\Psi_0$ ).

$\Psi_0$ (MPa)	Número de frutos por planta	Peso de frutos con cáliz (g planta <sup>-1</sup> )	Peso de frutos sin cáliz (g planta <sup>-1</sup> )
<b>Primera cosecha; 84 ddt</b>			
-0.018	29.5 ± 24.66 a	91.45 ± 39.45 a	85.31 ± 37.51 a
-0.036	13.75 ± 8.99 a	28.87 ± 18.19 a	26.82 ± 17.01 a
-0.054	35.0 ± 54.61 a	95.37 ± 154.62 a	88.92 ± 144.02 a
DSH	69.07	183.14	170.74
<b>Segunda cosecha; 90 ddt</b>			
-0.018	49.50 ± 29.54 a	55.54 ± 53.80 a	47.23 ± 44.58 a
-0.036	49.50 ± 21.37 a	57.59 ± 35.67 a	51.38 ± 31.99 a
-0.054	78.00 ± 79.27 a	131.54 ± 148.01 a	118.61 ± 135.89 a
DSH	99.46	184.05	167.04

Medias ± DE con la misma letra no son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); DSH = diferencia honesta significativa mínima; ddt = días después del trasplante.

El número de frutos, el peso con y sin cáliz a pesar de no haber presentado efecto significativo por influencia del  $\Psi_0$ ; en la primera cosecha se encontró que aumentó 60.72 % al regar las plantas con la solución nutritiva a un  $\Psi_0$  de -0.054 MPa y también se observó que al ser regadas con la solución con un  $\Psi_0$  de -0.018 MPa, el número incrementó 53.39 % en comparación con el de -0.036 MPa. En la segunda cosecha, las plantas regadas con un  $\Psi_0$  de -0.054 MPa siguieron presentando la mayor cantidad frutos. Por lo contrario, con las soluciones nutritivas de los potenciales osmóticos de -0.018 y -0.036 MPa se obtuvo el mismo promedio. Respecto al peso de fruto con y sin cáliz, en la primera cosecha el mayor peso, se presentó al exponer las plantas a un  $\Psi_0$  de -0.054 MPa. Además, se encontró que fue mayor el peso al regar las plantas con uno de -0.018 MPa, presentando una ganancia de 68.98 % con cáliz y de 68.57 % sin cáliz en relación con el de -0.036 MPa. Para la segunda cosecha, el peso con y sin cáliz se correlacionó con el incremento de la solución nutritiva. Observándose que a mayor concentración de la solución nutritiva hubo

más peso de frutos. Además, se observó que el peso tanto con y sin cáliz fue menor en la segunda cosecha. Gastelum *et al.* (2013) en *Physalis peruviana* L. obtuvieron mayor número de frutos al usar la solución Steiner al 100 % ( $\Psi_o$  de -0.072 MPa). Asimismo, observaron que el incremento de frutos se encontró en relación con el aumento de la solución nutritiva; aunque recomiendan que la uchuva se cultive con una solución nutritiva al 50 % y 75 % ( $\Psi_o$  de -0.036 y -0.054 MPa), con la finalidad de tener un óptimo económico en la producción. Por otro lado, Cruz-Crespo *et al.* (2014) también encontraron relación entre el incremento del porcentaje de la solución nutritiva y el aumento de la producción de chile serrano. Por otro lado, Valenzuela *et al.* (2014) observaron el mismo comportamiento al producir tomate. Este efecto se le atribuye a la mayor concentración nutrimental. Los nutrimentos estuvieron a mayor disponibilidad para la planta en etapa de fructificación (Cruz-Crespo *et al.*, 2014). En peso con y sin cáliz Gastelum-Osorio *et al.* (2013), reportaron que después de usar la solución nutritiva al 75 % ( $\Psi_o$  -0.054 MPa) esta variable disminuye. En tanto, los valores sugieren que este comportamiento puede ser un efecto relacionado con la fuente y demanda, dado que, en un inicio posiblemente el peso de los frutos fue mayor porque las plantas estaban suficientemente abastecidas de fotoasimilados, por lo contrario, en la segunda cosecha, la fuente fue menor a la demanda, por lo tanto, los frutos resultaron de menor peso.

#### **4.4.2. Calidad de fruto**

##### **4.4.2.1. pH y acidez titulable (ATT)**

El  $\Psi_o$  afectó al pH, pero no la acidez titulable de frutos (Figura 4.1). La influencia del  $\Psi_o$  sobre el pH, se presentó en la segunda cosecha (90 ddt). A esta fecha de muestreo, el pH más alto se obtuvo de frutos de plantas que fueron regadas con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa (pH 4.1). En las dos fechas de muestreo, el pH aumentó al regar las plantas con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa (Figura 4.1A). Asimismo, se observó que en la primera fecha disminuyó al usarse un  $\Psi_o$  -0.054 MPa. Sin embargo, en la segunda cosecha con un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa. Los valores en el primer muestreo incrementaron 18.95 % y en el segundo 4.88 % al exponerlas a un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa que al ser expuestas a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Los datos mostraron que el pH aumentó con uno de -0.018 MPa 4.04 % y con el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa 11.03 %. Sin embargo, al ser regadas con -0.036 MPa redujo 6.4 % de la primera a la segunda cosecha.

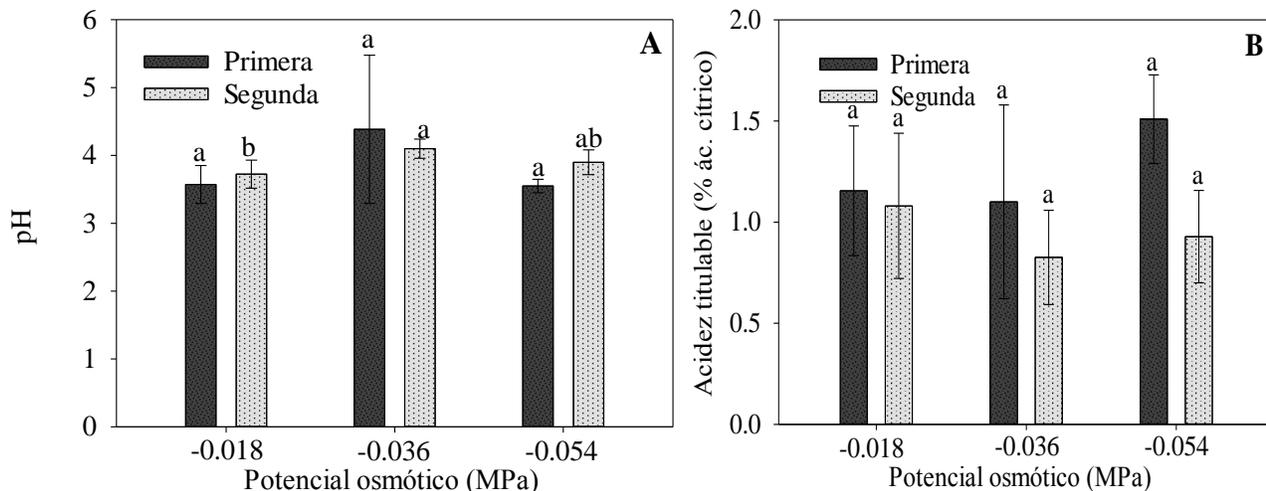


Figura 4. 1. Efecto del potencial osmótico sobre el pH (A) y acidez titulable (B): primera y segunda cosecha, a los 84 y 90 ddt, en frutos del material silvestre 9b. Medias  $\pm$  DE con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

El pH varió de 3.55 a 4.38. De acuerdo con Santiaguillo-Hernández *et al.* (2009) el pH de los frutos del tomate milpero presentan valores de 4.163 a 4.410. Ramírez-Godina *et al.* (2013) reportaron un intervalo entre 3.93 a 4.23, mientras que Benito-Bautista *et al.* (2016) de 4.08 a 4.13 en *Physalis ixocarpa* Brot. Por lo tanto, los valores obtenidos en esta investigación están cercanos a los valores reportados por estos investigadores. Según García-Sahagún *et al.* (2009) el pH es una característica importante de la calidad del fruto, el cual puede ser influenciado por la fertilización con P y K, en función de la participación de esos nutrientes en la síntesis, el transporte y el metabolismo de los azúcares de la planta (Coutinho *et al.*, 2014).

La acidez titulable no fue afectada por el  $\Psi_o$  (Figura 4.1b). No obstante, en la primera cosecha, el mayor porcentaje se obtuvo de frutos producidos con un  $\Psi_o$  de la solución nutritiva de -0.054 MPa y en la segunda con un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa (1.50 y 1.08 %) y el más bajo siempre se obtuvo por efecto del  $\Psi_o$  de -0.036 MPa (1.10 y 0.82 %). Además, se observó que fue menor en la segunda cosecha. Se encontró una disminución de 6.09 % en -0.018 MPa, 25.46 % en -0.036 MPa y 38.67 % en -0.054 MPa, entre la primera y segunda cosecha. El comportamiento fisiológico del género *Physalis* puede ser un parámetro determinante en la variación de los valores de la ATT (Cantwell *et al.*, 1992); además en hidroponía la ATT en tomates frescos es muy variada (Dobričević *et al.*, 2007).

#### 4.4.2.2. Firmeza y sólidos solubles totales (SST)

El  $\Psi_o$  no afectó la firmeza ni al contenido de los sólidos solubles totales (SST) ( $^{\circ}$ Brix) de frutos (Figura 4.2). Sin embargo, la mayor firmeza en las dos fechas de muestreo se obtuvo al exponer las plantas a un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa y los (SST) ( $^{\circ}$ Brix) en la primera cosecha aumentaron con un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa y en la segunda respecto con el  $\Psi_o$  de -0.018 MPa, respectivamente. Al regar las plantas con la solución con un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa, los frutos incrementaron 3.48 % su firmeza con respecto al  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Sin embargo, al regarlas con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa la firmeza disminuyó 20 % con relación al de -0.054 MPa. Por lo tanto, los valores indican que si se requieren tener frutos con mayor firmeza se debe usar la solución nutritiva con el  $\Psi_o$  de -0.018MPa, por lo contrario, si quieres bajar la firmeza se debe usar -0.036 MPa, tal efecto se vio reflejado en las dos fechas de muestreo. Los SST ( $^{\circ}$ Brix), en la primera cosecha aumentaron 4.49 % al regar las plantas con un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa en relación con el  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. Por el contrario, en la segunda cosecha con un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa aumentaron 14.46 % en relación con el de -0.054 MPa. El intervalo de SST se encontró entre 6.33 a 7.91 $^{\circ}$ Brix. Los valores obtenidos fueron superiores a los reportadas por Ramírez-Godina *et al.* (2013) y Benito-Bautista *et al.* (2016) en tomate de cáscara.

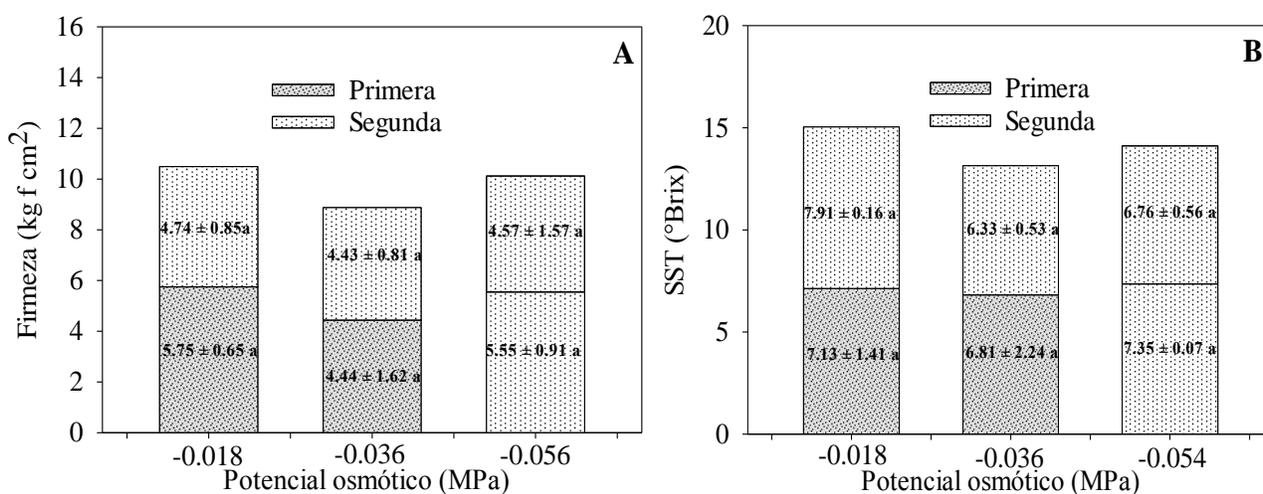


Figura 4.2. Efecto del potencial osmótico sobre la firmeza (A) y SST ( $^{\circ}$ Brix) (B): primera y segunda cosecha, a los 84 y 90 ddt, en frutos del material silvestre 9b. Medias  $\pm$  DE con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

El contenido de azúcar y de ácido, mejoran la calidad de frutos de tomate (Peña *et al.*, 2013), por lo tanto, se debe tener presente la relación entre sólidos solubles totales y la ATT, como una variable de la expresión de la dulzura del fruto (Tzortzak y Economakis, 2008).

#### 4.4.2.3. Diámetro polar y ecuatorial del fruto

El  $\Psi_o$  no influyó sobre el diámetro polar ni en el ecuatorial (Figura 4.3), pero los valores indicaron disminución entre la primera y segunda cosecha en ambas variables. El diámetro polar en la primera cosecha aumentó 16.74 % al regar las plantas con la solución de un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa en relación con uno de -0.054 MPa. Sin embargo, en la segunda cosecha este diámetro fue mayor cuando se regó con la solución de -0.036 MPa presentando una diferencia de 1.06 % en relación con el de -0.054 MPa. En el diámetro ecuatorial en la primera cosecha incrementó 13.13 % al usarse la solución con un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa en comparación con el de -0.054 MPa y en la segunda cosecha, éste se relacionó con el incremento de la concentración de la solución nutritiva.

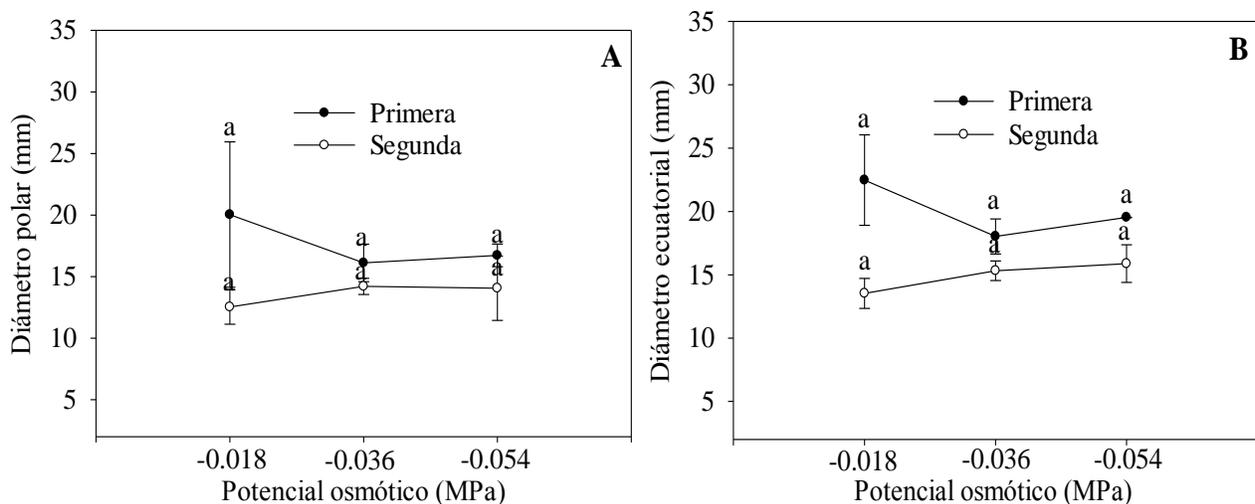


Figura 4. 3. Efecto del potencial osmótico sobre el diámetro polar (A) y ecuatorial (B): primera y segunda cosecha, a los 84 y 90 ddt en frutos del material silvestre 9b. Medias  $\pm$  DE con la misma letra no son significativamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ).

Valenzuela *et al.* (2014) reportaron diferencias significativas en diámetro polar y ecuatorial en tomate. Sin embargo, esta influencia fue menor sobre el testigo, porque las soluciones presentaron el mismo efecto estadístico. Asimismo, observaron disminución en el diámetro con el paso del tiempo.

#### 4.5. CONCLUSIONES

La producción de frutos del tomate silvestre mexicano (*Physalis spp.*) no se vio afectada por el suministro de los diferentes potenciales osmóticos ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva. En calidad de frutos, el  $\Psi_o$  sólo afectó al pH, esta variable aumentó cuando las plantas fueron expuestas a un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa en la segunda fecha de muestreo. Por lo tanto, con fines de producción de fruto, se

debe utilizar la solución nutritiva con la menor concentración ( $\Psi_o$  de -0.018 MPa) para tener frutos menos ácidos.

#### 4.6. LITERATURA CITADA

- AOAC. 1998.** Official methods of analysis of the association of official analytical 74 chemists. Arlington, VA, USA. 1023 p.
- Baca, C. G. A. de J., E. Rodríguez C. y A. Quevedo N. 2016.** La solución nutritiva en hidroponía. Impresos Studio Litográfico. Ecatepec, Estado de México. 154 p.
- Benito-Bautista, P., N. Arellanes-Juárez y M. E. Pérez-Flores. 2016.** Color y estado de madurez del tomate de cáscara. *Agronomía Mesoamericana* 27:115-130.
- Cantwell, M., J. Flores-Minutti and A. Trejo-González. 1992.** Developmental changes and postharvest physiology of tomatillo fruit (*Physalis ixocarpa* Brot). *Scientia Horticulturae* 50: 69-70.
- Coutinho E. LM. O. J. Valdeci, S. E. J da, N. A. Coutinho y S. S. Cardoso. 2014.** Nutrición, producción de tomate para procesamiento en función de la fertilización con fósforo y potasio. *Agrociencia Uruguay* 18: 40-46.
- Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, R., Bugarín-Montoya, J., Pineda-Pineda, R., Flores-Canales, P., Juárez-López y G., Alejo-Santiago. 2014.** Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 289-295.
- Dobričević, N.; Voća, S.; Benko, B. and Pliestić, S. 2007.** The quality of fresh tomato fruit produced by hydroponic. *Agriculture Conspectus Scientificus* 72: 351-355.
- García, S. Ma. L., V. Martínez J., A. N. Avendaño L., Ma. Del C. Padilla, S. y H. Izquierdo O. 2009.** Acción de oligosacáridos en el rendimiento y calidad del tomate. *Revista Fitotecnia Mexicana* 32: 295-301.
- García-Gaytán, V., L. I. Trejo-Téllez, F. C. Gómez-Merino, S. García-Morales, Ol. Tejeda-Sartorius. M. Ramírez-Martínez y J. Delgadillo-Martínez. 2017.** Gamma radiation and osmotic potential of the nutrient solution differentially affect macronutrient concentration, pH

and EC in chilhuacle pepper fruits. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry* 315: 145-156.

**Gastelum-Osorio, D., A., M. Sandoval-Villa, C. Trejo-López, y R. Castro-Brindis. 2013.** Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19: 197-210.

**Hoagland D. R., Arnon D. I. 1950.** The water-culture method for growing plants without soil. *Coll Agric U. C. Berkeley, USA, California Agricultural Experiment Station Circular* 347: 1-32.

**Jiménez-Santana E., V. Robledo-Torres, A. Benavides-Mendoza, F. Ramírez-Godina, H. Ramírez-Rodríguez y E. de la Cruz-Lázaro. 2012.** Calidad de frutos de genotipos tetraploides de tomate cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo* 28: 153-161.

**Juárez, H. Ma, de J., G. A. Baca C., L. A. Aceves N., P. Sánchez G., J. L. Tirado T., J., Sahagún C. y M. T. Colinas De L. 2006.** Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 4: 246-253.

**Lara, H. A. 1999.** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17: 221-229.

**Miranda-Villagómez É., J. A. Carrillo-Salazar, María-de-las-Nieves Rodríguez-Mendoza, M. T. Colinas-León, M. Livera-Muñoz y E. A. Gaytán-Acuña. 2014.** Crecimiento y calidad del tallo floral de *Freesia x hybrida* en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 31-39.

**Nguyen N. T., S. A. McInturf, and D. G. Mendoza-Cózatl, 2016.** Hydroponics: A versatile system to study nutrient allocation and plant responses to nutrient availability and exposure to toxic elements. *Journal of Visualized Experiments* 113: 1-9. DOI: 10.3791/54317.

**Peña, Y. M., F. Casierra-Posada y O. I. Monsalve. 2013.** Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en casacarilla de arroz mezclada con materiales minerales. *Revista Colombiana de Ciencias Agrícolas* 7: 217-227.

- Ramírez-Godina, F., V. Robles-Torres, R. Foroughbakhch-Pournabav, A. Benavides-Mendoza, J.L. Hernández-Piñero, M.H. Reyes-Valdés and M.A. Alvarado- Vázquez. 2013.** Yield and fruit quality evaluation in husk tomato autotetraploids (*Physalis ixocarpa*) and diploids. Australian Journal of Crop Science 7:933-940.
- Rodríguez-Delfín A., 2012.** Advances of hydroponics in Latin America. Acta Horticulturae 947: 23-32. DOI: 10.17660 / ActaHortic.2012.947.
- Sánchez-Díaz M. y J. Aguirreolea. 2008.** El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmosfera *In:* J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.). Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw-Hill Internacional, Madrid, España. Pp. 25-39.
- Santiaguillo-Hernández, J. F., O. Vargas-Ponce, O. Grimaldo-Juárez, J. Sánchez-Martínez y N. Magaña-Lira. 2009.** Aprovechamiento tradicional y moderno de tomate (*Physalis*) en México. Chapingo, México. Universidad Autónoma de Chapingo.
- SAS Institute Inc. 2015.** SAS/STAT User's Guide. Version 9.4 SAS Institute, Cary, NC, USA.
- SigmaPlot, 2014.** SigmaPlot 2014 V. 13. Systat Software Inc., Point Richmond, California
- Steiner, A. A. 1984.** The Universal Nutrient Solution. ISSOC. Proceedings 6<sup>th</sup> International Congress Soilless Culture. Lunteren, Holland. Pp 633-649.
- Tzortzakis N. G. and C. D. Economakis. 2008.** Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation. Horticultural Science 35: 83-89.
- Valenzuela, L. M., L. Partida R., T. Díaz V., T. de J. Velázquez A., G. Bojórquez B. y T. Enciso O. 2014.** Respuesta del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas 5: 807-818.

## DISCUSIÓN GENERAL

En el primer experimento se encontró que el  $\Psi_o$  de la solución nutritiva de -0.036 MPa y el de -0.054 MPa tuvo efecto en la altura de planta y diámetro de tallo. La altura fue afectada hasta los 60 ddt. Sin embargo, el diámetro en las tres fechas de muestreo. No obstante, en el segundo experimento, la altura presentó el mismo comportamiento, pero el diámetro hasta los 60 ddt fue afectado. Flores-Ruvalcaba *et al.* (2005) señalaron que, en crisantemo al aumentar la concentración de la solución nutritiva, la altura presentó un comportamiento directamente proporcional a dicho incremento. Por otro lado, Miranda-Villagómez *et al.* (2014) en *Freesia*×*hybrida* a diferentes porcentajes de concentración de la solución nutritiva, encontraron que las plantas lograron mayor grosor de tallos, al regarlas al 50 % ( $\Psi_o$  de -0.036 MPa), resultados similares en el segundo experimento. Este comportamiento puede deberse posiblemente una respuesta a la variabilidad del clima en los diferentes experimentos. En la primera fecha (primavera y verano) las temperaturas fueron mayores, por lo tanto, se presentó mayor transpiración por parte de las plantas, factor importante para que puedan absorber nutrimentos. Por el contrario, en la segunda fecha (verano-otoño) las bajas temperaturas (mínima de 4.8 °C) disminuyeron la tasa de absorción de nutrientes, por lo tanto, se inhibió el crecimiento de la planta, dado que la temperatura es un factor que afecta la tasa de desarrollo de las plantas (Hatfield y Pruger, 2015), por lo que la falta de control del clima afecta negativamente los componentes del rendimiento (Sánchez-Guerrero *et al.*, 2005).

En el primer experimento, el número de flores se vio afectado en la etapa vegetativa (30 ddt) por el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Sin embargo, en el segundo, el mayor número de flores se registró hasta en la etapa de floración (60 ddt) con el de -0.036 MPa. El comportamiento resultó muy variado, dado que en el segundo trabajo sólo se necesitó exponer las plantas hasta a un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa para lograr aumentar la producción de flores. Marcelis *et al.* (2004) estudiaron el aborto de flores y frutos en chile dulce y encontraron que el aborto no sólo depende de la fuerza de la fuente sino también de la fuerza de la demanda de asimilación de órganos competidores. Sin embargo, otro factor por mencionar es también la especie. Al trabajar con diferentes materiales silvestres se presentó menor grado de normalidad en el análisis estadístico por tratarse de materiales con un comportamiento heterogéneo. Las lecturas SPAD en el primer experimento aumentaron con el incremento de la concentración nutrimental, presentándose efecto en las tres fechas de muestreo. Sin embargo, en el segundo experimento sólo se presentó efecto en la etapa de floración y fructificación. En la etapa de floración las mayores lecturas se obtuvieron al usar el  $\Psi_o$  de -0.036

MPa y en etapa de fructificación al regar las plantas con un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. Cruz *et al.* (2012) obtuvieron mayores lecturas SPAD al incrementar la concentración de la solución nutritiva. Según Castro *et al.* (2004) las lecturas SPAD son mayores al inicio del desarrollo vegetativo de la planta (resultados similares en esta investigación), momento en el que está en la plenitud del proceso fotosintético, el cual es mayor con un suministro adecuado de N, ya que éste está asociado con rangos óptimos de clorofila, crecimiento vegetativo vigoroso, alta actividad fotosintética y con la síntesis de carbohidratos de la planta. La hora de medición es muy determinante, dado que puede influir en los valores. Por lo tanto, se recomienda que las mediciones se realicen a la misma hora del día. Además, éstas deben realizarse siempre en la misma hoja y sitio para reducir la variación (Negrão *et al.*, 2016). La producción en la primera cosecha aumentó al exponer las plantas a un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. Sin embargo, en el segundo experimento no se presentó efecto significativo, pero los resultados mostraron que la producción aumentó al exponer las plantas a un  $\Psi_o$  de -0.054 MPa, es decir, en el segundo trabajo las plantas requieren mayor suministro de nutrimentos para que alcancen mayor producción. Valentín-Miguel *et al.* (2013) al evaluar diferentes presiones osmóticas de la solución nutritiva sobre el cultivo de chile de agua encontraron que al regar las plantas con una presión osmótica de 0.054 MPa se obtienen rendimientos mayores de 2 kg de fruto comercial por planta. Gastelum-Osorio *et al.* (2013) en *Physalis peruviana* L. obtuvieron mayor número de frutos al usar la solución Steiner al 100 % ( $\Psi_o$  de -0.072 MPa). Asimismo, observaron que el incremento de frutos se correlacionó con el aumento de la concentración de la solución nutritiva; aunque recomiendan que la uchuva se produzca con las soluciones en su concentración de 50 y 75 % ( $\Psi_o$  de -0.036 y -0.054 MPa), con la finalidad de tener un óptimo económico en la producción. Por otro lado, Cruz-Crespo *et al.* (2014) también encontraron relación entre el incremento del porcentaje de la solución nutritiva y el aumento de la producción de chile serrano. Valenzuela *et al.* (2014) observaron el mismo comportamiento al producir tomate. Este efecto se le atribuye a la mayor concentración nutrimental. Por lo tanto, estos resultados sugieren que, si un productor quiere trabajar este cultivo en esta fecha (otoño), le implicará gastar mayor cantidad de fertilizantes. Al evaluar la calidad del fruto en el segundo experimento, sólo el pH del jugo de los frutos presentó efecto significativo. El pH varió de 3.55 a 4.38. Ramírez-Godina *et al.* (2013) reportaron un intervalo entre 3.93 y 4.23, mientras que Benito-Bautista *et al.* (2016) de 4.08-4.13 en *Physalis ixocarpa* Brot. Por lo tanto, los valores obtenidos en esta investigación están cercanos a los valores reportados por estos investigadores.

En el segundo experimento al evaluar el índice normalizado de vegetación (INV), el área foliar y la asimilación de CO<sub>2</sub> se encontró que el INV fue afectado a los 60 ddt: el valor más alto se presentó en plantas con el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa. A los 30 y 60 ddt las plantas con la mayor área foliar correspondieron al  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. A los 30 ddt, la mayor asimilación de CO<sub>2</sub> se encontró en plantas producidas con un  $\Psi_o$  de -0.018 MPa (35.67  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ). Por lo tanto, se demuestra que para aumentar el INV se debe usar el  $\Psi_o$  de -0.054 MPa, Inman *et al.* (2005); Lan *et al.* (2009) reportaron que este sensor ayuda a elaborar un diagnóstico rápido y dirigido sobre las condiciones nutrimentales (especialmente de nitrógeno) para conocer el estado fisiológico, la incidencia de estrés y el rendimiento potencial de los cultivos. Al contrario, para aumentar el área foliar bastó usar el  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. La asimilación de CO<sub>2</sub> se redujo al exponer las plantas a altas concentraciones de la solución nutritiva. Schwarz *et al.* (2001); Wu y Kubota (2008) observaron que conforme se aumenta la CE en la solución nutritiva se reduce la tasa fotosintética; resultados similares se encontrados en nuestra investigación.

En la segunda investigación respecto al estado nutrimental de las plantas, el  $\Psi_o$  de la solución nutritiva no influyó sobre la concentración de N, P, Ca y Mg. Sin embargo, sólo en K en la etapa de floración (45 ddt). A esta fecha de muestreo, la mayor concentración de K se encontró en plantas que fueron regadas con un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa. En micronutrientos, el análisis de varianza se reveló que el  $\Psi_o$  no influyó en la concentración de Mn y Fe, pero si sobre el B, Zn y Cu. El efecto significativo en la concentración de B, se presentó en la etapa vegetativa (22 ddt), la de Zn en fructificación (88 ddt) y Cu en floración (45 ddt). La mayor concentración de B, se encontró en plantas que fueron regadas con la solución de un  $\Psi_o$  de -0.036 y aquellas que fueron regadas con uno de -0.054 MP, en Zn, sólo al usarse -0.036 MPa y la concentración de Cu, se correlacionó con el incremento de la concentración de la solución nutritiva. Gastelum-Osorio *et al.* (2013) obtuvieron mayor concentración de K, tanto en la etapa vegetativa y en la de fructificación, obteniendo valores ascendentes, conforme se incrementó la concentración en la solución nutritiva, resultado que sólo coincide con este trabajo en la etapa vegetativa. Sin embargo, a esta fecha el análisis de varianza no detectó efecto del  $\Psi_o$ . Cruz-Crespo *et al.* (2012) consiguieron mayor incremento de Zn después de usar la solución al 50 % ( $\Psi_o$  de -0.036 MPa), dejando claro que para aumentar la concentración de este elemento no existe la necesidad de incrementar la concentración más del 50 %. Valores similares se encontraron en este trabajo, ya que hubo mayor concentración al regar las plantas con la solución nutritiva a un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa.

En el peso de la materia seca, el  $\Psi_o$  de la solución nutritiva sólo afectó al peso de raíz, en etapa vegetativa (22 ddt). Sin embargo, el peso de vástago y total fueron afectados en la etapa vegetativa y en la de floración. Flores-Ruvalcaba *et al.* (2005) determinaron que el peso seco de diferentes órganos de crisantemo aumentó conforme se incrementó la concentración de sales (PO) en la solución, a excepción del peso de raíz. Según García *et al.* (2003) indicaron que el suministro adecuado de las concentraciones en los nutrimentos es un factor determinante, el cual influye en la acumulación de materia seca en cultivos.

Con respecto al efecto del material silvestre, en el primer experimento el 9b fue el que siempre influyó en todas las variables respuesta. Por lo tanto, este es el material más prometedor para emplearse en trabajos posteriores. En el segundo experimento, la 9b fue la que más influyó sobre el número de bifurcaciones, lecturas SPAD y en la asimilación de CO<sub>2</sub>, por su parte Filadelfia solo incrementó el área foliar. La concentración de Mn y Zn se incrementó con el 9b, la de Fe con Filadelfia. El material silvestre sólo afectó al peso de vástago y total, a los 22 y 45 ddt. En las dos fechas de muestreo, el mayor peso lo obtuvo el 9b. En calidad el material no afectó ninguna variable respuesta.

## CONCLUSIONES GENERALES

En el capítulo uno, los resultados indicaron que los cuatro materiales del tomate silvestre mexicano (*Physalis* spp.) respondieron de diferente manera al ser expuestos al potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva. Se observó que a mayor concentración de la solución nutritiva se aumentaron las variables de crecimiento, pero disminuyó el rendimiento de frutos.

En el capítulo dos, se encontró que los valores de las variables de crecimiento fueron mayores al producir las plantas a un  $\Psi_o$  de -0.036 y de -0.054 MPa. Las variables fisiológicas aumentaron con uno de -0.054 MPa, a excepción de la asimilación de  $\text{CO}_2$ , ya que ésta presentó valores más altos con el de -0.018 MPa.

En el capítulo tres, los resultados indicaron que el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva únicamente afectó la concentración de K, éste fue mayor con uno de -0.036 MPa. El peso de materia seca siempre aumentó con el incremento de la concentración de la solución nutritiva. Por lo que, estos valores sugieren que, sí existe relación entre el potencial osmótico, la concentración nutrimental en hojas y el peso de materia seca del tomate silvestre mexicano.

En el capítulo cuatro, se encontró que el potencial osmótico ( $\Psi_o$ ) de la solución nutritiva sólo influyó en el pH del jugo de los frutos, dado que esta variable aumentó cuando las plantas fueron expuestas a un  $\Psi_o$  de -0.036 MPa en la segunda fecha de muestreo.

En comparación del primero al segundo experimento, como datos generales, se encontró que, en el primero, realizado de mayo a septiembre de 2017, la producción de frutos fue mayor cuando las plantas se expusieron al  $\Psi_o$  de -0.036 MP. Sin embargo, en el segundo, evaluado de agosto a octubre de 2017, hubo mayor producción con el de -0.054 MPa. Asimismo, se observó que el material 9b fue el que presentó la mayor producción en los dos experimentos.

## LITERATURA CITADA

- Benito-Bautista, P., N. Arellanes-Juárez y M. E. Pérez-Flores. 2016.** Color y estado madurez del tomate de cáscara. *Agronomía Mesoamericana* 27:115-130.
- Castro-Brindis, R., A. Galvis-Spíndola, P. Sánchez-García, A. Peña-Lomelí, M. Sandoval-Villa y G. Alcántar-González. 2004.** Demanda de nitrógeno en tomate de cáscara (*Physalis ixocarpa* Brot.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 10:147-152.
- Cruz C., E., M. Sandoval V., V. H. Volke H., A. Can C. y J. Sánchez E. 2012.** Efecto de mezclas de sustratos y concentración de la solución nutritiva en el crecimiento y rendimiento de tomate. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 3: 1361-1373.
- Cruz-Crespo, E., A. Can-Chulim, R., Bugarín-Montoya, J., Pineda-Pineda, R., Flores-Canales, P., Juárez-López y G., Alejo-Santiago. 2014.** Concentración nutrimental foliar y crecimiento de chile serrano en función de la solución nutritiva y el sustrato *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 289-295.
- Flores-Ruvalcaba, J. S., A. E. Becerril-Román, V. A. González-Hernández, L. Tijerina-Chávez y T. Vásquez-Rojas. 2005.** Crecimiento vegetativo y floral del crisantemo [*dendranthema x grandiflorum* (Ramat) Kitamura] en respuesta a la presión osmótica de la solución nutritiva. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 2: 241-249.
- García E., A., Kohashi, S., J., Baca, C., G. A., Escalante, E., J. A. S. 2003.** Rendimiento y asignación de materia seca de una variedad de frijol en un sistema hidropónico y suelo. *Terra* 21: 471-480.
- Gastelum-Osorio, D., A., M. Sandoval-Villa, C. Trejo-López, y R. Castro-Brindis. 2013.** Fuerza iónica de la solución nutritiva y densidad de plantación sobre la producción y calidad de frutos de *Physalis peruviana* L. *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19: 197-210.
- Hatfield, J. L., and J. H. Prueger. 2015.** Temperature extremes: Effect on the plant growth and development. *Weather and Climate Extremes* 10: 4-10. DOI: 10.1016/j.wace.2015.08.001.
- Inman, D., R. Khosla, and T. Mayfield. 2005.** On-the-go active remote sensing for efficient crop nitrogen management. *Sensor Review* 25: 209-214.

- Marcelis, L. F. M., E., Heuvelink, L. R. B. Hofman-Eijer, J. D. Bakker and L. B. Xue. 2004.** Flower and fruit abortion in sweet pepper in relation to source and sink strength. *Journal of Experimental Botany* 55: 2261-2268. DOI: 10.1093/jxb/erh245.
- Miranda-Villagómez É., J. A. Carrillo-Salazar, María-de-las-Nieves Rodríguez-Mendoza, M. T. Colinas-León, M. Livera-Muñoz y E. A. Gaytán-Acuña. 2014.** Crecimiento y calidad del tallo floral de *Freesia x hybrida* en hidroponía. *Revista Fitotecnia Mexicana* 37: 31-39.
- Negrão S., SM. Schmöckel and M. Tester. 2016.** Evaluating physiological responses of plants to salinity stress. *Annals of Botany* 119: 1-11. DOI: 10.1093/aob/mcw191.
- Ramírez-Godina, F., V. Robles-Torres, R. Foroughbakhch-Pournabav, A. Benavides-Mendoza, J.L. Hernández-Piñero, M.H. Reyes-Valdés, and M.A. Alvarado-Vázquez. 2013.** Yield and fruit quality evaluation in husk tomato autotetraploids (*Physalis ixocarpa*) and diploids. *Australian Journal of Crop Science* 7: 933-940.
- Sánchez-Díaz M. y J. Aguirreolea. 2008.** El agua en la planta. Movimiento del agua en el sistema suelo-planta-atmosfera *In: J. Azcón-Bieto y M. Talón (eds.). Fundamentos de Fisiología Vegetal.* McGraw-Hill Internacional, Madrid, España. Pp 25-39.
- Schwarz, D., M. W. Van L., K. T. Ingram and H. P. Klaring. 2001.** Nutrient solution concentration effects on growth and photosynthesis of tomato grown hydroponically. *Plant Nutrition* 92: 432- 433. DOI: 10.1007/0-306-47624-X\_209.
- Valentín-Miguel, M. C., R. Castro-Brindis, J. E. Rodríguez-Pérez y M. Pérez-Grajales. 2013.** Extracción de macronutrientes en chile de agua (*Capsicum annuum* L.). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 19: 71-78.
- Valenzuela, L. M., L. Partida R., T. Díaz V., T. de J. Velázquez A. G. Bojórquez y T. Enciso O. 2014.** Respuestas del tomate cultivado en hidroponía con soluciones nutritivas en sustrato humus de lombriz-fibra de coco. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 5: 807-818.
- Wu, M and Ch. Cubata. 2008.** Effects of electrical conductivity of hydroponic nutrient solution on leaf gas exchange of five greenhouse tomato cultivars. *HortiTechnology* 18: 271-277.

## ANEXOS



Fura A 1. Material de tomate silvestre mexicano (*Physalis philadelphica* Lam.), accesión 9b (170 BNGEN) de la Universidad Autónoma Chapingo.

Material depositado en el Herbario-Hortorio "CHAPA" del Posgrado en Botánica del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. No se muestra escala.



Fura A 2. Material de tomate silvestre mexicano (*Physalis philadelphica* Lam.), accesión 17b (48 BNGEN) de la Universidad Autónoma Chapingo.

Material depositado en el Herbario-Hortorio "CHAPA" del Posgrado en Botánica del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. No se muestra escala.

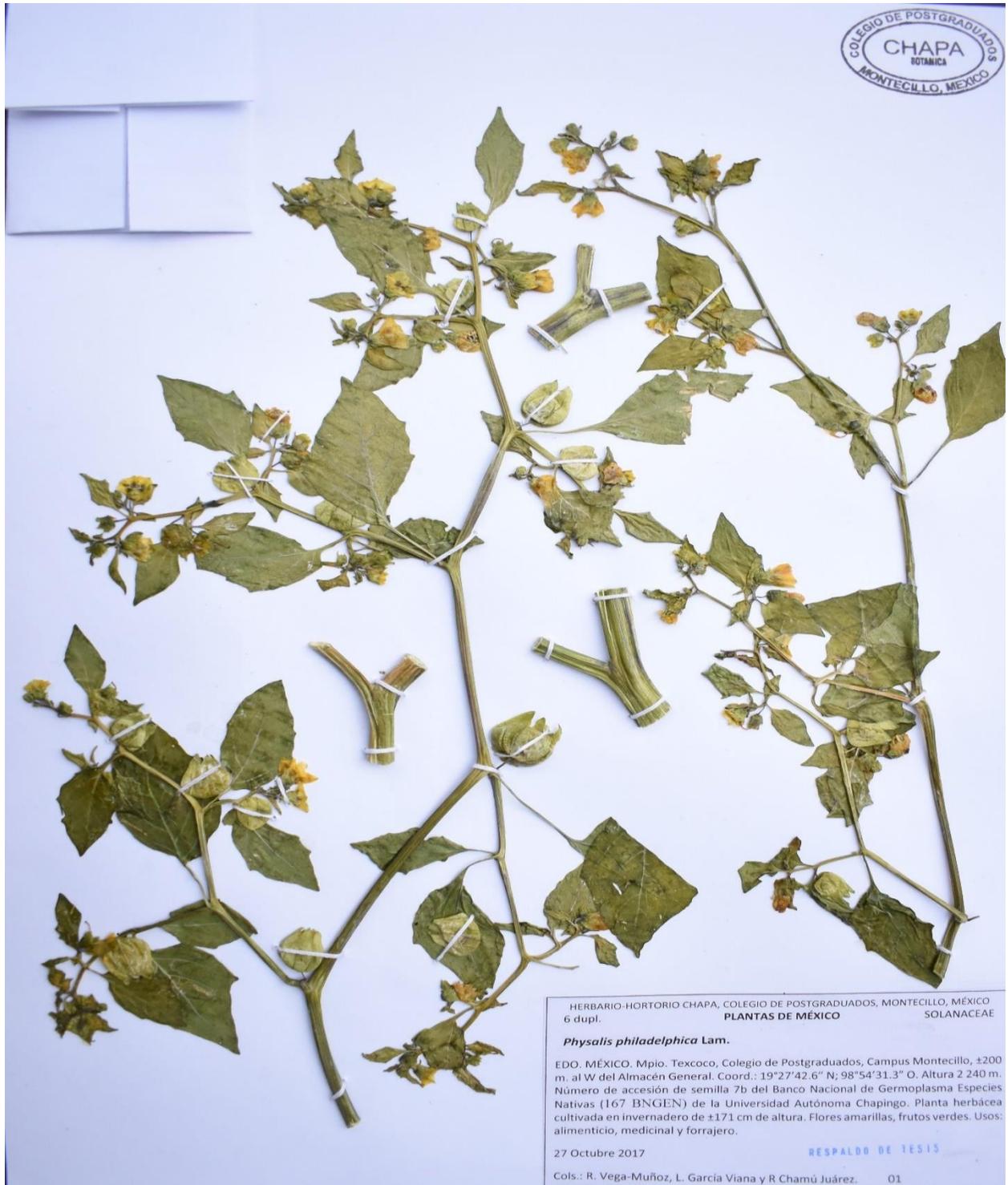


Figura A 3. Material de tomate silvestre mexicano (*Physalis philadelphica* Lam.), accesión 7b (167 BNGEN) de la Universidad Autónoma Chapingo.

Material depositado en el Herbario-Hortorio "CHAPA" del Posgrado en Botánica del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. No se muestra escala.



Fura A 4. Material de tomate silvestre mexicano (*Physalis*), colecta Filadelfia, colectado en la región de la Tierra Caliente Guerrero.

Material depositado en el Herbario-Hortorio "CHAPA" del Posgrado en Botánica del Colegio de Postgraduados, Montecillo, Edo. de México. No se muestra escala.