



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO DE EDAFOLOGÍA

EFFECTO DEL POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA
EN LA PRODUCCIÓN DE LICOPENO EN TOMATE (*Solanum
lycopersicum* L.)

DANIEL GALLEGOS COSSÍO

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

MAESTRO EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

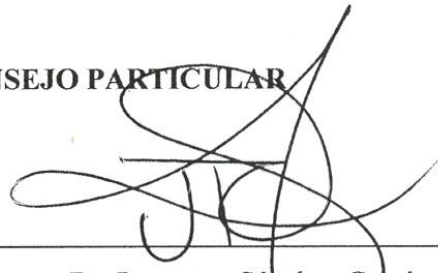
2012

La presente tesis titulada: **EFFECTO DEL POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA PRODUCCIÓN DE LICOPENO EN TOMATE (*Solanum lycopersicum L.*)** realizada por el alumno: **DANIEL GALLEGOS COSSIO**, 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**

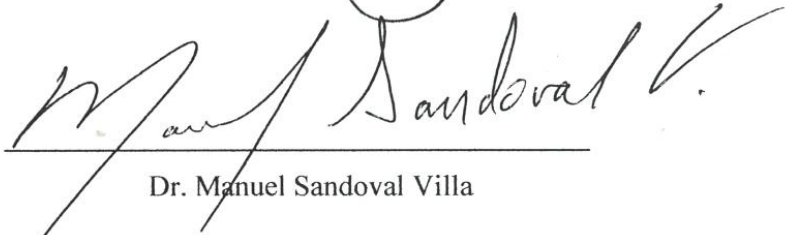
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO:



Dr. Prometeo Sánchez García

ASESOR:



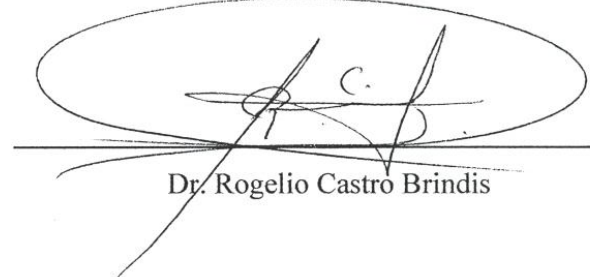
Dr. Manuel Sandoval Villa

ASESOR:



Dr. Aquiles Carballo Carballo

ASESOR:



Dr. Rogelio Castro Brindis

Montecillo, Texcoco, Edo. México, Marzo de 2012

EFFECTO DEL POTENCIAL OSMÓTICO DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA EN LA PRODUCCIÓN DE LICOPENO EN TOMATE (*Solanum lycopersicum L.*)

Daniel Gallegos Cossío, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2012

RESUMEN

Se estudio el efecto del potencial osmótico (Ψ_o) de la solución nutritiva sobre la concentración de licopeno en el fruto de tomate, para lo cual se desarrolló un experimento factorial en condiciones hidropónicas en un sistema abierto. Se estudiaron 4 niveles de (Ψ_o): -0.072, -0.0804, -0.088 y -0.096 MPa, y tres tipos de tomate, saladette, bola y cherry. Se evaluó la concentración de licopeno en el fruto, así como la concentración potasio en hoja y fruto, además del peso de frutos del primer racimo, firmeza del fruto, acidez titulable, sólidos solubles totales y vitamina C.

Los frutos que presentaron la mayor concentración de licopeno fueron aquellos a los que se aplicó la solución nutritiva con Ψ_o de -0.096 MPa.

Palabras clave: *hidroponía, licopeno, potasio.*

OSMOTIC POTENTIAL EFFECT OF NUTRIENT SOLUTION ON THE PRODUCTION OF LYCOPENE ON TOMATO (*Solanum lycopersicum L.*)

Daniel Gallegos Cossío, M. C.

Colegio de Postgraduados, 2012

ABSTRACT

In order to study the effect of the osmotic potential (Ψ_o) of the nutrient solution on concentration of lycopene in tomato fruit; a factorial experiment was developed under hydroponical open system. Four levels of (Ψ_o) were studied: -0.072, -0.0804, -0.088 and -0.096 MPa and 3 types of tomato, saladettee, ball and cherry. The fruit's lycopene concentration was evaluated along with concentration of potassium on the leave and the fruit in addition to the fruit's weight on the first cluster, as well as the firmness of the fruit, tritatable acidity, total soluble solids and vitamin C. The fruits that had the highest concentration of lycopene were those that were supplied with the nutrient solution with Ψ_o of -0.096 MPa.

Key words: *hydroponics, lycopene, potassium.*

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme cumplir esta fase en mi vida académica, por darme salud para ello.

Al pueblo de México, que por medio del Consejo Nacional de Ciencia y tecnología (CONACYT) me proporcionaron los recursos económicos para poder realizar mis estudios de maestría en ciencias.

Al Colegio de Postgraduados, por permitirme realizar en sus instalaciones mis estudios de maestría, así como por los conocimientos adquiridos como también por el aprendizaje a entender las diversas situaciones, y poder generar soluciones.

A la Universidad Autónoma Chapingo, por el apoyo brindado durante la fase analítica.

Al Dr. Prometeo Sánchez García, Dr. Manuel Sandoval Villa, Dr. Aquiles Carballo Carballo, Dr. Rogelio Castro brindis, Por sus orientación en la planeación y conducción del trabajo de investigación y por sus aportaciones durante la revisión del escrito,

Al IBQ. Claudio A. Pérez Mercado, por sus valiosas aportaciones en la fase analítica del experimento.

Al Dr. Roberto Quintero Lizaola, por su apoyo y colaboración en esta etapa.

A los doctores que me formaron académicamente: Prometeo Sánchez García Galvis Espinola, Manuel Sandoval Villa, María

De las Nieves, Libia Trejo Téllez, Antonio Trinidad Santos, Roberto Quintero Lizaola, Aquiles Carballo Carballo, y Rogelio Castro Brindis.

A todo el personal del colegio de postgraduados, laboratoristas administrativos, trabajadores, por las facilidades brindadas, especialmente a la secretaria Laura y Lorena,

A mis amigos y compañeros del colegio de postgraduados, Jorge Gil Valenzuela, Cesar Tuchuc Hass, Rocío Aguilar Ramírez, Ramiro Maldonado, Araceli Gastelum Osorio, Humberto Ramírez Gómez, David Hernández Hernández, Jairo Aron de la Cruz Duran, Dalila Flores González, Ibar Tlatilpa Santa María, Elías Estrada Ortiz, por su apoyo y amistad que me brindaron.

A mi padre: Ing. Manuel Gallegos Cuevas, por apoyarme indirectamente económicamente, haciéndome participe como socio en algunas de sus proyectos, así como el financiamiento de algunos proyectos individuales, como por su apoyo en los momentos difíciles. Siempre es un ejemplo de fortaleza y lucha ante situaciones difíciles en la vida. Para mí siempre será un privilegio ser su hijo.

A mi madre: Elena Guillermina Cosío Pacheco, por el muy significativo apoyo moral, agradezco también sus bendiciones, y sus aportaciones en mi formación como persona, debido a que es un ejemplo de honestidad y rectitud. De igual manera me siento doblemente privilegiado por ser su hijo.

A mis hermanas: Oliva y Alejandra, por su ayuda y apoyo, que también son ejemplo de dedicación y lucha.

A mi abuela Olíva Pacheco, reitero el agradecimiento por su fe, y sus oraciones hacia mí persona, confío en que sus oraciones han contribuido en que yo aun ande por aquí.

A mi esposa Lilia Gabriela Rodríguez Gómez, por su valioso apoyo durante todas las etapas en este proceso, que realmente representan una verdadera lucha y esfuerzo, también agradezco mucho su comprensión.

Al M.C. Ibar Tlatilpa, Humberto Ramírez y Jairo Aron, por su apoyo en la interpretación de los datos.

Reitero el agradecimiento al Dr. Prometeo Sánchez García, por todo el apoyo brindado, y por ser un claro ejemplo de esfuerzo y lucha para salir adelante.

Agradezco a toda la gente que ha confiado en mí, y en algún momento muy a su manera de cada quien he sentido, su apoyo

DEDICATORIAS

Dedico este trabajo:

A mis hijas:

Melina Gallegos S.

y

Dania Gallegos R.

Frase que me gustaría compartir:

Señor... ayúdame a decir la verdad delante de los fuertes y a no decir mentiras para ganarme el aplauso de los débiles

Sí me das fortuna, no me quítes la razón. Sí me das éxito, no me quítes la humildad. Sí me das humildad, no me quítes la dignidad.

Ayúdame siempre a ver la otra cara de la medalla, no me dejes inculpar de traición a los demás por no pensar igual que yo.

No me dejes caer en el orgullo si triunfo, ni en la desesperación si fracaso. Más bien recuérdame que el fracaso es la experiencia que precede al triunfo.

Enséñame que perdonar es un signo de grandeza y que la venganza es una señal de bajeza.

Sí yo ofendiera a la gente, dame valor para disculparme y si la gente me ofende dame valor para perdonar.

¡Señor... sí yo me olvido de ti, nunca te olvides de mí!

Mahatma Gandhi.

CONTENIDO

	Página
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. LA SOLUCIÓN NUTRITIVA	3
2.2. MICRONUTRIMENTOS	3
2.3. CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA	4
2.4. EL PH DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	5
2.5. POTENCIAL OSMÓTICO (Ψ_o) DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA.....	6
2.5.1. Efecto del potencial osmótico en el cultivo del tomate.....	7
2.6. CALIDAD DEL AGUA	8
2.7. EL POTASIO EN LA PLANTA	8
2.8. HIDROPONÍA.....	9
2.8.1. Sistemas hidropónicos.....	10
2.9. LA FIBRA DE COCO COMO SUSTRATO	10
2.10. EL CULTIVO DEL TOMATE	12
2.10.1. Clasificación taxonómica	12
2.10.2. Generalidades del tomate.....	12
2.10.2.1. Planta	12
2.10.2.2. Semilla.....	13
2.10.2.3. Raíz	13
2.10.2.4. Tallo.....	13
2.10.2.5. Hojas	14
2.10.2.6. Flor	14
2.10.2.7. Fruto	14
2.11. CALIDAD DEL TOMATE.....	15
2.11.1. Componentes del fruto de tomate.....	16
2.12. EL LICOPENO	17
2.12.1. Estructura química	17
2.12.2. El licopeno en la salud humana	18
2.12.2.1. El licopeno como antioxidante	20
2.12.2.2. Forma de actuar en el cuerpo humano.....	20
2.12.3. Fuentes de licopeno.....	20
III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS.....	23
3.1. OBJETIVO GENERAL.....	23
3.2. HIPÓTESIS GENERAL.....	23
IV. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
4.1. LOCALIZACIÓN DEL EXPERIMENTO	24
4.2. MATERIAL VEGETAL	24

4.3. PRODUCCIÓN DE PLÁNTULA.....	24
4.4. TRANSPLANTE Y SUSTRATO.....	25
4.5. ESTABLECIMIENTO Y CONDUCCIÓN DEL EXPERIMENTO	25
4.5.1. Diseño experimental	25
4.5.2. Solución Nutritiva.....	26
4.6. MANEJO AGRONÓMICO.....	28
4.6.1. Riego	28
4.6.2. Podas y tutoreo.....	29
4.7. VARIABLES EVALUADAS	29
4.7.1. Concentración de licopeno en el fruto.....	29
4.7.2. Concentración de potasio hoja y fruto.....	29
4.7.4. Altura de la planta.....	29
4.7.5. Sólidos solubles totales	30
4.7.6. Peso de frutos.....	30
4.7.7. Firmeza.....	30
4.7.8. Acidez titulable.....	30
4.7.9. Vitamina C	31
4.8. ANÁLISIS ESTADÍSTICO	31
V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
5.1. CONCENTRACIÓN DE LICOPENO EN EL FRUTO.....	32
5.2. CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN EL FRUTO	33
5.3. CONCENTRACIÓN DE POTASIO EN LA HOJA.....	34
5.4. ALTURA DE LA PLANTA.....	35
5.5. GRADOS BRUX	36
5.6. PESO DEL FRUTO	37
5.7. FIRMEZA	38
5.8. ACIDEZ TITULABLE	39
5.9. VITAMINA C.....	40
VI. CONCLUSIONES	42
VII. BIBLIOGRAFÍA	43

INDICE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Composición química de la solución nutritiva universal Steiner (1984).....	3
Cuadro 2. Concentración de micronutrientes en soluciones nutritivas propuestas por Hoagland y Arnon (1950), Mulder (1948), Silderis et al. (1943) y Addoms (1937).....	4
Cuadro 3. Caracterización física de la fibra de coco. Densidad aparente (Da) y real (Dr), capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de agua (CRA), espacio poroso total (EPT), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua total disponible (ADD) en sustratos de polvo de coco (Vargas et al., 2008).	11
Cuadro 4. Valores orientativos de la composición del fruto de tomate maduro.	17
Cuadro 5. Concentración de licopeno en varios alimentos.	22
Cuadro 6. Tratamientos para el experimento sobre potencial osmótico	26
Cuadro 7. Composición química y potencial osmótico (Ψ_o) de las soluciones nutritivas utilizadas en el estudio.....	27
Cuadro 8. Fuentes de macronutrientes para preparar la solución nutritiva Steiner al 100% tomando en cuenta el aporte del agua.	27
Cuadro 9. Fuentes de micronutrientes utilizados para preparar la solución madre de micronutrientes.	28

INDICE FIGURAS

	Página
Figura 1. Disponibilidad de nutrientes a distintos intervalos de pH. Adaptado de NPFI (1988).	6
Figura. 2. Estructura química del licopeno tomada de Nguyen y Schwartz (1999).....	18
Figura 4. Perfil de los carotenoides presentes en los productos de tomate (Clinton, 1998).	21
Figura 5. Contenido de licopeno en frutos del primer racimo de tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva.	32
Figura 6. Concentración de potasio en el fruto por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva.....	33
Figura 7. Concentración de potasio en el fruto por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva.....	34
Figura 8. Altura de planta por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva..	36

Figura 9. °Brix en frutos de tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva..	37
Figura 10. Peso de frutos del primer racimo en tres tipos de tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva	38
Figura 11. Firmeza de frutos del primer racimo en tres tipos de tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva..	39
Figura 12. Acidez titulable de frutos del primer racimo en tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva.....	40
Figura 13. Vitamina C en frutos del primer racimo de tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva.....	41

I. INTRODUCCIÓN

El tomate o jitomate es originario de la región andina en Sudamérica (Perú, Chile, Ecuador, Colombia y Bolivia) en donde se encuentra la mayor diversidad genética y abundancia de tipos silvestres. Nuez (2001). Es una de las hortalizas más importantes en el mundo. En México el tomate es considerado como la segunda especie por la superficie sembrada y como la primera por su valor de producción. Según Muñoz (2009) es la hortaliza que más se cultiva en sistemas hidropónicos e invernaderos.

El tomate es una planta que se adapta bien a una gran variedad de climas, con la sola excepción de aquellos donde se producen heladas, siendo las temperaturas óptimas de 15 – 18 °C por la noche, de 24 – 25 °C por el día, 21 °C para la floración, 22 – 23 °C para su desarrollo vegetativo y temperaturas por debajo de los 7 °C necesita ayuda artificial de calefacción (Rodríguez *et al.*, 2001).

La creciente demanda de productos hortícolas de alta calidad ha obligado a los agricultores a producir hortalizas en sistemas hidropónicos así como en invernaderos, y es necesario buscar alternativas para mejorar aún más la calidad de sus productos.

En la actualidad se le confiere importancia al valor nutricional del tomate lo que ha despertado el interés por el licopeno, que es un carotenoide, principal pigmento que le confiere la coloración roja al fruto, y por ser el tomate la principal fuente de ingesta de licopeno para el ser humano. Este pigmento también tiene propiedades benéficas para la salud en el ser humano. Diferentes estudios han puesto de manifiesto que el licopeno juega un papel importante, tanto en la prevención de carcinogénesis, como en el bloqueo biomolecular de la aterogénesis (Argawal y Rao, 1998). También previene enfermedades coronarias debido a que posee un efecto hipocolesterolémico Waliszewski y Blasco (2010) , así como también es un potente antioxidante debido que es el carotinoide que presenta la mayor capacidad de secuestrar radicales libres (Dimascio *et al.*, 1989; Miller *et al.*, 1996), y así evitando la

oxidación de la célula. De acuerdo con Waliszewski y Blasco (2010) el licopeno puede estar involucrado en la protección contra otro tipo de enfermedades. Esto se basa en la hipótesis de que el estrés oxidativo es un importante factor etiológico que causa la mayoría de las enfermedades degenerativas.

Buscar alternativas para aumentar la concentración de licopeno en los frutos de tomate mejoraría su calidad visual, siendo el color un parámetro importante de calidad para el consumidor debido a que a mayor concentración de licopeno, más intenso será el color rojo del tomate volviéndolo más atractivo; así mismo mejoraría la calidad nutricional al aumentar la concentración de licopeno por todas las virtudes mencionadas anteriormente de este carotenoide. Por otro lado, el licopeno industrializado podría ser una alternativa de mercado muy atractivo debido al alto costo por miligramo de este pigmento una vez extraído del fruto y encapsulado.

Por lo anterior, el objetivo del presente trabajo consistió en evaluar el efecto de diferentes potenciales osmóticos (Ψ_o) de la solución nutritiva, sobre la concentración de licopeno en tres variedades de tomate, bajo condiciones hidropónicas.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. La solución nutritiva

La solución nutritiva consiste en agua con aire (oxígeno) y los nutrientes esenciales en forma iónica. Algunos compuestos orgánicos como los quelatos de hierro forman parte de la solución nutritiva (Steiner, 1968).

Los iones en disolución de la solución nutritiva guardarán entre sí una relación que está marcada por factores de tipo químico y fisiológicos en función de las necesidades nutritivas de un determinado cultivo (Gómez y Montoya, 2001). Según Urrestarazu (2000), cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una solución nutritiva con características específicas, sin embargo, en forma frecuente se utiliza la solución nutritiva universal de Steiner (1984) y se varía exclusivamente la conductividad eléctrica de la solución nutritiva manteniendo constante el equilibrio iónico. En el Cuadro 1 se muestra la relación mutua de los cationes K^+ , Ca^{2+} , y Mg^{2+} , la relación mutua entre los aniones NO_3^- , $H_2PO_4^-$ y SO_4^{2-} , la concentración de iones (representada por el potencial osmótico) y el pH.

Cuadro 1. Composición química de la solución nutritiva universal Steiner (1984).

K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}	NO_3^-	$H_2PO_4^-$	SO_4^{2-}	Total
-----meq L ⁻¹ -----						
7.080	9.103	4.046	11.888	0.991	6.934	40

2.2. Micronutrientes

Para cubrir la demanda de micronutrientes esenciales de los cultivos, algunos autores proponen la composición indicada en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Concentración de micronutrientos en soluciones nutritivas propuestas por Hoagland y Arnon (1950), Mulder (1948), Sideris *et al.* (1943) y Addoms (1937).

Micronutriente	Hoagland y Arnon (1950)	Mulder (1948)	Sideris <i>et al.</i> (1943)	Addoms (1937)
	----- μM -----			
Hierro	25	93	100	12
Boro	46	4	46	16
Manganeso	9	4.5	9	7
Zinc	0.8	0.9	1.5	-
Cobre	0.3	1	1.6	-
Molibdeno	0.1	0.4	-	-

Steiner (1984) calculó la presión osmótica de la SN multiplicando el total de milimoles L^{-1} por 0.024. La SN universal tiene una concentración total de 30 milimoles L^{-1} . Esto genera una presión osmótica de 0.72 atmósferas (atm.). Cuando no se conocen los milimoles (mM) de iones por litro presentes en una solución la presión osmótica puede ser estimada mediante la conductividad eléctrica (CE) de la solución. La CE es proporcional a la concentración de los electrolitos en solución y se relaciona con la presión osmótica, según la fórmula: $\text{PO} = 0.36 \times \text{CE}$, donde: PO = presión osmótica en atm. Y CE = conductividad eléctrica de la solución en dS m^{-1} (Rhoades, 1993), o bien $\text{CE} \times 0.036$ para expresarse como potencial osmótico (Ψ_o) en MPa (Aguilera y Martínez, 1996).

2.3. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva

La concentración total de solutos en la solución nutritiva se caracteriza por la CE, una propiedad fisicoquímica inherente de las soluciones que mide la facilidad con la que un medio acuoso transmite la electricidad y puede relacionarse directamente con la concentración de sales. Se expresa en deciSiemens por metro (dS m^{-1}), en miliSiemens por centímetro (mS cm^{-1}) o microSiemens por centímetro ($\mu\text{S cm}^{-1}$), a 25 °C.

Dependiendo de la especie, variedad, así como la salinidad del agua, los rendimientos pueden disminuir de 10 a 25 % bajo condiciones salinas. El crecimiento de plantas moderadamente tolerantes a sales, como el tomate, se mantiene como rentable hasta con disminuciones de 20 %. Tomates cultivados con soluciones de agua salina, son más dulces que los obtenidos con agua potable, pues la relación azúcares/ácido parece ser mayor bajo condiciones de salinidad (De Pascale *et al.*, 2003).

2.4. El pH de la solución nutritiva

El pH de una solución es el negativo del logaritmo de base 10, de la concentración molar del ion hidrógeno: $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$. Esta ecuación permite calcular la concentración de iones H^+ a partir del pH, donde $[\text{H}^+] = 10^{-\text{pH}}$. El pH de una solución es una propiedad inherente a su composición química y está determinado por la concentración de ácidos y bases (De Rijck y Scherevens, 1997). Estos mismos autores mencionan que el pH no puede ser cambiado sin alterar la composición química de la solución.

El pH apropiado de una solución para el buen desarrollo de los cultivos es generalmente de 5.5 a 6.5 aun que esto también está en función de la especie.

Uno de los factores que influyen notablemente en la asimilación de nutrientes y por lo tanto en el rendimiento de las plantas es el pH. En hidroponía, al trabajar con sustratos inertes es necesario ajustar y mantener el pH al nivel deseado (Sánchez y Escalante, 1988). El pH ácido disminuye la absorción de cationes y estimulan la absorción de aniones, fundamentalmente porque el H^+ , compite con los cationes por los lugares de absorción. Esta situación se invierte a pH elevados, en los que OH^- y HCO_3^- compiten con los aniones como NO_3^- , Cl^- o H_2PO_4^- , por sus sitios específicos de absorción. En cualquier caso deben evitarse valores de pH en la solución nutritiva inferiores a 5 (a pH 4 se dañaría la raíz de la mayoría de los cultivos) y superiores a 6.5, con lo que bajaría drásticamente la disponibilidad de algunos micronutrientes.

De acuerdo con Papadopoulos, (1991) y Maldonado y Álvarez (2002) la plantas absorben en forma óptima los micronutrientes a través de la raíz en un rango de pH de 5 a 7 (Figura 1), y los macronutrientes están más

disponibles a pH cercanos a la alcalinidad, por lo que las soluciones nutritivas deben ser mantenidas dentro de un rango que oscila generalmente de 5.5 a 6.5.

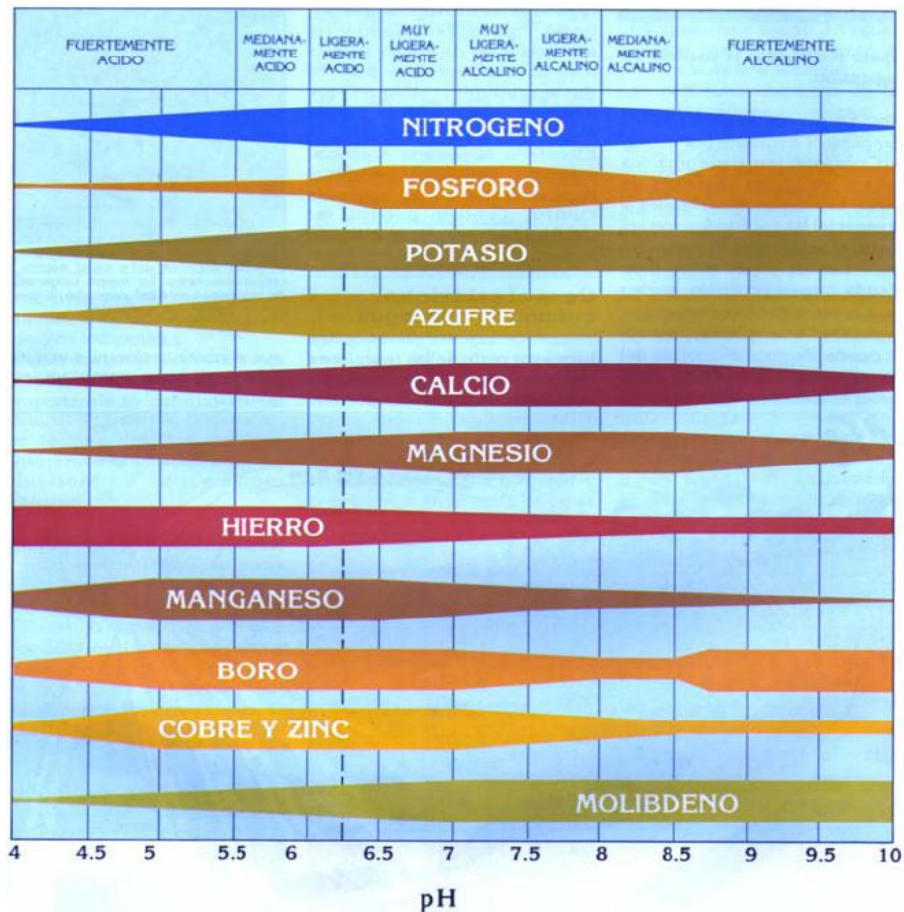


Figura 1. Disponibilidad de nutrimentos a distintos intervalos de pH. Adaptado de NPFI (1988).

2.5. Potencial osmótico (Ψ_o) de la solución nutritiva

El potencial osmótico (Ψ_o) es una propiedad físico-química de las soluciones, el cual depende de la cantidad de partículas o solutos disueltos (Segal, 1989). La importancia que representa el Ψ_o en una solución nutritiva es que al disminuir éste, por el incremento en la concentración de nutrimentos o de otros iones, la planta debe de efectuar un mayor esfuerzo para absorber agua y algunos nutrimentos (Asher y Eduards, 1983; Ehert y Ho, 1986a; Marschner, 1995). Es decir, tiene que invertir mayor cantidad de energía para llevar a cabo

este proceso fisiológico. Ese desgaste de energía puede ser en detrimento de energía metabólica. El conjunto de estos fenómenos puede ser reflejado en una disminución del crecimiento o del desarrollo de la planta.

El Ψ_o de la solución nutritiva influye en la composición química de las plantas; por ejemplo, al disminuir el Ψ_o aumenta la concentración de K^+ en las plantas a expensas principalmente del Ca^{2+} , además se incrementa la concentración de P en la planta y en menor medida, la de NO_3^- , ambos a costa de los SO_4^{2-} . Este comportamiento se presenta independientemente de la etapa de desarrollo (Steiner, 1973). Por el contrario, aplicar menor cantidad de nutrimentos en la solución nutritiva de la que necesita la planta, puede inducir deficiencias nutrimentales (Ehert y Ho, 1986b).

Con base en los conceptos termodinámicos, el Ψ_o es un componente del potencial hídrico (Ψ) de una solución. El Ψ es el potencial químico del agua en un sistema o parte de un sistema, expresado en unidades de presión, comparado con el potencial químico (mismas unidades) del agua pura a la presión atmosférica y a la misma temperatura.

Por convención se define al Ψ_o como el negativo de la presión osmótica y puede expresarse en términos de presión (MPa = mega Pascal). El valor del Ψ_o es cero en el agua pura, por lo que en soluciones nutritivas siempre es negativo, ya que al añadir solutos al agua siempre disminuye éste (Salisbury y Ross, 1992).

2.5.1. Efecto del potencial osmótico en el cultivo del tomate

La salinidad produce diferentes efectos sobre las distintas especies vegetales. En general, provoca disminución del tamaño de la planta, la cual adopta formas achaparradas, una disminución en la producción de frutos y semillas o incluso puede morir, cuando se superan los límites de tolerancia (Hasegawa *et al.*, 2000). De acuerdo con Cuartero y Fernández-Muñoz (1999) al modificar la CE de la solución nutritiva se tiene un impacto significativo en el crecimiento y rendimiento del cultivo.

Graves y Hurd (1983) obtuvieron, a costa de una disminución en el rendimiento de tomate por efecto del decremento en el Ψ_o , mejor calidad, firmeza y contenido de materia seca en los frutos; mientras que Lara (1998) establece en la variedad de jitomate Humaya un incremento de materia seca de plántula de 12.7% al reducir el PO de -0.073 a -0.097 MPa.

El incremento de la CE arriba del umbral de tolerancia a la salinidad ha mostrado resultados positivos en algunos parámetros de calidad del fruto, como el color y el sabor así como un incremento en las concentraciones de azúcares y ácidos; sin embargo, pueden presentarse reducciones en el rendimiento, por los que es indispensable considerar el mercado al cual será destinado el tomate para realizar un balance entre calidad y rendimiento (Sonneveld y Voogt, 2009).

El Ψ_o de una solución nutritiva, apropiado para el cultivo de tomate está directamente relacionado con los niveles de humedad relativa, temperatura, luz y fotoperiodo de un determinado lugar. Según Steiner (1973) las plantas toleran un menor Ψ_o en invierno que en verano, sin que la planta disminuya su crecimiento y desarrollo. Steiner (1961) recomendó para el cultivo de jitomate en primavera verano un Ψ_o de la solución nutritiva de -0.073 MPa.

2.6. Calidad del agua

La calidad del agua es de vital importancia para el desarrollo de los cultivos, es necesario conocerla mediante un análisis químico para la formulación de soluciones nutritivas. Steiner (1984) mencionan que es necesario ajustar la fórmula de fertilización de acuerdo a la composición química del agua.

2.7. El potasio en la planta

El papel del K en la planta es variado, aún no se conocen bien ciertos aspectos del mismo. Si se sabe que no desempeña una función específica, y que a diferencia de otros elementos, como N, P o S, no entra en la constitución de los principios esenciales (prótidos, lípidos y glúcidos). Debido a su gran movilidad, actúa en la planta básicamente, neutralizando los ácidos orgánicos resultantes

de metabolismo y asegura así la constancia de la concentración de H^+ de los jugos celulares. También desempeña una importante función en la fotosíntesis, en la economía hídrica de la planta y muy especialmente como activador enzimático (Navarro y Navarro, 2003). Una parte considerable del K total en la planta se presenta como ion libre a nivel de vacuolas y citoplasma, el cual, en conjunto con los demás productos en solución genera un presión osmótica, lo que propicia que los vasos, debido al gradiente osmótico, penetre en la célula y origine así el turgor en ella, siendo esta una de las principales funciones del K en la planta. Es evidente que una disminución rápida de la presión de turgor en las plantas abastecidas deficientemente con K, influenciará de forma negativa el metabolismo general de la planta y con ello, el rendimiento del cultivo. Aunque el K no es el único ión responsable de la presión osmótica en la célula, este elemento contribuye de manera significativa (Alcántar y Trejo, 2007).

2.8. Hidroponía

El desarrollo de la hidroponía dio inicio desde el momento en que se llevaron a cabo los primeros estudios en fisiología vegetal y específicamente de la nutrición vegetal (Alcántar y Trejo, 2007).

Los cultivos hidropónicos o hidroponía pueden ser definidos como la técnica del crecimiento de las plantas sin utilizar el suelo, aunque usando un medio inerte como la grava, arena, turba, vermiculita, pumita o aserrín, a los cuales se añade una solución de nutrientes que contiene todos los elementos esenciales por la planta para su normal crecimiento y desarrollo, aunque por definición, el verdadero cultivo hidropónico sería en cultivo solamente en solución (Resh, 2006).

La hidroponía es parte de los sistemas de producción llamados cultivos sin suelo. En estos sistemas el medio de crecimiento o soporte de la planta está constituido por sustancias de diverso origen, orgánico o inorgánico, inertes o no inertes, es decir, con tasa variable de aportes a la nutrición mineral de las plantas (Burés, 1997). Lara (1999) define a la hidroponía como una tecnología para desarrollar plantas en solución nutritiva (agua y fertilizantes), con o sin el

uso de un medio artificial (arena, grava, vermiculita, lana de roca, etc.) para proveer soporte mecánico a la planta.

El sistema hidropónico líquido no tiene un medio de soporte; los sistemas en agregado tienen un medio sólido de soporte. Los sistemas hidropónicos han sido clasificados como abierto (una vez que la solución nutritiva es aplicada a las raíces de las plantas, esta no es reusada) o cerrado (la solución nutritiva es recuperada, regenerada y reciclada) (Jensen y Collins, 1985).

2.8.1. Sistemas hidropónicos

En los cultivos hidropónicos se encuentra un factor común, el uso de una solución nutritiva, sin embargo, se pueden dividir en dos grandes grupos (Durany, 1982):

- a) Cultivos en medio exclusivamente líquido. En este sistema se sumerge la raíz de la planta directamente en la solución nutritiva, sin la existencia de un sustrato sólido. Las plantas son sostenidas de diversas formas, por tutorado para el caso de las plantas de porte alto (jitomate, pepino, melón, etc.) o son colocadas sobre placas de algún material no reaccionante que sea capaz de sostener su peso sobre la superficie acuosa, en el caso de las plantas de porte pequeño (lechuga).
- b) Cultivos sobre sustratos sólidos. En este caso, se utiliza algún material sólido, inerte y poroso, donde la planta está anclada directamente y recibe la solución nutritiva a través de un sistema de suministro que puede ser de arriba hacia abajo (goteo o microaspersión) o de abajo hacia arriba (subirrigación).

2.9. La fibra de coco como sustrato

Un sustrato que cada vez es más popular es la fibra de coco. Son cáscaras de coco trituradas con un molino de martillo hasta que tengan el tamaño de un grano de café. A los cocos no se le quitan las fibras, de forma que éstas aumentan su porosidad y proporcionan mejor aireación que la turba (Resh 2006); según Urrestarazu (2000) esta fibra tiene capacidad de retención de agua de hasta 3 o 4 veces su peso, su pH es ligeramente ácido (6.3-6.5) con una densidad aparente de 200 kg m^{-3} , se recomienda lavarla mediante

inmersión en agua antes de su uso ya que contiene iones sodio y cloro en concentraciones considerables que ocasionan daño a plántulas y transplantes. Ya que el principal problema de este material de acuerdo con (Evans *et al.*, 1996; Abad *et al.*, 2002) es la salinidad y heterogeneidad atribuidas al proceso de molienda o desfibrado de la cascara y al origen de esta.

Este material presenta las siguientes características físicas: 0.09 g cm⁻³ de Densidad aparente, 29.7 % de porosidad de aire, 65.8 % de porosidad de humedad y 93.8 % de porosidad total (Vargas, 2007).

La fibra de coco es un material que a nivel mundial ha llamado la atención, ya que algunos autores la consideran como un sustituto posible de la turba. Dentro de los principales países productores de fibra de coco se encuentran: Sri Lanka, India, Filipinas, Indonesia, México, Costa Rica y Guyana (Konduru *et al.*, 1999). En el Cuadro 3 se muestran las características físicas de 7 materiales comerciales.

Cuadro 3. Caracterización física de la fibra de coco. Densidad aparente (Da) y real (Dr), capacidad de aireación (CA), capacidad de retención de agua (CRA), espacio poroso total (EPT), agua fácilmente disponible (AFD), agua de reserva (AR), agua total disponible (ADD) en sustratos de polvo de coco (Vargas *et al.*, 2008).

Materiales	Da	Dr	CA	CRA	EPT	AFD	AR	ATD	ADD
	-----g cm ⁻³ -----		-----% en volumen-----						
A	0.085	1.483	31.9	64.5	94.3	29.7	10.0	39.7	23.0
B	0.075	1.480	52.6	49.5	94.9	17.8	5.6	23.4	15.8
C	0.107	1.480	33.1	61.6	92.8	31.2	5.3	36.5	23.2
D	0.095	1.488	22.7	71.1	93.6	21.2	13.5	34.7	36.9
E	0.117	1.490	12.3	81.2	92.2	24.1	13.3	37.5	41.8
F	0.087	1.495	18.3	75.1	94.1	34.6	5.8	40.3	35.1
G	0.075	1.483	37.7	58.2	94.9	18.0	3.3	21.3	35.9
DMS	0.01	0.009	3.7	4.2	0.4	4.6	1.1	5.2	2.9
Óptimo ^{††}	< 0.4	1.4-2.6	10-30	55-70	>85	20.30	4-10	24-40	-

Los datos son el promedio de siete submuestras mensuales. A, B, C, D y E: provenientes de Colima, Mex., F y G: de Sri Lanka, ^{††}Óptimo Valores óptimos, según Abad *et al.*, (1993).

2.10. El cultivo del tomate

2.10.1. Clasificación taxonómica

Botánicamente el tomate fue descrito por primera vez en 1753 por Linneo, como *Solanum lycopersicum* L., pero sería Miller, en 1768, quien le designaría la denominación *Lycopersicon esculentum*, vigente casi hasta nuestros días. En la actualidad la nomenclatura botánica aceptada es *Solanum lycopersicum* L. (Fernández-Ruiz *et al.*, 2007).

El tomate es una planta perteneciente a la familia de las solanáceas. Es una planta perenne, y por ser muy sensible a las heladas se determina su ciclo anual, de distinta duración según la variedad (Chamarro, 1995; Rodríguez *et al.*, 2001).

La nueva nomenclatura del tomate propuesta por el Sistema de Información Taxonómica Internacional (del inglés ITIS), una asociación internacional conformada por Estados Unidos de América, Canadá y México. En México esta propuesta ha sido avalada por la Comisión Nacional para el conocimiento y uso de Biodiversidad (CONABIO) (San Martín, 2011).

2.10.2. Generalidades del tomate

2.10.2.1. Planta

El tallo principal forma de 6 a 12 hojas, que crecen lateralmente con una filotaxia de 2/5. El crecimiento subsiguiente se da a partir de la yema axilar de la última hoja, desarrollando un tallo secundario, que crece como una prolongación del tallo primario desplazando lateralmente la inflorescencia. El aspecto es de un tallo principal, que crece de forma continua con inflorescencias internodales laterales cada 3 hojas, si este proceso se repite indefinidamente los cultivares se denominan indeterminados, son muy adecuados para los invernaderos. Los cultivares determinados tienen un crecimiento limitado que puede extenderse unos 2 m. Los segmentos sucesivos del eje principal soportan, de forma progresiva, un número inferior de hojas terminando en una inflorescencia (Nuez, 2001)

2.10.2.2. Semilla

La semilla del tomate es de forma lenticular con dimensiones aproximadas de 5 x 4 x 2 mm y está constituida por el embrión, el endospermo y la testa o cubierta seminal. El embrión lo forma una yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y la radícula. La testa o cubierta seminal es de un tejido duro e impermeable (Castellanos, 2009).

2.10.2.3. Raíz

El sistema radical del jitomate consta de una raíz principal típica de origen seminal que puede alcanzar hasta 60 cm de profundidad; y numerosas raíces secundarias y terciarias; la raíz principal. Sin embargo, cuando la planta se propaga mediante transplante, como sucede generalmente, la raíz principal se ve parcialmente detenida en su crecimiento y en consecuencia, se favorece el crecimiento de raíces secundarias laterales, las que principalmente se desenvuelven entre los 5 y 70 cm. de la capa del suelo. Las porciones de tallo y en particular, la basal, bajo condiciones adecuadas de humedad y textura del suelo, tienden a formar raíces adventicias (Garza, 1985).

2.10.2.4. Tallo

El tallo presenta ramificación dicotómica, epigeo, erguido con 0.4 a 2 m de altura, cilíndrico cuando joven y posteriormente anguloso, de consistencia herbácea a algo leñosa, con pubescencias, con duración anual. La ramificación del tallo principal da lugar a dos grupos: determinado e indeterminado; el primero termina sus ramificaciones en inflorescencia, limitándose en el crecimiento vertical; en el segundo también se forman racimos en la última hoja; sin embargo, se forma una nueva rama y en consecuencia, el crecimiento vertical no se limita desde un punto de vista de la morfología de la planta (Garza, 1985).

2.10.2.5. Hojas

Las hojas son compuestas, insertadas sobre los diversos nudos y alternadas. El limbo se encuentra fraccionado en siete, nueve y hasta once folíolos, están provistas de glándulas secretoras de una sustancia aromática (Rodríguez *et.al.*, 2001).

Los bordes de las hojas son dentados, presenta un haz de color verde y el envés de color grisáceo. La disposición de nervaduras en los folíolos es penninervia (Garza, 1985).

2.10.2.6. Flor

La flor forma inflorescencias que pueden ser de cuatro tipos: racimo simple, cima unípara, cima bípara y cima múltipara; pudiendo llegar hasta 50 flores por inflorescencia.

La flor se conforma por un pedúnculo corto, el cáliz es gamosépalo, y la corola gamopétala. El androceo tiene cinco o más estambres adheridos a la corola, con las anteras que forman un tubo. El gineceo presenta de dos a treinta carpelos que al desarrollarse darán lugar a los lóculos o celdas del fruto aromática (Rodríguez *et al.*, 2001).

2.10.2.7. Fruto

El fruto es una baya que puede tener un color amarillo, rosado o rojo debido a la presencia de licopeno y caroteno, en distintas y variables proporciones. Su forma puede ser redonda, achatada, o en forma de pera y su superficie lisa o asurcada, con tamaños variables según la variedad. En sección transversal se aprecian en éste la piel, la pulpa firme, el tejido placentario y la pulpa gelatinosa que envuelve a las semillas (Rodríguez *et al.*, 2001). El fruto está unido a la planta por un pedicelo con un engrosamiento articulado que contiene la capa de abscisión. Por lo que la separación del fruto en la cosecha puede realizarse por la zona de abscisión o por la zona peduncular de unión del fruto. En las variedades industriales la presencia de parte del pedicelo es indeseable, por lo

que son preferibles los cultivares que se separan fácilmente por la zona peduncular (Nuez, 2001). Según este mismo autor la estructura del fruto adulto básicamente está constituida por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas.

2.11. Calidad del tomate

Buldoin (1999) menciona que un parámetro importante que influye en la aceptación del consumidor a nivel local e internacional. El concepto calidad involucra una serie de criterios relacionados con diferentes aspectos físicos, nutricionales, químicos y biológicos, que los productores deben considerar para seguir estrategias que les permita competir con sus productos en el mercado. Asimismo divide estas estrategias en tres componentes:

- 1) Conocer los criterios de calidad, de acuerdo a las guías nacionales e internacionales existentes.
- 2) La aplicación de tecnologías de producción, en conformidad con un manejo integrado de producción y protección al ambiente.
- 3) La implementación de una estrategia de mercado con productos, certificando el origen, la calidad y la seguridad.

Según Watada (1995) la calidad de las hortalizas puede ser determinada objetivamente con la medición de componentes físicos o químicos. Propiedades como textura, firmeza, sabor, olor y calidad nutricional pueden estimarse mediante resonancia magnética, nuclear y la cromatografía de gases; sin embargo, la calidad de las hortalizas generalmente se basa en la composición química o en características físicas o en una combinación de ambas, siendo de interés para el consumidor los atributos siguientes: apariencia visual, textura, firmeza, valor nutricional y seguridad alimentaria.

La calidad y cantidad de producción de tomate en un sustrato inerte dependen de la variedad, agua, nutrición, sanidad, clima y manejo técnico. En el cultivar Recento, con densidad de 2.2 plantas m^{-2} , en lana de roca (Grodan[®]) la producción total comercializable fue de 14.9 kg planta⁻¹ (33 kg m^{-2} , en 130 días, 7 racimos) y peso promedio del fruto de 170 g (Pivot *et al.*, 1998)

Uno de los factores atractivos para el consumidor es la apariencia visual, el carotenoide encargado de la coloración roja del tomate es licopeno, el cual si se encuentra en las cantidades adecuadas puede generar un color rojo intenso en el fruto y mejorar su calidad (Anguelova y Warthesen, 2000). La autooxidación del *all-trans* licopeno y los *cis* isómeros ocurren paralelamente a la isomerización *tran-cis*, causando una división de la molécula de licopeno en fragmentos más pequeños tales como aldehídos y cetonas volátiles desarrollando sabores. En productos procesados de tomate la isomerización y autooxidación causan una disminución del contenido de licopeno, una reducción en la proporción de licopeno *all-trans*, pérdida de color y la formación de sabores desagradables (Anguelova y Warthesen, 2000).

2.11.1. Componentes del fruto de tomate

Los tomates principalmente están compuestos por agua (93.5 %) pero también son una fuente importante de vitaminas y minerales. Son ricos en vitaminas A, C, E y folato (una vitamina B), Fe y K. Compuestos adicionales de interés, desde el punto de vista de la salud humana, incluyen licopeno, flavonoides y fitoesteroides. El licopeno ha recibido particular interés debido a sus propiedades antioxidantes, y por estas propiedades puede estar involucrado en el crecimiento celular y en la regulación de la comunicación célula a célula (Barrett y Anton, 2001). En el Cuadro 4 se muestran algunos valores orientativos de los componentes de mayor interés del tomate (Nuez, 2001).

Cuadro 4. Valores orientativos de la composición del fruto de tomate maduro.

Componente	Peso tomate fresco (%)
Materia seca	6.50
Carbohidratos totales	4.70
Grasas	0.15
N protéico	0.40
Azúcares reductores	3.00
Sacarosa	0.10
Sólidos solubles totales (°Brix)	4.50
Ácido málico	0.10
Ácido cítrico	0.20
Fibra	0.50
Vitamina C	0.02
Potasio	0.25

Fuente: (Nuez, 2001).

2.12. El licopeno

El licopeno es un carotenoide, también es el principal pigmento responsable de la característica coloración roja del tomate y sus productos derivados, y este es sintetizado por plantas. Una de las funciones del licopeno y otros compuestos relacionados con los carotenoides es la de absorber la luz durante la fotosíntesis, protegiendo a la planta contra la fotodegradación o fotosaturación (Rao y Agarwal, 1999).

2.12.1. Estructura química

La estructura química de los carotinoides es un factor determinante de sus propiedades físicas, reactividad química y de sus funciones biológicas (Britton, 1995).

La fórmula molecular del licopeno ($C_{40}H_{56}$, PM = 536.88) (Figura 2) fue determinada por primera vez en 1910 por Willstatter y Escher, los cuales presentaron el licopeno como un isómero de los carotenos. Estudios realizados posteriormente describieron la estructura química general del mismo, como un compuesto hidrocarbonado alifático, soluble en grasas y en lípidos (Wilberg y Rodriguez, 1995).

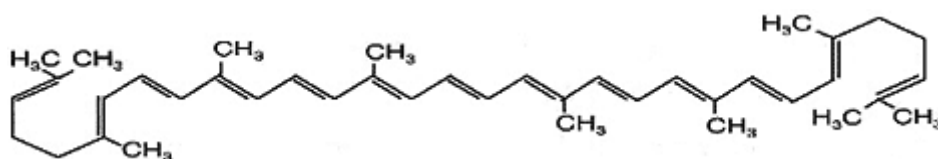


Figura. 2. Estructura química del licopeno tomada de Nguyen y Schwartz (1999).

2.12.2. El licopeno en la salud humana

La importancia de los carotenoides en nutrición y salud humana se ha centrado principalmente en aquellos que poseen actividad vitamina A, como son α -caroteno y β -caroteno (Figura 3). En la actualidad, otros carotenoides están despertando un interés nutricional como sustancias fitoquímicas. Entre estos carotenoides con un efecto benéfico para la salud en función de sus propiedades biológicas se encuentra el licopeno, su actividad está implicada con importantes efectos en la salud y nutrición humana (Nguyen y Schwartz, 1999).

De acuerdo con Vasconcellos (2000) los α , β , y ϵ carotenos, que poseen actividad como vitamina A, conjuntamente con el γ -caroteno, el licopeno y la luteína, parecen ofrecer protección contra el cáncer de los pulmones, colorectal, de las glándulas mamarias, del útero y de la próstata. Levy *et al.* (1995) investigaron las propiedades de antiproliferación del licopeno en comparación con α - y β -caroteno, empleando células cancerosas del endometrio, glándula mamaria y de pulmón y sus resultados muestran que el licopeno inhibió el crecimiento de las células cancerosas en endometrio, mama y pulmón, y que el α - y β -caroteno fueron menos efectivos como inhibidores de

crecimiento de cáncer que el licopeno. Además de este efecto inhibitorio sobre las células cancerosas de endometrio, el licopeno también suprimió el factor de crecimiento de tipo insulina-I. Los factores de crecimiento tipo insulina son los mayores reguladores autocrinos/paracrinos del crecimiento de células cancerosas en endometrio y de mama; en consecuencia, comprender el rol del licopeno al interferir en este mayor sistema autocrino/paracrino puede contribuir al entendimiento del mecanismo por el cual el licopeno inhibe el cáncer endometrial y otros tipos de tumores.

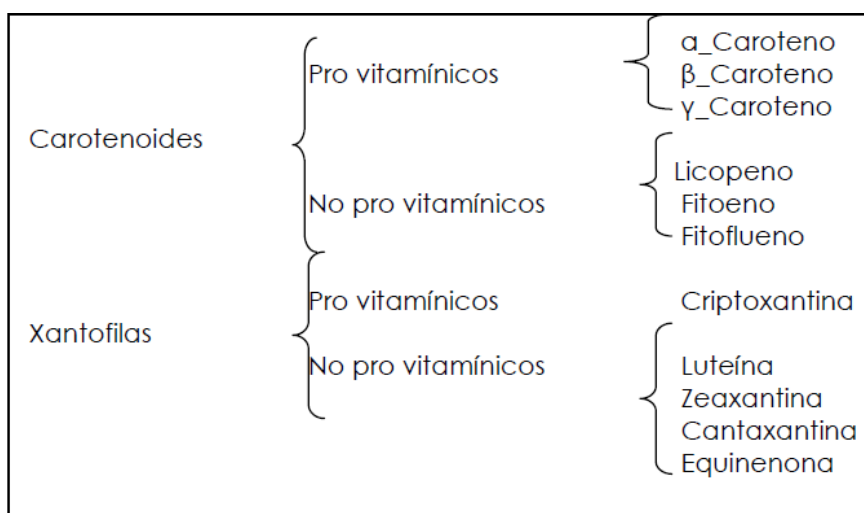


Figura 3. Clasificación de carotenoides (Gross, 1987).

Los carotenos tienen un efecto favorable para el sistema inmunológico y protegen la piel contra la radiación ultravioleta. Según Biesalski y Obermueller-Jevic (2001) el licopeno juega un papel importante tanto en la prevención de la carcinogénesis como en el bloqueo biomolecular de la aterogénesis. En un estudio *in vivo* con 19 sujetos sanos sometidos a una dieta rica en licopeno a base de productos procesados de tomate, se ha observado que, tras una semana de ingesta de estos productos, se redujo significativamente la peroxidación de los lípidos plasmáticos y la oxidación de las LDL, hecho que puede tener relevancia para reducir el riesgo de enfermedades coronarias (Argawal y Rao, 1998), en virtud de que el licopeno juega un papel importante como antioxidante.

Anguelova y Warthesen (2000) compararon la estabilidad y efectividad antioxidante del licopeno, α-caroteno y β-caroteno durante la oxidación de

metil linoleato a 37 y 60° C. A 37° C; las velocidades de degradación fueron mayores para licopeno que para el β -caroteno, y éstas mayores que las de α -caroteno. El licopeno y el α -caroteno inhibieron la formación de hidroperóxido, siendo el licopeno el antioxidante más efectivo.

2.12.2.1. El licopeno como antioxidante

La mayoría de los trabajos demuestran el efecto protector del licopeno, aunque casi todos se han enfocado a la prevención de las enfermedades crónicas y cáncer, principalmente de próstata; sin embargo, el licopeno puede estar involucrado en la protección contra otro tipo de enfermedades. Esto se basa en la hipótesis de que el estrés oxidativo es un importante factor etiológico que causa la mayoría de las enfermedades degenerativas (Waliszewski y Blasco, 2010).

El principal mecanismo por el cual los carotenoides actúan como antioxidantes se debe a la capacidad de secuestrar especies activas de oxígeno, destacando entre todos ellos el licopeno por ser el que presenta una mayor capacidad de secuestrar radicales libres (Di Mascio *et al.*, 1989; Miller *et al.*, 1996).

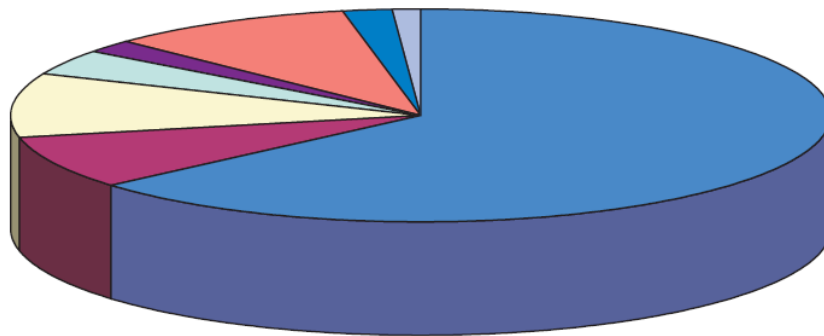
2.12.2.2. Forma de actuar en el cuerpo humano

La distribución del licopeno ocurre de la siguiente manera: una vez consumido, este es incorporado dentro de las micelas de los lípidos dietarios y absorbido en la mucosa intestinal por difusión pasiva, donde es incorporado a los quilomicrones y es liberado al sistema linfático para ser transportado al hígado. El licopeno es transportado por las lipoproteínas dentro del plasma para la distribución a diferentes órganos (Parker, 1996).

2.12.3. Fuentes de licopeno

El tomate y sus derivados son la principal fuente de licopeno para el hombre. Se consume fresco y procesado, por ejemplo en polvo, que se utiliza en sopas instantáneas, salsas, aderezos, botanas, dips y sazonadores, entre otros (Candellas-Cadillo *et al.*, 2005). El contenido de carotenoides (Figura 4) y específicamente licopeno, en los tomates varía significativamente en función

de muchos factores como son las distintas variedades, condiciones estacionales, grado de madurez, procesado, entre otros (Periago *et al.*, 2001). Heinonen *et al.* (1989) reportaron que la concentración de licopeno en tomates es mayor en verano (junio-agosto) y menor en invierno (octubre-marzo). Así como Lampe y Watada (1971) indicaron que el contenido de licopeno puede variar de acuerdo con las técnicas de fertilización de la planta. Otras fuentes de licopeno (Cuadro 5) son la sandía, la guayaba rosa, la papaya y la toronja, entre otras (Mangels *et al.*, 1993).



■ Licopeno(60-64%), ■ Neurosporeno (7-9%), ■ Fitoeno (10-12%),
■ Fitoflueno(4-5%), ■ b-caroteno (1-2%), ■ y-caroteno (10-11%),
■ d-caroteno (1-2%), ■ Luteina (1%)

Figura 4. Perfil de los carotenoides presentes en los productos de tomate (Clinton, 1998).

Cuadro 5. Concentración de licopeno en varios alimentos.

Fuente	Licopeno (mg/100g base fresca)
Tomate, fresco	0.72 - 20
Jugo de tomate	5.00 – 11.60
Salsa de tomate	6.20
Pasta de tomate	365
Sopa de tomate	7.99
Salsa cátsup	9.90 – 13.44
Salsa para pizza	12.71
Sandía	2.3 – 7.2
Guayaba rosa	5.23 – 5.50
Toronja	0.35 – 3.36
Papaya	0.11 – 5.3
Zanahoria	0.65 – 0.78
Calabaza	0.38 – 0.46

Fuente: Rao *et al.* (2006).

III. OBJETIVOS E HIPÓTESIS

3.1. Objetivo General

Determinar el nivel óptimo de potencial osmótico de la solución nutritiva que permita incrementar la concentración de licopeno en el fruto del tomate.

3.2. Hipótesis General

El potencial osmótico óptimo para incrementar la concentración de licopeno en el fruto, sin interferir significativamente en el rendimiento, es de -0.096 MPa.

Objetivos Específicos

1. Determinar el efecto de las soluciones nutritivas con diferente potencial osmótico sobre la concentración de licopeno en tomates de diferente tipo (saladettee, bola y cherry).
2. Cuantificar el efecto de soluciones nutritivas con diferente potencial osmótico sobre la concentración de potasio en fruto y hojas, vitamina C y sólidos solubles totales en tomates de diferente tipo (saladettee, bola y cherry)

Hipótesis Específicas

1. El potencial osmótico de la solución nutritiva de -0.096 MPa incrementa la concentración de licopeno en todos los tipos de tomate.
2. La concentración de potasio, vitamina C y sólidos solubles totales en frutos de tomate es mayor con un potencial osmótico de la solución nutritiva igual a -0.096 MPa.

IV. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Localización del Experimento

El trabajo experimental se realizó en un invernadero tipo túnel ubicado en la comunidad de Los Charcos, municipio de Tanhuato, Michoacán que se localiza al noroeste de estado, en las coordenadas 20°00' de longitud oeste a una altitud de 1530. Limita al norte con el estado de Jalisco, al este con Yurécuaro, al sur con Ecuandureo e Ixtlán y a al oeste con Vista Hermosa. La fase analítica se realizó en el laboratorio de nutrición de frutales del Departamento de Fitotecnia, de la Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, Estado de México.

4.2. Material Vegetal

El tomate utilizado fue tipo saladette cv. Rafaello, tomate tipo cherry cv. Camelia, y tomate tipo bola cv. 3463. Cabe mencionar que este último material se encuentra en fase de experimentación, es decir, aún no es posible adquirirlo a nivel comercial. Los tres materiales tienen un hábito de crecimiento indeterminado.

4.3. Producción de Plántula

La germinación de plántula se efectuó en charolas de unicel de 288 cavidades y como sustrato se empleo turba canadiense (peat moss sunshine[®]). Después de la siembra, las charolas se cubrieron con un plástico negro, para acelerar su germinación. Al iniciar la germinación (4 días después de la siembra), éstas se destaparon y extendieron dentro de un invernadero tipo túnel. Los riegos se adicionaron en función de la demanda de las plántulas, que a su vez, estuvieron en función de las condiciones de temperatura, radiación y humedad ambiental. A la aparición de las primeras hojas verdaderas se aplicó la solución nutritiva universal de Steiner al 25% con un potencial osmótico de -0.018 MPa.

4.4. Transplante y Sustrato

El transplante se llevó a cabo 35 días después de la germinación (ddg) de las semillas, cuando las plántulas tenían una altura de 17 cm. Como sustrato se utilizó fibra de coco. Los contenedores fueron bolsas de polietileno bicolor (negro en la parte interna y blanco por la parte externa), con orificios en la base para el drenado. El sustrato fue desinfectado con hipoclorito de sodio (1%). Posteriormente se hicieron lavados con agua acidificada (H_2SO_4 , pH = 5) para eliminar residuos de cloro y sodio y otras sales que pudiera contener el sustrato.

4.5. Establecimiento y Conducción del Experimento

4.5.1. Diseño experimental

El experimento se llevó a cabo en el ciclo otoño-invierno de 2010, la siembra se realizó el 1 de octubre, los tratamientos se condujeron en un diseño de bloques completos al azar, mediante un factorial 3x4: tres tipos de tomate (bola, saladette y cherry) y cuatro niveles de potencial osmótico (-0.072, -0.080, -0.088, y -0.096 MPa.) Cuadro 6.

Cuadro 6. Tratamientos para el experimento sobre potencial osmótico (Ψ_s) en la producción de licopeno en el fruto de tomate saladettee, bola y cherry.

Tratamiento	Material	(Ψ_s) (MPa)
S-0.072	Saladettee	-0.072
B-0.072	Bola	-0.072
C-0.072	cherry	-0.072
S-0.0804	Saladettee	-0.0804
B-0.0804	Bola	-0.0804
C-0.0804	Cherry	-0.0804
S-0.088	Saladettee	-0.088
B-0.088	Bola	-0.088
C-0.088	Cherry	-0.088
S-0.096	Saladettee	-0.096
B-0.096	Bola	-0.096
C-0.096	Cherry	-0.096

4.5.2. Solución Nutritiva

Para el balance de las soluciones nutritivas, se efectuó un análisis químico del agua, para considerar los iones que ésta aportaba, Al cual presentó las siguientes características: CE = 0.8, pH = 7.18; aportando los siguientes nutrientes: $\text{NO}_3^- = 0.31$, $\text{SO}_4^{-2} = 0.01$, $\text{K}^+ = 0.73$, $\text{Ca}^{+2} = 2.42$ y $\text{Mg}^{+2} = 0.93$ meq L^{-1} . Posteriormente se prepararon las soluciones nutritivas a partir de solución nutritiva universal Steiner (Cuadro 7). En el transplante se utilizó de manera general para todos los tratamientos la solución nutritiva Steiner diluida al 25% durante los primeros 3 días y el resto de la semana se suministró al 50%, en la segunda semana al 75% y en la tercera, al 100%. Después de la tercera semana se aplicaron los tratamientos y estos se mantuvieron sin cambios hasta la cosecha.

La composición química y el Ψ_o de la solución nutritiva Steiner se estableció teóricamente (-0.072, -0.080, -0.088 y -0.096 MPa, respectivamente), sin

embargo, el Ψ_o se midió indirectamente mediante la CE de la solución nutritiva, para verificar que coincidiera con los valores teóricos.

Cuadro 7. Composición química y potencial osmótico (Ψ_o) de las soluciones nutritivas utilizadas en el estudio.

Ca^{2+}	K^+	Mg^{2+}	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	Ψ_o
		meq L ⁻¹				MPa
9	7	4	12	1	7	-0.072
9	8.75	4	13.75	1	7	-0.080
9	10.5	4	15.5	1	7	-0.088
9	12.5	4	17.5	1	7	-0.096

Las fuentes de fertilizantes que se usaron para completar las soluciones nutritivas fueron las siguientes: nitrato de calcio, nitrato de potasio, sulfato de magnesio, sulfato de potasio, y ácido fosfórico (Cuadro 8).

Cuadro 8. Fuentes de macronutrientes para preparar la solución nutritiva Steiner al 100% tomando en cuenta el aporte del agua.

Fertilizante	NO_3^-	H_2PO_4^-	SO_4^{2-}	K^+	Ca^{2+}	Mg^{2+}
	-----meq L ⁻¹ -----					
$\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	6.58				6.58	
KNO_3	5.11			5.11		
K_2SO_4			1.16	1.16		
$\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$			3.07			3.07
H_3PO_4		1				
H_2SO_4			2.77			

Para el suministro de los micronutrientes, se utilizaron las fuentes que se presentan en el Cuadro 9. De esta solución se utilizó un mL por cada L de solución nutritiva preparada.

Cuadro 9. Fuentes de micronutrientos utilizados para preparar la solución madre de micronutrientos.

Fertilizante	mg L⁻¹	g L⁻¹
H ₃ BO ₃	0.5	2.8
MnSO ₄ H ₂ O	0.7	2.2
ZnSO ₄ 7H ₂ O	0.09	0.4
CuSO ₄ 5H ₂ O	0.02	0.08
Fe-EDTA (7 % Fe)	3	43

La aplicación de la solución nutritiva se realizó por un sistema de riego por goteo, formado por una red de contenedores con capacidad de 200 L y ésta se suministró mediante bombas de succión de 0.25 caballos de fuerza, recirculando parte de la solución para ajustar la presión en la red; está recirculación a su vez contribuía a evitar precipitaciones. Se utilizaron emisores de 4 L h⁻¹, de los cuales se distribuyó el agua a 2 goteros y estos a su vez, suministraban la solución a una planta.

La distancia entre plantas fue de 30 cm y a 1.20 m de distancia entre hileras; se controló el paso de la solución nutritiva por medio de un sistema abierto. En cada tratamiento la solución se distribuyó mediante redes independientes.

4.6. Manejo Agronómico

4.6.1. Riego

Los riegos se adicionaron en función de la demanda de la planta, manteniendo el sustrato siempre a una humedad constante (capacidad de contenedor). El suministro del agua varió de acuerdo a la edad de la planta, los riegos fueron programados cada 30 minutos, y en la hora más calurosa del día se programaron cada 15 minutos. La duración de los riegos estuvo en función del monitoreo diario del drenado, procurando que siempre hubiera un drenado del 30 % de la solución nutritiva suministrada, haciendo cambios de la duración de los riegos constantemente, los riegos comenzaron a la 8:00 am y terminaron a las 6:00 pm.

4.6.2. Podas y tutoreo

Las plantas se guiaron a un solo tallo y la poda consistió en la eliminación de los brotes axilares y en la eliminación de las hojas por debajo del primer racimo cuando los frutos de éste alcanzaron su madurez fisiológica; además, se colocaron tutores para el único tallo que se dejó y así, mantener erguida la planta por medio rafia.

4.7. Variables evaluadas

4.7.1. Concentración de licopeno en el fruto

El licopeno se determinó con base a la metodología propuesta por Perkins-Veazie *et al.* (2001) y Fish *et al.* (2002) con algunas modificaciones. Para ello se trituraron 0.5 g de pulpa, los cuales se mezclaron con 50 mL de una solución hexano:acetona:etanol (2:1:1), agitando durante 10 minutos. Luego se agregaron 7.5 mL de agua destilada y se agitó por 5 minutos hasta la separación de la capa de hexano de la cual se tomó una alícuota de 3 mL a la cual se midió su absorbancia en un espectrofotómetro a una longitud de onda de 503 nm. El contenido de licopeno se determinó mediante la fórmula

$$\text{Licopeno } (\mu\text{g } 100\text{g}^{-1}) = (A_{503 \text{ nm}} \times 31.2) / \text{g pulpa}$$

4.7.2. Concentración de potasio hoja y fruto

Se tomó un fruto al azar de cada repetición para determinar la concentración de potasio se determino pesando 0.5 gramos de muestra molida y seca y fueron procesados por digestión húmeda en una mezcla triácida (Alcántar y Sandoval, 1999), la determinación se hizo mediante espectrofotometría de flama.

4.7.4. Altura de la planta

La medición de altura de planta comenzó a las 3 semanas después del trasplante (ddt) y esto se continuó haciéndola semanalmente, hasta el momento de la cosecha.

4.7.5. Sólidos solubles totales

Se utilizó un refractómetro digital de mano Binko No. 12214 con escala de 0-32%, depositando gotas del jugo del fruto sobre la lente del aparato. La medición se realizó en un fruto de cada repetición del primer racimo, siendo los valores expresados en °Brix que equivale a porcentaje que ocupan los sólidos.

4.7.6. Peso de frutos

Se pesó el total de frutos del primer racimo con una balanza electrónica marca: OHAUS. Modelo: Explorer Pro (EP612C), precisión: d= 10 mg. Max 610 g.

4.7.7. Firmeza

La firmeza de frutos se midió a los 85 días ddt con un penetrómetro manual marca McCornick, con puntera de 4 mm de diámetro en la región ecuatorial del fruto; los valores se expresaron en kg cm^{-2} .

4.7.8. Acidez titulable

La acidez titulable se determinó por el método de AOAC (1990). En una muestra de 10 g de fruto, diluidos en 50 mL de agua destilada, se filtró y se midió el volumen total, se agregaron tres gotas de fenolftaleína al 1%, se tomó una alícuota de 10 mL, mediante titulación con una bureta digital utilizando NaOH al 0.1 N hasta obtener una coloración violeta que permaneciera por un minuto y se observó el gasto del NaOH 0.1 N.

Posteriormente se calculó el porcentaje de acidez titulable en base al ácido cítrico, utilizando la fórmula:

$$\% \text{ ácido} = (\text{mL NaOH} * \text{N} * \text{meq. Ac} * \text{V}) / (\text{peso de la muestra} * \text{alícuota}) * 100.$$

Donde

N = normalidad del NaOH

V = volumen total (mL de extracto después de licuar)

meq. Ac = miliequivalentes del ácido cítrico.

4.7.9. Vitamina C

Se cuantificó mediante la titulación con dicloro-fenol-indol-fenol (DCPIP). Para la preparación de la muestra se tomaron 10 g del producto y se molieron en la licuadora con 50 mL de ácido metafosfórico-ácido acético, posteriormente se filtró con una gasa y se midió el volumen total de extracto. Luego se tomaron 10 mL del extracto y se agregaron 20 mL de agua destilada, se tituló con la solución de DCPIP hasta obtener una coloración rosa con una duración de más de 15 s, para obtener el gasto y sustituir en la siguiente fórmula:

$$\text{Vitamina C (\%)} = \frac{\text{gasto DCPIP} \times 0.133 \times \text{volumen total (Fd)}}{\text{volumen alícuota (10 mL)} \times \text{peso de la muestra (10 g.)}}$$

4.8. Análisis estadístico

Se usó un modelo estadístico factorial completo, los datos de cada variable fueron procesados mediante análisis de varianza y comparación de medias utilizando la prueba de Tukey ($P \leq 0.05$) con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System Institute) versión 9.0.

V. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.1. Concentración de Licopeno en el fruto

Para esta variable no hubo diferencias estadísticas significativas (Tukey $P \leq 0.05$) por efecto del potencial osmótico así como por tipo de tomate (Figura 5), sin embargo, cabe mencionar que los tratamientos que presentaron mayor contenido de licopeno fueron aquellos que tuvieron un menor potencial osmótico (- 0.096 MPa). Esto coincide con resultados de Schnitzler y Krauss (2010) en la evaluación de cuatro niveles de CE (3, 6.5, 10 y 13.5 dS m⁻¹), en donde encontraron un aumento en la concentración de licopeno conforme aumentaron la CE. Este fenómeno también fue evaluado por Juárez *et al.* (2011) quienes observaron un incremento de 17.6% en la concentración de licopeno por cada 1 dS m⁻¹ aplicado, al evaluar CE de 1, 1.5 y 2 dS m⁻¹ en genotipos nativos tipo cherry.

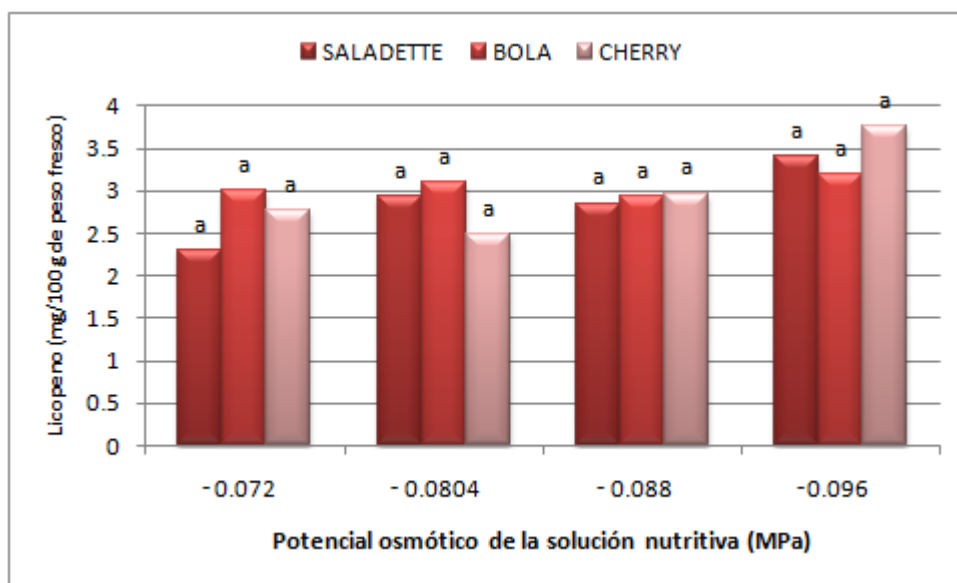


Figura 5. Contenido de licopeno en frutos del primer racimo de tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Sin embargo, Urrieta *et al.* (2008), al evaluar dos niveles de CE (1 y 2 dS m⁻¹) en tomate tipo costilla, no encontró diferencias significativas, Goykovic y Saavedra, (2007) no encontraron una tendencia clara en las respuestas de las plantas de tomate en la producción de carotenoides cuando son sometidas a

un estrés salino ya que además del cultivar se cree que pueden estar interactuando otras variables.

5.2. Concentración de potasio en el fruto

La Figura 6 se aprecia que no hay diferencias estadísticas significativas en la concentración de potasio en el fruto, por efecto del aumento del K en la solución nutritiva, Esto pudiera ser explicado debido a que en este estudio, los intervalos de Ψ_0 de la solución nutritiva fueron muy pequeños. Ya que aun que no hubo diferencias significativas, se aprecia una tendencias de aumento de la concentración de de K en el fruto conforme disminuye el Ψ_0 . Sin embargo, a menor Ψ_0 se observó incremento de K en el fruto. Resultados similares fueron encontrados por Ramírez, (2006) quien asegura que existe influencia de la formulación de la solución nutritiva, especialmente del ion K en la calidad de los tomates, así como en la concentración de este ion en fruto fresco.

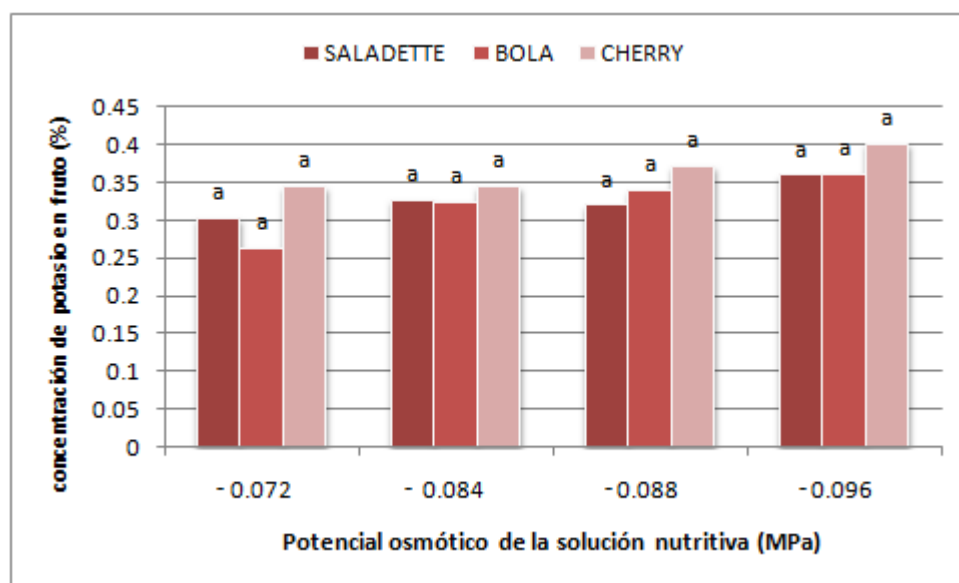


Figura 6. Concentración de potasio en el fruto por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. Barras con letra(s) distinta(s) son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

No se encontró diferencia significativa para K en fruto por efecto del genotipo.

5.3. Concentración de potasio en la hoja

Para esta variable hubo diferencias estadísticas significativas entre tratamientos (Figura 7). Observándose mayor concentración de K en los tratamientos con un menor Ψ_o . Villegas (2004) encontró que no hubo diferencias significativas en la concentración de K en hojas de plántulas de tomate por efecto del Ψ_o (-0.072, -0.092 y -0.112 MPa) de la solución nutritiva. Similar a lo que encontró Rodríguez (2006) quien no encontró diferencias en la concentración de K aun que el encontró una tendencia de menor concentración de K al disminuir el Ψ_o , con NaCl, de acuerdo con Hu y Schimdhalter, (2005) concentraciones elevadas de Na^+ en la solución externa causan una disminución en las concentraciones de K^+ y Ca^{2+} en los tejidos de las plantas, estas reducciones se pueden deber al antagonismo de Na^+ y K^+ por los sitios de absorción en las raíces, el efecto del Na^+ en el transporte al xilema o a la inhibición de los procesos de absorción. Jones (1999) menciona que el nivel óptimo de la concentración de K en hojas de tomate es de 2.7 a 5.9 %. En la etapa vegetativa se consideran deficientes valores menores a 1.5 % y durante la fructificación a aquellos menores a 2.5 %.

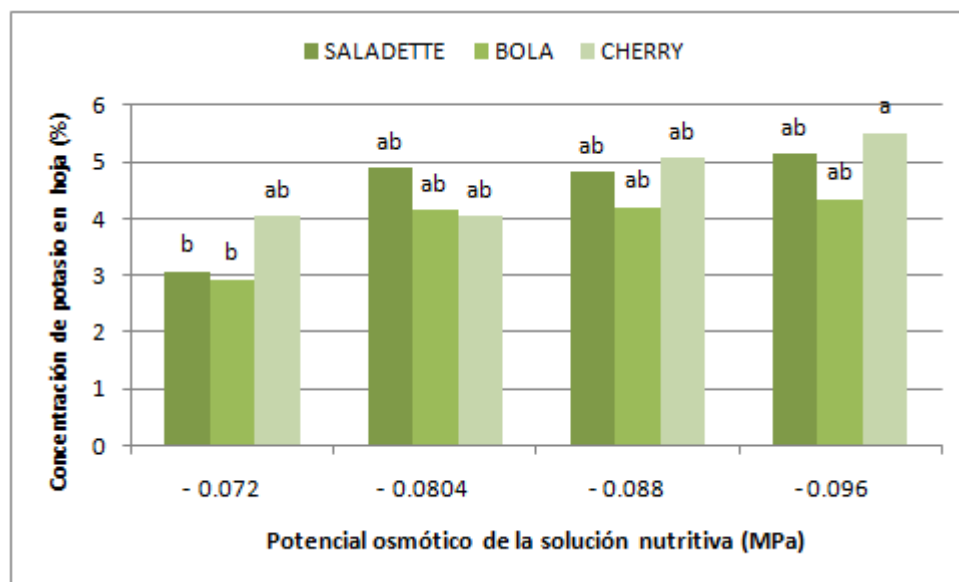


Figura 7. Concentración de potasio en el fruto por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

De acuerdo con Fageria *et al.* (1997) la absorción activa de K obedece a las cantidades del nutrimento en la solución nutritiva y este se presenta como ión a través de vacuolas y citoplasma, el cual, en conjunto con los demás productos en solución genera una presión osmótica, lo que propicia que el agua de los vasos del xilema, debido al gradiente osmótico, penetre en la célula y origine así el turgor en ella, siendo esta una de las principales funciones del K en la planta. Es así como el K contribuye en la presión osmótica de las células (Alcántar *et al.*, 2007); al regular esta presión osmótica en las células, la concentración de potasio en el tejido vegetal, depende de la absorción de este elemento y a su vez la absorción está en función de la concentración del mismo en la solución nutritiva.

5.4. Altura de la planta

Para esta variable se observó que conforme se disminuyó el Ψ_o , también decreció el tamaño de la planta (Figura 8), presentándose diferencias significativas ($P \leq 0.05$) debidas a Ψ_o y tipo de tomate. El potencial osmótico con -0.072 MPa presentó la mayor altura, situación que coincide con lo que reporta Goykovic y Saavedra (2007) quienes señalan que el crecimiento y altura de la planta disminuyen con el incremento de la salinidad. Schwarz y Kuchenbuch (1998) probaron que en tomate cv. Counter, desarrollado con 6 mS cm^{-1} de CE éste disminuyó el crecimiento y la producción en comparación con las plantas crecidas en 1 mS cm^{-1} ; reduciéndose también la absorción de agua con el incremento de la CE. Esto se explica también porque al incrementar la CE la presión osmótica del medio (sustrato) es mayor a la presión osmótica interna (en la planta, células) y la planta se enfrenta a una mayor dificultad para absorber agua, lo cual se traduce en un estrés hídrico y mayor gasto de energía metabólica que la planta podría utilizar para otros procesos fisiológicos internos donde se requiera energía.

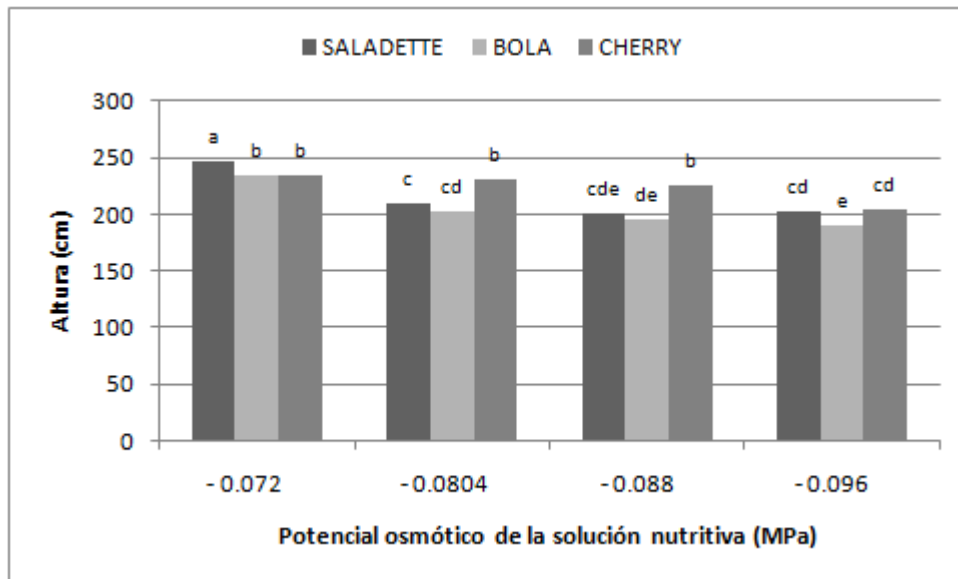


Figura 8. Altura de planta por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

5.5. Grados Brix

No se observaron diferencias significativas en los °Brix por Ψ_o y tipos de tomate (figura 9) el tratamiento que mostró mayor concentración de °Brix fue aquel que tuvo un Ψ_o de -0.096 MPa.

Al incrementar la concentración de solutos en el agua de riego el potencial hídrico se hace más negativo y las plantas experimentan dificultades para absorberla (Tadeo y Gómez-Candelas 2008) originándose una disminución en la acumulación de agua en el fruto (Goykovic y Saavedra, 2007); por otro lado, de acuerdo con Cramer *et al.* (2001) en frutos almacenados por dos semanas a 15 °C de plantas tratadas con CE alta con respecto a 2.5 mS cm^{-1} no presentaron diferencias en el porcentaje de sólidos solubles totales que los frutos de plantas con CE baja.

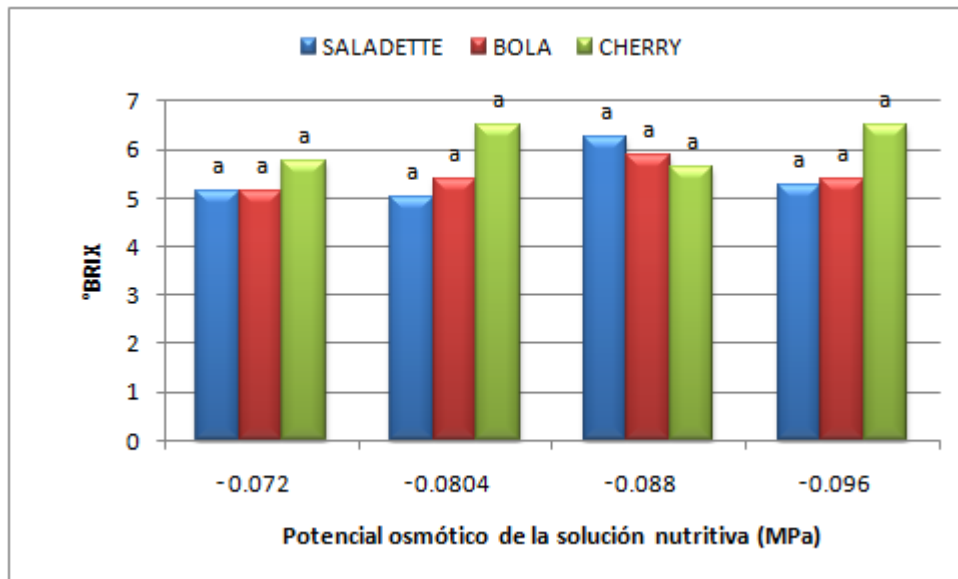


Figura 9. °Brix en frutos de tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. *Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).*

Es importante considerar que el valor de °Brix no refleja únicamente el contenido de azúcares, ya que también involucra la presencia de otros sólidos solubles en el fruto, tales como los ácidos orgánicos (Sato *et al.*, 2006).

5.6. Peso del fruto

En la Figura 10 se reportan los valores obtenidos para la variable peso de frutos del primer racimo de los tratamientos evaluados, en las cuales el análisis estadístico no muestra diferencias estadísticas significativas, para cada uno de los genotipos, sin embargo de manera general hubo una correlación en la que a menor potencial osmótico disminuye el peso de los frutos. El híbrido de tomate tipo saladettee con un Ψ_0 de -0.072 MPa obtuvo un valor de 950.5 g planta⁻¹ y con el Ψ_0 más bajo (-0.096 MPa) 670 g, el tomate tipo bola con el mayor Ψ_0 (-0.072 MPa) 536.25 g y con el Ψ_0 menor 264.5 g y la variedad cherry con un Ψ_0 de -0.072, 213.3 g y con Ψ_0 -0.096 MPa 173 g planta⁻¹.

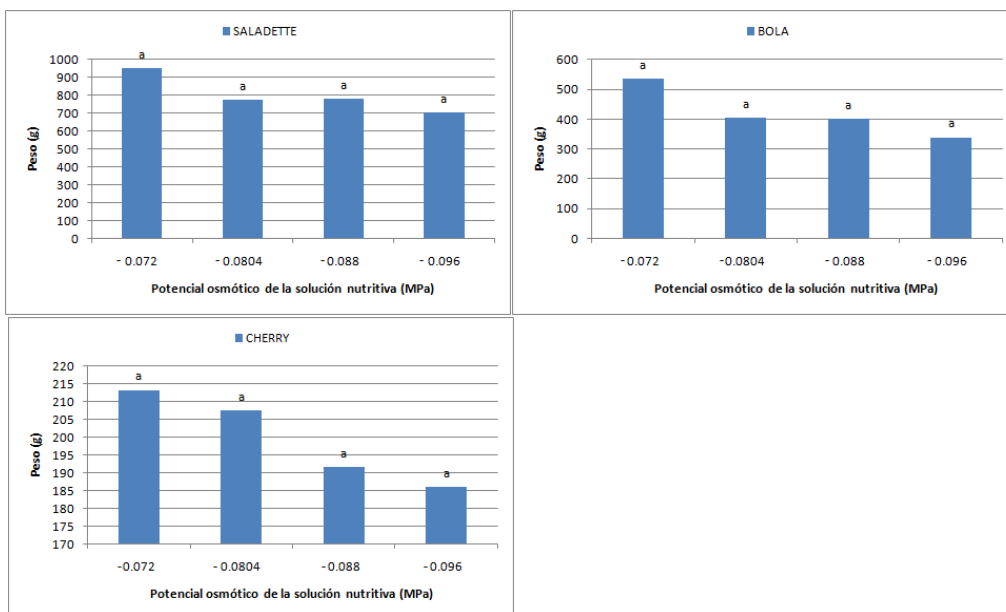


Figura 10. Peso de frutos del primer racimo en tres tipos de tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Esta tendencia de disminución del peso de fruto que se observa al aumentar la el Ψ_o se debe al mayor gasto energético que presenta la planta como respuesta del a la disminución del potencial osmótico, dado que la planta destina mayor energía para absorber agua y nutrientes (Asher y Edwards, 1983; Ehret y Ho, 1986a); al respecto Ehret y Ho (1986b), Adams (1994a) y Steiner (1973) reportan que en la medida que la CE aumenta, disminuye la capacidad de la planta para absorber agua y nutrientes, por lo que se puede establecer que la concentración de la solución nutritiva es determinante en el peso del fruto.

5.7. Firmeza

Para la variable firmeza, de manera general se observó que hubo diferencias estadísticas por efecto del potencial osmótico (figura 11). El Ψ_o de -0.096 MPa presentó los valores más altos de resistencia a la penetración y el Ψ_o de -0.072 MPa los valores más bajos.

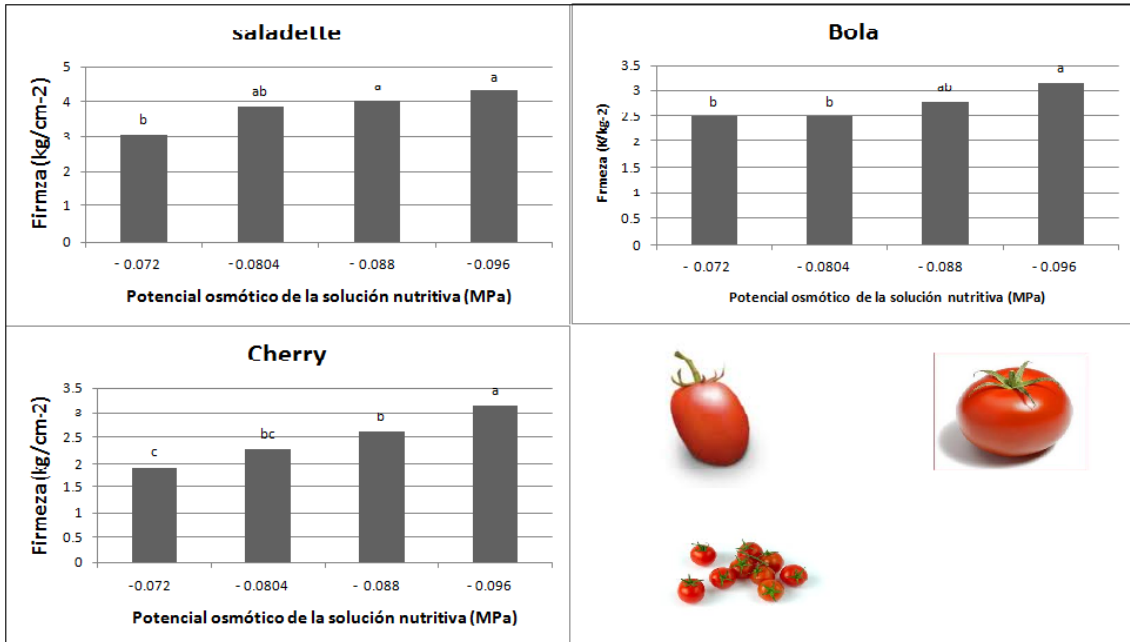


Figura 11. Firmeza de frutos del primer racimo en tres tipos de tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Se encontraron diferencias significativas atribuibles al Ψ_0 para un mismo híbrido, presentando una tendencia de mayor firmeza para cada híbrido de tomate al disminuir el potencial osmótico de la solución nutritiva, comportamiento que coincide con Juárez *et al.* (2011) quienes observaron que la firmeza del fruto aumentó 13 % al elevar la CE de 1 a 2 dS m⁻¹, por lo que la firmeza de los frutos puede ser afectada por la concentración de sales en la solución nutritiva, así como por la genética del material.

5.8. Acidez Titulable

Se observaron diferencias significativas (Tukey $P \leq 0.05$) por Ψ_0 para acidez titulable (Figura 12). La combinación $\Psi_0 = -0,080$ MPa y tomate cherry fue el que presentó mayor acidez titulable y el la de menor acidez, fue la combinación $\Psi_0 = -0,096$ MPa y tomate saladettee.

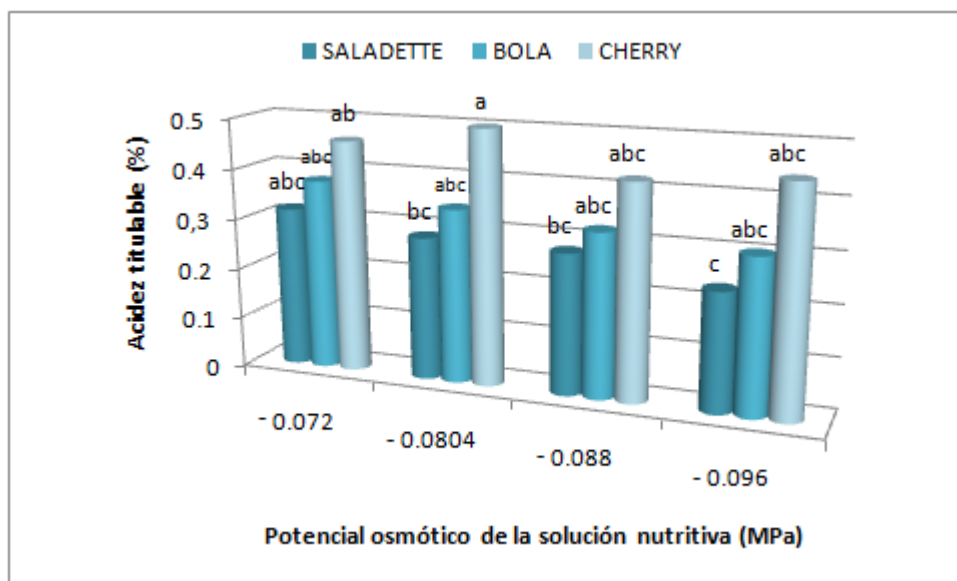


Figura 12. Acidez titulable de frutos del primer racimo en tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

Para cada tipo de tomate no se encontró diferencias significativas entre potenciales osmóticos, situación que difiere con lo encontrado por Flores *et al.* (2003) quienes mencionan que al aumentar la salinidad también aumenta la acidez. No obstante, García (2007) no encontró diferencias estadísticas significativas en el cultivo de pepino; asimismo Voogt (1988), Adams (1991) y Adams y Ho (1993) concluyeron que la acidez del fruto tenía mucho que ver con su concentración de K^+ . Por otro lado, Adams (1991) estableció que los altos niveles de acidez del fruto se deben a la alta salinidad, más que al contenido de K^+ .

Lo encontrado en este trabajo podría ser explicado debido a que los diferentes potenciales osmóticos no difieren mucho entre uno y otro tratamiento y la concentración de ácidos también está determinada por la variedad.

5.9. Vitamina C

En la Figura 13 se muestra el contenido de vitamina C determinado en los frutos que fueron sometidos a soluciones nutritivas con diferente Ψ_o , mostrando que hubo diferencias significativas entre tratamientos, en donde el Ψ_o de -0.084 MPa con la variedad cherry presentó mayor concentración de vitamina C

y el tratamiento que presentó una menor concentración fue aquel que tenía un Ψ_o de - 0.096 MPa en el tomate tipo saladettee.

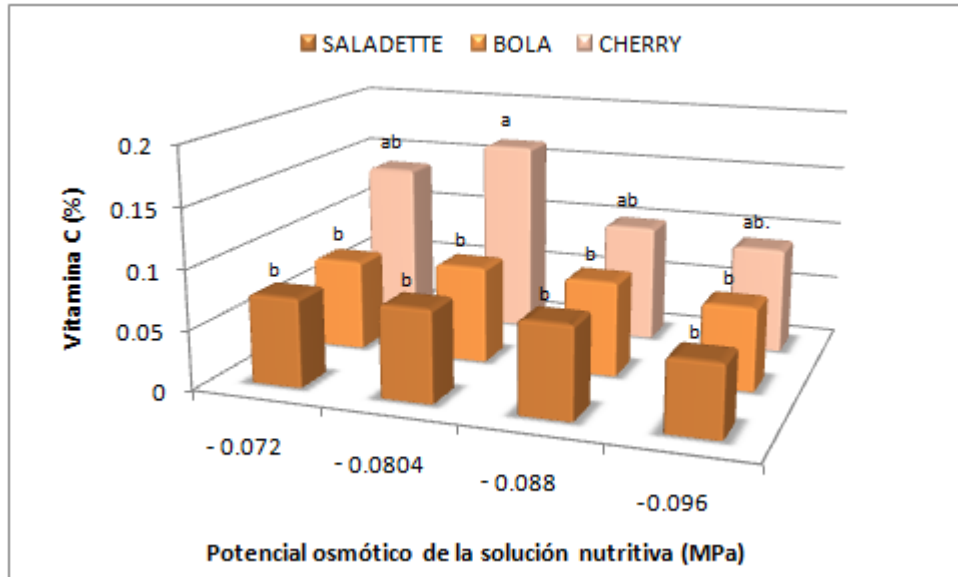


Figura 13. Vitamina C en frutos del primer racimo de tomate por efecto del potencial osmótico de la solución nutritiva. Barras con letras distintas son estadísticamente diferentes (Tukey, $P \leq 0.05$).

VI. CONCLUSIONES

Las soluciones nutritivas con diferente Ψ_o influyeron en el comportamiento de las plantas de tomate.

La relación de un potencial osmótico de -0.096 MPa con la variedad cherry fue la que mostró los valores más altos en concentración de licopeno en el fruto y los más bajos correspondieron a la relación de un potencial osmótico de -0.0804 MPa con la misma variedad mostrándose comportamientos ligeramente diferentes para cada variedad, aun que se observó la tendencia de a menor potencial osmótico mayor concentración de licopeno.

Los tratamientos que mostraron mayor peso del fruto y fueron a los que se les suministro un potencial osmótico de -0.072 MPa. Así como un mayor crecimiento de la planta. Y en algunos parámetros de calidad que se evaluaron como es la firmeza los frutos que mostraron una mayor firmeza fueron a los que se les suministró la solución nutritiva con un potencial osmótico de -0.096 MPa.

Para los sólidos solubles totales el tratamiento que presentó mayor concentración fue la interacción de un potencial osmótico de -0.096 MPa. con la variedad cherry, y para el resto de las variedades se observa una tendencia de que a menor potencial osmótico mayor concentración de sólidos solubles en el fruto, aun que vuelve a disminuir para los tratamientos con el menor potencial osmótico.

El decremento del potencial osmótico de la solución nutritiva, incrementando los niveles de potasio de la misma afectó de forma positiva la firmeza de los frutos de tomate.

El contenido de licopeno del fruto de tomate no fue afectado por el potencial osmótico, aunque se presentó una tendencia a aumentar con los potenciales osmóticos más bajos.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Abad, M., Martínez P.F, Martínez M. D., Martínez J. 1993.** Evaluación agronómica de los sustratos de cultivo. *Acta Hort.* 11: 141-154.
- Abad M., Noguera P., Puchades R., Maquieira A. y Noguera V. 2002.** Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dust for use as a peat substitute for containerised ornamental plants. *Biores. Technol.* 82: 241-245.
- Adams, P. and Ho L.C. 1993.** Effect of environment on the uptake and distribution of calcium in tomato and the incidence of blossom-end root. *Plant and Soil* 155: 127-132.
- Adams, P. 1991.** Effects of increasing the salinity of the nutrient solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomatoes grown in rockwool. *J. Hortic. Sci.* 66: 201-207.
- Adams, P. 1994.** Nutrition of greenhouse vegetables in NFT and hidroponic systems. *Acta Hort.* 361: 245-257.
- Addoms R. M. 1937.** Nutritional studies on loblolly pine. *Plant Physiol.* 12: 119-205.
- Aguilera C. M. R., Martínez E. 1996.** Relaciones agua – suelo- planta-atmosfera 4^a ed. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México.
- Alcántar G. G.; Sandoval V., M. 1999.** Manual de análisis químico de tejido vegetal. Publicación Especial Núm. 10. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo. Chapingo. Edo. De México, México. 156 p.
- Alcántar G. G., Trejo-Téllez L. I. 2007.** Nutrición de cultivos. Editorial Mundi-Prensa. Colegio de Postgraduados. México. 454 p.

- Angelova, T. y Warthseh, J. 2000.** Lycopene Stability in tomato powdwers. J. Food Sci. 65 (1): 67-70.
- Anguelova, T. y Warthersen, J. 2000.** Degradation of lycopene, α -carotene and β -carotene during lipid peroxidation. J. Food Sci. 65 (1): 71-75.
- Argawal, S. y Rao, A. V. 1998.** Tomato lycopene and low density lipoprotein oxidation. A human dietary intervention study. Lipids 33: 981-984.
- Asher, C. J., and Eduards D.G. 1983.** Modern solution culture techniques, *In*: A. Pirson and M. H. Zimmermahn (ed). Encyclopedia of Plant Physiology. 15 – A: 94-119.
- Asher, C.J. and Edwards D.G. 1983.** Modern solution culture techniques. pp. 94-119. *In*: A. Pirson y M.H. Zimmermann (ed.). Encyclopedia of Plant Physiology. Vol. 15-A. Springer- Verlag, Berlin.
- Barrett, D. M. and Anthon G. 2001.** Lycopene content of California-grown tomato varieties. Acta Hort. 542: 165-173.
- Baudoin, W. O. 1999.** Protected cultivation in the Mediterranean region. Proceedings of the International Symposium on greenhouse management for better yield an quality in Mild winter climates. Acta Hort. 491. Pp 23-30.
- Biesalski, H. K. y Obermuller Jevic U. C. 2001.** UV ligh, carotene and human skin beneficial and potentially harmful effects. Arch Biochen. Biophys. 389: 1- 6.
- Britton, G. 1995.** Structure and properties of carotenoids in relation to function. FASEB J. 9: 1551-1558.

Burés, S. 1997. Sustratos. Ediciones Aerotécnicas. Madrid, España. p. 342.

Candelas C. M. G., Del Rio O. F, Alanís G. M. G. J., García D. C. y Bautista J. M. 2005. Contenido de licopeno en jugo de tomate secado por aspersión. Rev. Mex. de Ing. Quim. 4: 299-307.

Castellanos, J. Z. 2009. Manual de producción de tomate en invernadero. Intagri, S. C. Celaya, Gto. 458 p

Chamarro L., J. 1995. Anatomía y Fisiología de la planta. Pp. 44-91. *In:* Nuez: El cultivo del Tomate. Mundi-Prensa, Madrid. España.

Clinton, S. K. 1998. Lycopene: chemistry, biology and implications for human health and disease. Nutrition Rev. 56: 35-5.

Cramer, M. D., Oberholzer, J. A., and Combrink. N. J. J. 2001. The effect of supplementation of root zone dissolved inorganic carbon on fruit yield and quality of tomatoes (cv Daniela grown with salinity. Sci. Hort. 89: 269-289.

Cuartero, J. and Fernández-Muñoz. R. 1999. Tomato and salinity. Sci. Hort. 78:83-125.

De Pascale S., Raimondi, A. G. Martino and Barbieri. G. 2003. Water relation and abscissic acid content in tomato as affected by osmotic stress. Acta Hort. 609: 89-95.

De Rijck, G. y Schrevens. E. 1997. Elemental bioavailability in nutrient solution in relation to dissociation reaction. J. Plant Nutr. 20 (7 & 8):901-910.

Di Mascio, P., Kaiser, S. y Seis, H. 1989. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. Arch. Biochem. Bioph. 274: 535-538.

- Durany, U. 1982.** Hidroponía. Cultivo de plantas sin tierra. Ed. Síntes. S. A. Barcelona, España. 106 p.
- Ehert, D. L., and Ho, L. C. 1986a.** Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Ann Bot.* 58: 679 – 688.
- Ehret, D.L. y Ho. L.C. 1986b.** Effects of osmotic potential in nutrient solution on diurnal growth of tomato fruit. *J. Exp. Bot.* 37: 1294-1302.
- Evans M. R., Konduru S., Stamps R. H. 1996.** Source variation in physical and chemical properties of coconut coir dust. *HortScience* 31: 965-967.
- Fageria N. K., Baligar V. C., and Jones C. A. 1997.** Growth and mineral nutrition of field Crops. Marcel Dekker, New York, U.S.A. 624 P.
- Fernández-Ruiz M. Cámara M. y Quintela J. C. 2007.** Ingredientes bioactivos de tomate: el licopeno. *Nutr Clin Diet Hosp.* 27: 36-40.
- Fish W. W., Perkins-Veazie P. y Collins J. K. 2002.** A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volume of organic solvents. *J. Food Comp. Analysis.* 15: 309-317.
- Flores, P., Navarro J. M., Carvajal M., Cerda A. and Martínez V. 2003.** Tomato yield and quality as affected by nitrogen source and salinity. *Agronomie.* 23:249-256.
- García M., S. 2007.** Respuestas agronómicas y fisiológicas del pepino a diferentes concentraciones de cloruro de sodio. Tesis de Maestría. Colegio de Postgraduados. Montecillo, estado de México.

- Garza L., J. 1985.** Las hortalizas cultivadas en México, características botánicas. Departamento de Fitotecnia, U.A.Ch. Chapingo, México.
- Gómez R. J. y Montoya M. 2001.** Soluciones nutritivas de la producción de hortalizas, frutas y flores. Editorial año dos mil, S. A. México D.F.: 20-29.
- Goycovic C., V y Saavedra del R. G. 2007.** Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. IDESIA 25: 47-58.
- Graves Ch. J., and Hurd. R. G. 1983.** Intermittent circulation in the nutrient film technique. Acta Hort. 133: 47 – 52.
- Gross J. 1987.** Pigments in fruits. Academic Press. New York, USA.
- Hasegawa, P. M., Bressan R. A., Zhu J.-K., and Bohnert H. J. 2000.** Plant cellular and molecular responses to high salinity. An. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 51: 463-499.
- Hoagland D. R., Arnon D. I. 1950.** The water culture method for growing plants without soil. Coll Agric U.C. Berkeley, USA. Cal. Agric. Exp. Stn. Circ. 347: 1-32.
- Hu Y., Schimdhalt U. 2005.** Drought and salinity: A comparison of their effects on mineral nutrition of plants. J. Plant Nutr. Soil Sci. 168: 541-549.
- Jensen. G. 1980.** Hydroponics-reality or Fantasy? Sci. Hort. 31: 19-26.
- Jensen M. H. y Collins W. L.. 1985.** Hydroponic vegetable production. Hort. Rev. 483-559.

- Juárez L., P., Reed D. W., Kent M., Cisneros Z. L., King. S, Castro B. R., Ramírez V. P., Sandoval V. M., Colinas L T.. 2011.** Efecto de la concentración de la solución nutritiva en la calidad de frutos de genotipos nativos de jitomate. *In: Memorias de Resúmenes del XIV Congreso Nacional de la Sociedad Mexicana de Ciencias Hortícolas.* SOMECH, A. C. (ed). 10-14 de abril. Culiacán Sinaloa. México. pp: 160.
- Jones J. B. 1999.** Tomato plant culture: In the field, greenhouse and home garden CRC Press LLC. New York, NY, USA. 198 p.
- Lampe C. Watada A. E. 1971.** Postharvest quality of high pigment and crimson tomato fruit. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 96: 534-535.
- Lara H, A. 1998.** Soluciones nutritivas para cuatro etapas fenológicas del jitomate. Tesis de doctorado, Colegio de Potsgraduados, Montecillo, México. 137 p.
- Lara H., A. 1999.** Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra.* 17: 3: 221-229.
- Levy J., Bosin E., Feldman B., Giat Y., Miinster A, Danilenko M., 1995.** Lycopene is a more potent inhibitor of human cancer cell proliferation than either α - or β -carotene. *Nutr. Cancer*, 24:257-266.
- Mangels A. R., Holden J. M., Beecher G. R., Forman M. R., Lanza E. 1993.** Carotenoids in fruits and vegetables: evaluation of analytic data. *J Am Diet Assoc.* 93: 284-296.
- Marschner, H. 1995.** Mineral nutrition of higher plant. Academic Press. San Diego, CA, USA.
- Miller N. J., Sampson J., Csndeinas L. P., Bramley P. M. and Riceevans C. A. 1996.** Antioxidants activities of carotenes and xanthophylls. *FEBS Letters* 384: 240-242.

Mulder E. G. 1948. Importance of molybdenum in the nitrogen metabolism of microorganisms and higher plants. *Plant Soil.* 1: 94-119.

Muñoz R, J. J. 2009. Manejo del cultivo de tomate en invernadero. *In.* J.Z. Castellanos (ed.). *Manual de Producción de Tomate en Invernadero.* (ed.). Intagri. Celaya, México. pp: 45-92.

Navarro B. S. y Navarro G. G. 2003. *Química Agrícola,* Mundi-Prensa. Madrid, España. 487 p.

Nguyen M.L. y Sachwartz S. 1999. Lycopene: chemical and biological properties. *Food Tech.* 53 (2): 38.45.

Nuez, F. 2001. *El cultivo del tomate.* Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. 793 p.

NPFI. 1988. *Manual de fertilizantes.* Edit. Limusa. Mexico, D.F. 292 p.

Papadopoulos, A. P. 1865. Growing greenhouse tomatoes in soil and in soilless media. Research Station Harrow Ontario. Agriculture Canada Publication /E. p. 79. ON, Canada.

Parker R. S. 1996. Absorption, metabolism and transport of carotenoids. *FASEB J.* 10:542-551.

Perkins- Veazy P., Collins J.K., Pair S. D. y Roberts W. 2001. Lycopene content differs among red-fleshed watermelon cultivars. *J. Sci. Food Agri.* 81: 983-987.

Periago, M. J., Ros G., Martínez C., Lopez G. y I. Martínez V. 2001. Propiedades químicas y valor nutritivo del licopeno. *AN. VET. Murcia.* 17: 51-66.

Pivot, A. D., Reist J., Gillioz M. and Ryser J. P. 1998. Water quality, climatic environment and mineral nutrition of tomato (*Lycopersicon esculentum*) in closed soilless cropping system. Acta Hort. 458: 207-213.

Ramírez S. L. F. 2006. Efecto de la concentración de potasio en la solución nutritiva y su relación con la calidad de jitomate en cultivo sin suelo, bajo invernadero. Tesis de doctorado en ciencias. Tecnología de invernaderos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia, España. 175 p.

Rao A. V., Ray M. R., Rao L. G. 2006. Lycopene. Adv Food Nutr. Res. 51: 99-164.

Rao AV, Agarwal S. 1999. Role of lycopene as antioxidant carotenoid in the prevention of chronic diseases: a review. Nutr. Res. 19:305-323.

Resh, H. M. 2006. Cultivos hidropónicos. Mundi-Prensa. Madrid, España. 558 p.

Rodríguez, G. A. 2006. Injerto y composta para la producción intensiva de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de suelo en invernadero. Tesis de doctorado en ciencias. Colegio de Postgraduados. Montecillo, Edo de México.

Rodríguez R. R., Tabares R. J. M. y Medina S. J. J. A. 2001. Cultivo moderno del tomate. Mundi-Prensa. Madrid, España 255 p.

Salisbury P. B. y C. W. Ross. 1992. Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamericana. S. A. México, D.F.

San Martín H. C. 2011. Producción de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en diferentes granulometrías de "tezontle". Tesis de maestría en ciencias. Edafología. Colegio de Postgraduados. Montecillo México. 98 p.

- Sánchez C. F., Escalante R. E. 1988.** Hidroponía. Universidad Autónoma Chapingo. 188 p.
- Sato, S., Sakaguchi S, Furukawa H. and Ikeda H. 2006.** Effects of NaCl application to hydroponic nutrient solution on fruit characteristics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Sci. Hort. 109: 248-253.
- Schnitzler, W. H. and Krauss S. 2010.** Quality and health promoting compounds of tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill.) under salinity. Acta Hort. 856: 21-30.
- Schwarz, D. and Kuchenbuch R. 1998.** Water uptake by tomato plants grown in closed hydroponic systems dependent of the ec-level. Acta Hort. 323 – 228.
- Segal, B. G. 1989.** Chemistry experiment and theory. Wiley – Interscience publication. Nueva York, U.S.A. 1008 p.
- .
- Sideris C. P., Young H. Y., Krauss B. H. 1943.** Effects of iron on the growth and ash constituents of *Ananas comosus* (L) Merr. Plant Physiol. 18: 608-632.
- Sonneveld, C. and Voogt W. 2009.** Nutrient management in substrate systems. Plant Nutrition of Greenhouse Crops. Springer (ed). New York. Pp: 277-312.
- Steiner A., A. 1984.** The universal nutrient solution. *In*: Sixth International Congress on Soilless Culture. Proceedings International Society for Soilless Culture. Lunteren, The Netherlands pp 633-650.
- Steiner, A. A. 1961.** A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. Plant Soil. 15: 134-154.

Steiner, A. A. 1968. Soilless culture. pp. 324-341. *In:* Proceedings of the 6th Colloquium of the International Potash Institute. Florence, Italy.

Steiner, A. A. 1973. The selective capacity of tomato plants for ions in a nutrient solution. ISOSC. Proceeding 3rd International Congress on Soilless Culture. pp. 43-53.

Tadeo, F. R. y Gómez Candelas A. 2008. Fisiología de las plantas y el estrés *In:* J. Azcón- Bieto y M. Talón (eds.) Fundamentos de fisiología vegetal. Madrid, España. pp: 577-597.

Urrestarazu G., M. 2000. Manual de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa. Almería, España.

Urrieta V., J. A.; Rodríguez M., M. N.; Ramírez V., P.; J. A. y Ruíz P., L. M. 2008. Calidad del fruto de tomate de costilla en postcosecha. *In:* Memoria del XXII Congreso Nacional y II Internacional de Fitogenética. SOMEFI. Chapingo, Estado de México. pp: 228.

Vargas T., T. 2007. Caracterización física, química y biológica de polvo de coco y tezontle como sustratos. Tesis de maestría en ciencias. Colegio de Postgraduados. México. 93 p.

Vargas T., P., Castellanos R. J. Z., Sánchez G. P., Tijerina C. L., López R. R. Ma., y Ojodeagua A. J. L. 2008. Caracterización física, química y biológica de sustratos de polvo de coco. Rev. Fitotec. Mex. 31. 4: 375-381.

Vasconcellos, J. A. 2000. Alimentos Funcionales. Conceptos y beneficios para la salud. The World of Food Science. IFT y IUFOST. [Enlínea] Disponible: http://www.madrimasd.org/cienciaysociedad/ateneo/dossier/alimentos_funcionales/worldfoodscience/alimentosfuncionales.htm (Revisado el 5 de marzo de 2012).

Voogt, W. 1988. The growth of beefsteak tomato as affected by K/Ca ratio in the nutrient solution. *Acta Hort.* 222: 155-165.

Waliszewski, K. N. y Blasco, G. G. 2010. Propiedades nutraceuticas del licopeno. *S. pública Mex.* 52 (3):. 2554-265.

Watada, A. E. 1995. Methods for determining quality on fruits and vegetables. *Acta Hort.* 379:559-567.

Wilberg, V. C. y Rodriguez-Amaya, D. B. 1995. HPLC quantitation of major carotenoids of fresh and processed guayava, mango and papaya. *Lebensm.-Wiss.u.-Technol.* 28: 474-480.