

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA



Efecto de la Tensión de Humedad en el Sustrato y su Influencia en el Área Foliar y Calidad Nutricional de Tomate

POR:

**JONATAN SANTANA SOTO**

TESIS

Presentada como requisito parcial para

obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Saltillo, Coahuila, México

Junio de 2013

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Efecto de la Tensión de Humedad en el Sustrato y su Influencia en el  
Área Foliar y Calidad Nutricional de Tomate

Por:

**JONATAN SANTANA SOTO**

Tesis

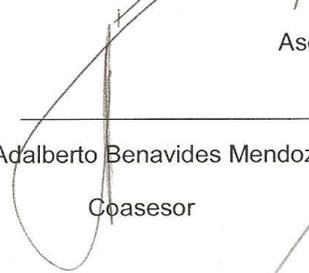
Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA**

Aprobada

  
Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente

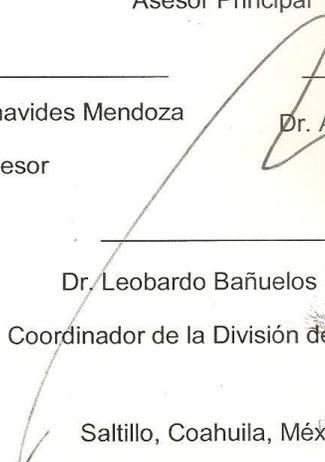
Asesor Principal

  
Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor

  
Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coasesor

  
Dr. Leobardo Bañuelos Herrera  
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Junio, 2013



Coordinación  
División de Agronomía

## **DEDICATORIAS**

A mis padres: Yolanda Soto Fránquez y Candelario Santana Pérez, primero por haberme dado la vida, por su cariño, por sus cuidados a mi persona, por sus consejos, por sus regaños y por hacerme una persona de bien. A ellos les debo todo.

A mis abuelos: Maria de la Luz Fránquez Pérez, Anastasio Soto Prado, Eulalia Pérez y José Santana, que aunque algunos ya no están en este mundo, por su comprensión y cariño y porque siempre me motivaron a salir adelante.

A mis tíos y tías que de alguna u otra manera estuvieron al pendiente de mí y por su apoyo para la realización de este sueño.

A mi hermano: David Santana Soto, no solo por ser mi hermano, sino también por ser mi compañero en casi todo lo que hago.

A mi primo: Bernardo Soto Soto que aunque te fuiste pronto siempre te recordare por ser un gran ejemplo de vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por darme el regalo de la vida, por darme a mis padres y la oportunidad de superarme.

A la “Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro”, porque en ella me forme como persona y como profesionista, me siento orgulloso de pertenecer a mi Alma Terra Mater.

Al Dr. Marcelino Cabrera de la Fuente por su apoyo en la realización de este trabajo, por sus conocimientos brindados como asesor y como catedrático. Muchísimas gracias.

A mis coasesores: El Dr. Adalberto Benavides Mendoza, el Dr. Alberto Sandoval Rangel y el Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar por ser parte importante en la revisión de este trabajo

A mi compañero José Ángel Ortega García por ser parte fundamental de la realización de este trabajo, por su apoyo y ayuda desinteresada.

A mis compañeros de cuarto, Misael, Chisco, Manuel y Luis por su apoyo y compañía a lo largo de mi carrera.

A mis compañeros de carrera Rommel, Fran, Augusto, Daniel, Rubisel, Cristobal, gracias por su apoyo y disposición hacia mi persona.

## **RESUMEN**

Con el objetivo de determinar el efecto del contenido de agua de riego, sobre el crecimiento de la planta y la calidad nutricional del fruto de tomate, se realizó el presente trabajo bajo condiciones de invernadero. Se evaluaron 6 tensiones hídricas en el sustrato: 1). 20, 2). 30, 3) 40, 4) 50, 5) 60, y 6) 70 centibares (Cb). Se evaluó la altura de la planta, número de hojas, área foliar, firmeza de fruto, contenido de vitamina C, potencial redox y sólidos solubles totales (grados Brix). Los resultados muestran que a 20 y 30 Cb la planta tuvo un mejor crecimiento, expresado en altura de planta, número de hojas y área foliar. Mientras que a 60 y 70 Cb aumento la firmeza de fruto, contenido de vitamina C, potencial redox y grados Brix

**Palabras clave:** Estrés, crecimiento, calidad, tomate, antioxidante.

<b>ÍNDICE DE TEXTO</b>	<b>Pág.</b>
<b>DEDICATORIAS</b> .....	<b>i</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>ii</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>iii</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>vii</b>
<b>ÍNDICE DE APÉNDICE</b> .....	<b>viii</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
<b>1.1. Objetivo general</b> .....	<b>2</b>
<b>1.2. Objetivos específicos</b> .....	<b>2</b>
<b>1.3. Hipótesis</b> .....	<b>2</b>
<b>II.-LITERATURA REVISADA</b> .....	<b>3</b>
2.1 Origen e historia del tomate .....	<b>3</b>
2.2 Descripción botánica y morfológica.....	<b>4</b>
2.3 Superficie establecida y cultivada a nivel mundial y en México .....	<b>4</b>
2.4 Requerimientos edafológicos .....	<b>5</b>
2.5 Requerimientos hídricos.....	<b>5</b>
2.6 Requerimientos nutricionales .....	<b>6</b>
2.7 Importancia del área foliar en el tomate .....	<b>7</b>
2.8 El concepto de estrés.....	<b>8</b>
2.9 Tipos de estrés.....	<b>9</b>
2.10 Fases de respuesta de las plantas al estrés .....	<b>9</b>
2.11 Mecanismos de defensa de las plantas frente al estrés.....	<b>11</b>
2.12 Efecto del estrés en los antioxidantes .....	<b>12</b>
2.13 Efecto de los cultivos en condiciones de estrés hídrico .....	<b>13</b>
2.14 Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento de las plantas de tomate .....	<b>15</b>
2.15 Propiedades nutricionales del tomate .....	<b>16</b>
2.16 Efectos de los antioxidantes en la dieta humana .....	<b>16</b>
2.17 Importancia del potencial antioxidante en el tomate .....	<b>18</b>

2.18	Importancia de la vitamina C como antioxidante .....	19
2.19	Interacción entre el contenido de la vitamina C y la cantidad de agua de riego .....	20
<b>III</b>	<b>MATERIALES Y METODOS</b> .....	<b>22</b>
3.1.	Ubicación del experimento .....	22
3.2	Descripción del material vegetal evaluado .....	22
3.3	Manejo del cultivo.....	22
3.3.1	Siembra.....	22
3.3.2	Trasplante .....	23
3.3.3	Tutorado.....	23
3.3.4	Nutrición.....	23
3.3.5	Plagas y enfermedades presentadas en el cultivo .....	24
3.4	Descripción de los tratamientos .....	24
3.5	Variables evaluadas .....	25
3.5.1	Altura.....	25
3.5.2	Número de hojas.....	25
3.5.3	Área foliar.....	25
3.5.4	Firmeza .....	26
3.5.5	Vitamina C .....	26
3.5.6	Potencial redox .....	27
3.5.7	Sólidos solubles totales.....	27
3.6	Frecuencia de los Muestreos .....	28
3.7	Análisis Estadístico .....	28
<b>IV</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>29</b>
4.1	Altura.....	29
4.2	Número de hojas .....	30
4.3	Área foliar .....	31
4.4	Firmeza .....	32
4.5	Vitamina C.....	33
4.6	Potencial redox .....	34
4.7	Sólidos solubles totales.....	35

<b>V. CONCLUSIONES</b> .....	36
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA</b> .....	37
<b>VII. APÉNDICE</b> .....	45

	<b>Pág</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	
<b>Cuadro 1.</b> Descripción de los tratamientos del experimento en etapa de plántula.	24
<b>Cuadro 2.</b> Descripción de los tratamientos en etapa de crecimiento vegetativo.	25
<b>Cuadro 3.</b> Descripción de los tratamientos en etapa reproductiva.	25

### **ÍNDICE DE FIGURAS**

<b>Figura 1.</b> Comportamiento de las medias para la variable altura de planta de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.	29
<b>Figura 2.</b> Comportamiento de las medias para la variable número de hojas en plantas de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.	30
<b>Figura 3.</b> Comportamiento de las medias para la variable área foliar en plantas de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.	31
<b>Figura 4.</b> Comportamiento de las medias para la variable firmeza de frutos de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.	32
<b>Figura 5.</b> Comportamiento de las medias para la variable Vitamina C en frutos de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.	33
<b>Figura 6.</b> Comportamiento de las medias para la variable potencial redox en frutos de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.	34
<b>Figura 7.</b> Comportamiento de las medias para la variable sólidos solubles totales en frutos de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.	35

<b>ÍNDICE DE APÉNDICE</b>	<b>Pág</b>
<b>Apéndice 1.</b> Comparación de las medias de altura de plantas de tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.	45
<b>Apéndice 2.</b> Comparación de las medias del número de hojas en plantas de tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.	45
<b>Apéndice 3.</b> Comparación de las medias del área foliar en plantas de tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.	46
<b>Apéndice 4.</b> Comparación de las medias de Vitamina C en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.	46
<b>Apéndice 5.</b> Comparación de las medias de firmeza en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.	47
<b>Apéndice 6.</b> Comparación de las medias de Potencial Redox de frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.	47
<b>Apéndice 7.</b> Comparación de las medias de sólidos solubles totales en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.	
<b>Apéndice 8.</b> Análisis de varianza para la variable altura de plantas en tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.	48
<b>Apéndice 9.</b> Análisis de varianza para la variable número de hojas en plantas en tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.	48
<b>Apéndice 10.</b> Análisis de varianza para la variable área foliar en plantas en tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.	49
<b>Apéndice 11.</b> Análisis de varianza para la variable firmeza de frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.	49
<b>Apéndice 12.</b> Análisis de varianza para la variable Vitamina C en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.	49
<b>Apéndice 13.</b> Análisis de varianza para la variable Potencial Redox en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.	50
<b>Apéndice 14.</b> Análisis de varianza para la variable Sólidos Solubles Totales en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.	50

## I. INTRODUCCIÓN

El tomate ha pasado a ser de una hierba más de las milpas a un cultivo de importancia económica mundial. Ello ha sido posible gracias a cambios en el propio material vegetal y en los sistemas de producción, comercialización y consumo (Nuez, 2001).

Los tomates han sido considerados tradicionalmente como hortalizas con un valor nutritivo medio (que contiene hasta 95% de agua); sin embargo, su elevado consumo per cápita hace que sea una hortaliza interesante desde el punto de vista nutritivo. (Dumas *et al.*, 2003).

Los principales tipos de tomate que se comercializan son: cherry (cereza), saladette (roma), pera, beef y bola; dentro de los cuales destacan el tomate saladette y el tomate bola, por ser los de mayor consumo a nivel mundial (SAGARPA, 2010)

Los tomates son ricos en vitaminas A y C y algunos otros antioxidantes (Soto-Zamora *et al.*, 2005), estos antioxidantes son importantes en la dieta humana; ya que estos metabolitos secundarios atrapan los radicales libres lo cual reduce el riesgo de contraer enfermedades crónicas, tales como las cardiovasculares y el cáncer (Wesburger, 2002).

En este contexto, el incremento de su contenido de vitamina C se presenta como un objetivo de mejora prometedor, aunque este incremento se ve influenciado por el ambiente, por ello es necesario determinar las

condiciones en las cuales se tenga la mayor acumulación de vitamina C (Galiana-Balaguer *et al.*, 1986).

El recurso agua es el principal factor limitante de la producción agrícola a nivel mundial, de esta forma se debe rediseñar la agricultura y generar conocimientos, que permitan determinar los requerimientos hídricos, para evitar pérdidas de este valioso recurso; además de determinar la cantidad de agua requerida para obtener las producciones ideales (Perengüez, 2011).

### **1.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de diferentes tensiones de humedad en el crecimiento de la planta y la calidad nutricional del tomate.

### **1.2. Objetivos específicos**

Evaluar el efecto del contenido de humedad en el sustrato, sobre el crecimiento y desarrollo de la planta de tomate.

Determinar la firmeza, capacidad antioxidante, vitamina C, potencial redox y sólidos solubles totales en fruto de tomate, cultivados en sustratos con diferentes tensiones de humedad.

### **1.3. Hipótesis**

El contenido de agua en el sustrato incide de manera directa sobre el área foliar y calidad del fruto de tomate.

## II.-LITERATURA REVISADA

### 2.1 Origen e Historia del Tomate

El tomate es nativo de la parte sur del continente americano, principalmente de los países de Perú y Ecuador, un progenitor que crece en estas latitudes es el tomate cereza (*Lycopersicum esculentum* var. *Cerasiforme*), aunque los tomates fueron probablemente domesticados en México (Sánchez, 2008).

El lugar donde se produjo la domesticación ha sido controvertido los nombres de *mala peruviana* o *pomi del Perú* dados por algunos botánicos del siglo XVI, quienes hicieron suponer que había sido domesticado en Perú. Estudios posteriores indican que el tomate fue domesticado en México por los aztecas y a ellos se debe el nombre actual; ya que esta cultura lo llamo *tomatl* (Candolle, 1883).

El cultivo del tomate se dio a conocer a nivel mundial después de la llegada de los españoles a México; pero no fue hasta 1554 que el cultivo fue introducido a Europa (Rick, 1978).

Fueron los españoles y los portugueses los encargados de distribuir el cultivo del tomate a través de sus colonias; en el siglo XVI se comenzó a comercializar en la India, en china se introdujo en el 1557 aunque hoy en día continua siendo una hortaliza menor, en Oceanía específicamente en Nueva Zelanda fue introducido en el año de 1571 y finalmente fue hasta 1592 cuando el cultivo llego a África (Villarreal, 1980).

## **2.2 Descripción botánica y morfológica**

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las solanáceas, es una planta de porte arbustivo que se cultiva como anual. Puede desarrollarse de manera rastrera, semierecta o erecta. Existen variedades de crecimiento limitado (determinadas) o de crecimiento ilimitado (indeterminadas). Posee un sistema radicular corto y débil con numerosas raíces secundarias (y potentes); el tallo principal tiene un diámetro de entre 2-4 cm. En su base, sobre el que se van desarrollando hojas, tallos secundarios e inflorescencias; las hojas son compuestas e imparipinadas, con foliolos peciolados, lobulados y borde dentado en número de 7-9 recubiertas de pubescencia y alternas sobre el tallo; las flores son perfectas con 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo, se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso, generalmente en número de 3 a 10, las inflorescencias se desarrollan cada 2 o 3 hojas en las axilas; el fruto es una baya bi o plurilocular que puede alcanzar hasta 600 g y está constituido por el pericarpio, el tejido placentario y las semillas (Nuño *et al.*, 2007).

## **2.3 Superficie establecida y cultivada a nivel mundial y en México**

El tomate es la hortaliza más cultivada en el mundo, con una superficie total de cultivo de alrededor de 2.5 millones de hectáreas; con una producción mundial de aproximadamente 77,538,000 toneladas, siendo China el principal productor a nivel mundial además de Estados Unidos,

India, Turquía, Italia, España y Egipto; ubicándose México hasta el décimo lugar en la producción mundial (Macua *et al.*, 2012).

En México la superficie sembrada fue de 54,510 hectáreas, con una producción total de alrededor de 2,600,000 toneladas con valor monetario de \$14,200,000,000; siendo Sinaloa el Estado con la mayor superficie sembrada y con el mayor volumen de producción seguido por Nayarit y Veracruz. (SIAP, 2012).

## **2.4 Requerimientos edafológicos**

La planta de tomate no es muy exigente en cuanto a suelos, excepto en lo que se refiere al drenaje, aunque prefiere suelos sueltos de textura silíceo-arcillosa y ricos en materia orgánica. No obstante se desarrolla perfectamente en suelos arcillosos enarenados (Macías, 2009).

En cuanto a PH, los suelos pueden ser ligeramente ácidos hasta ligeramente alcalinos cuando están enarenados, aunque el PH óptimo es de 5.5-6.8, la temperatura en el suelo de entre 15-25 °C favorecen un óptimo desarrollo del cultivo (Macías, 2009).

## **2.5 Requerimientos hídricos**

La lámina de riego que se va a aplicar utilizando riego localizado debe considerar la cantidad de agua que aún hay en el suelo, y por otro lado, la humedad a la cual se desea que se aplique el siguiente riego, en riego por

gravedad o aspersión es conocido como punto crítico, lo anterior equivale a la lámina de aplicación media (Jensen *et al.*, 1990).

Un método que se utiliza comúnmente para determinar el momento de regar, es seguir el abatimiento de la humedad del suelo, esto con ayuda de sensores como son los bloques de yeso o los tensiómetros (González y Ruz, 2001).

La cantidad de agua a utilizar no es un dato exacto en el cultivo del tomate; ya que dependen del sustrato a utilizar así como de la evapotranspiración del cultivo de acuerdo a la zona de cultivo. Lo ideal es mantener el suelo a capacidad de campo, esto se puede constatar con la ayuda de un tensiómetro con lectura de 10 a 20 centibares (González y Ruz, 2001).

Se estima que el consumo diario de agua por planta adulta de tomate, es de aproximadamente 1.5 a 2 L de agua al día, la cual varía dependiendo de la zona, las condiciones climáticas del lugar y el tipo de suelo que se tenga; pero en general, el riego depende del tamaño de la planta, población y época del año. La evapotranspiración de la zona y el coeficiente de cultivo (Kc), es quizás lo más importante a considerar en el riego (Corpeño, 2004).

## **2.6 Requerimientos nutricionales**

Para la nutrición del cultivo del tomate se sugiere la siguiente cantidad de fertilizantes por cada 1000 litros de agua: 1000 g de nitrato de calcio, 560

g de sulfato de potasio, 220 g de ácido fosfórico al 85 %, 600 g de sulfato de magnesio, 15 g de sulfato ferroso, 2 g de sulfato de manganeso, 4 g de Bórax, 0.4 g de sulfato de cobre y 0.4 de sulfato de zinc; con esto se logran concentraciones de 200 ppm de N, 60 ppm de P, 250 de K 250 de Ca, 60 ppm de Mg, 240 ppm de S, 3 ppm de hierro, 0.5 ppm de Mn, 0.5 ppm de B, 0.1 ppm de Cu y 0.1 ppm de Zn (Sánchez, 2002).

Aunque el cloro y el molibdeno son elementos esenciales, se requieren en tan pequeña cantidad que, con seguridad, se encuentran como impurezas en los fertilizantes considerados o en el agua de riego, por lo que no es necesaria su inclusión separada en la solución (Sánchez, 2002).

Aunque la solución nutritiva anterior se toma como base, su concentración, o la de alguno de sus elementos en particular, se puede hacer variar en función de las condiciones climáticas y la edad de la planta, lo cual se hará eventualmente (Aguilar *et al.*, 2005).

## **2.7 Importancia del área foliar en el tomate**

El incremento en el area foliar tiene gran importancia fisiológica para el vegetal, debido a la mayor superficie fotosintéticamente activa de la planta, lo cual favorece la producción de carbohidratos, el cual unido al agua y los elementos minerales absorbidos influyen directamente en la síntesis de proteínas u otros compuestos orgánicos que tienen relación directa con el aumento de la producción de biomasa (Ultria, 2008).

La fijación total de  $\text{CO}_2$  del aire en un día determinado depende (asimilación bruta,  $\text{kg CO}_2 \cdot \text{ha}^{-1}$ ) depende de la tasa fotosintética la cual a su vez depende de la cantidad de radiación interceptada por el cultivo y la eficiencia con que se usa esa radiación en el proceso de fotosíntesis. La cantidad de radiación interceptada depende del índice de area foliar y el arquetipo del cultivo, y por su puesto de la cantidad de radiación incidente; luego de la respiracion el  $\text{CO}_2$  es transformado en azúcares simples; mismos que son utilizados para la producción de nuevas estructuras vegetales o para el almacenamiento de reservas (Dogliotti, 2003).

## **2.8 El concepto de estrés**

El estrés se identifica como una desviación significativa de las condiciones óptimas para la vida. Dichas condiciones ocasionan cambios en todos los niveles funcionales de los organismos. Desde un punto de vista biológico, el estrés tiene una connotación más amplia, refiriéndose a los cambios ambientales que alteran el estado fisiológico de las plantas (Larcher, 1995).

El estrés es el conjunto de respuestas bioquímicas o fisiológicas que definen un estado particular del organismo diferente al observado bajo un rango de condiciones óptimas. El estrés representa una fuerte restricción para el aumento de la productividad de los cultivos y el aprovechamiento de los recursos naturales. Se estima que únicamente un 10% de la

superficie de la tierra arable se encuentra libre de algún tipo de estrés (Benavides, 2002).

## **2.9 Tipos de estrés**

Existen varias clasificaciones de los factores de estrés. En general, estos pueden estar clasificados como estrés biótico y estrés abiótico (Azcón-Bieto y Talón, 2008). El estrés biótico es causado por la acción de otros organismos vivos como son: animales plantas, microorganismos y otros agentes fitopatógenos como los virus y viroides. El estrés abiótico dependiendo del agente causal, se divide en físicos y químicos. Entre los factores físicos se pueden mencionar el estrés por déficit o exceso de agua, temperaturas extremas, salinidad y radiación UV. Entre los factores químicos destacan la contaminación atmosférica por metales pesados, toxinas, salinidad (en su componente iónico o tóxico) y carencia de elementos minerales (Almudena, 2008).

## **2.10 Fases de respuesta de las plantas al estrés**

Los ciclos estrés/respuesta son situaciones que se dan de forma rutinaria a lo largo de la vida de las plantas. El concepto de estrés en sí mismo es relativo, ya que una determinada situación medioambiental puede resultar estresante para una especie y no para otras (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

La respuesta de las plantas al estrés puede dividirse en tres fases (Lambers *et al.*, 1998):

- a) Fase de alarma: es el efecto inmediato, en general de carácter perjudicial. Ocurre en una escala de segundos a días. Cuando se presenta el estrés, las plantas reaccionan ralentizando o deteniendo sus funciones fisiológicas básicas, reduciendo su vigor. Esta reacción está relacionada con la activación de los mecanismos de los que dispone para hacer frente al estrés. Las plantas que no poseen mecanismo adecuados de defensa o de respuesta frente al estrés experimentan daños irreversibles y mueren. El desenlace es el mismo cuando la situación de estrés es muy intensa y supera la capacidad de respuesta de la planta.
- b) Aclimatación (endurecimiento o acomodación): es el ajuste morfológico y fisiológico realizado por la planta (como individuo) para compensar el peor funcionamiento de la misma después de la exposición al estrés. Ocurre en una escala de días a semanas. La activación de los mecanismos defensivos o de respuesta conduce a la acomodación del metabolismo celular a las nuevas condiciones, a la activación de los procesos de reparación de maquinaria celular dañada y a la exposición de las adaptaciones morfológicas.
- c) Adaptación: es la respuesta evolutiva que resulta de cambios genéticos en las poblaciones, conduciendo a una compensación morfológica y fisiológica. Ocurre en una escala temporal mucho mayor que la aclimatación, y tras muchas generaciones.

## **2.11 Mecanismos de defensa de las plantas frente al estrés**

La respuesta de las plantas al estrés puede ser de muchos tipos, algunos de ellos específicos de un cierto estrés, mientras que otros son más generales (Azcón-Bieto y Talón, 2008):

- Los cambios en la actividad hormonal. Además de participar en la percepción de la señal, la modificación de los niveles hormonales puede incrementar la resistencia al estrés.
- Las alteraciones en el desarrollo de las plantas. Normalmente se aprecia un menor desarrollo vegetativo, así como una reducción del número de estructuras reproductivas que aceleran su desarrollo para asegurar la siguiente generación.
- La muerte celular y la abscisión de los tejidos dañados que elimina el foco de infección en estrés biótico, disminuye la superficie de transpiración y permite reciclar nutrientes.
- El aumento o la disminución en la actividad de rutas alternativas de disipación y obtención de energía, como la fermentativa.
- La síntesis y acumulación de compuestos osmoprotectores que actúan restaurando el potencial hídrico o bien como protectores de la estructura de membranas y macromoléculas.
- La síntesis de metabolitos secundarios y antioxidantes.

## **2.12 Efecto del estrés en los antioxidantes**

Cuando se presenta el estrés en los cultivos se altera la homeostasis óxido-reducción intracelular, es decir el balance entre prooxidantes y antioxidantes. Este desbalance se produce a causa de una excesiva producción de especies reactivas de oxígeno (ERO), dando lugar a la formación de radicales libres en las plantas (Elejalde, 2001).

La exposición de las plantas a condiciones de elevada salinidad, a temperaturas extremas, a concentraciones elevadas de metales pesados en el sustrato, a radiación ultravioleta, a la contaminación atmosférica, a estrés por sequía o a condiciones de anoxia, provoca una serie de cambios morfológicos, fisiológicos y bioquímicos que afectan negativamente al crecimiento y productividad de los cultivos. Las plantas son capaces de percibir el estrés y responder con diversas estrategias para poder sobrevivir (Yamaguchi y Shinozaki, 2006).

En definitiva, tanto los estreses abióticos, como la salinidad y el estrés hídrico, como los bióticos, como es el estrés inducido por virus, producirán daño oxidativo si la capacidad antioxidante es superada por la generación de ROS. Sin embargo, tanto la producción de ROS como la respuesta antioxidante es variable de acuerdo a la especie y la severidad del estrés (Iturbe *et al.*, 1998).

### **2.13 Efecto de los cultivos en condiciones de estrés hídrico**

El estrés por déficit hídrico o por sequía se produce en las plantas en respuesta a un ambiente escaso de agua, en donde la tasa de transpiración excede a la toma de agua. El déficit hídrico no solo ocurre cuando hay poca agua en el ambiente, sino también por bajas temperaturas y por una elevada salinidad del suelo. Estas condiciones, capaces de inducir una disminución del agua disponible del citoplasma de las células, también se conocen como estrés osmótico (Levitt, 1980).

Las plantas a lo largo de su desarrollo experimentan algún grado de estrés por déficit hídrico. En los sistemas naturales, un déficit de agua puede ser el resultado de bajas precipitaciones, baja capacidad de retención de agua del suelo, excesiva salinidad, temperaturas extremas frías o calientes, baja presión de vapor atmosférica o una combinación de estos factores (Nilsen y Orcutt, 1996).

Las plantas han respondido al estrés hídrico desarrollando evolutivamente adaptaciones tanto a nivel morfológico como anatómico y celular, que les permiten vivir en condiciones de constante estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996).

Las plantas que son capaces de adquirir más agua o que hacen uso más eficiente de esta podrán tener más resistencia al estrés por sequía. De esta manera, algunas plantas poseen adaptaciones tales como el desarrollo del metabolismo C4 o CAM. (Potters *et al.*, 2007).

Las plantas también poseen mecanismos de aclimatación que se activan en respuesta a estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996). Cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente se dan cambios en procesos de desarrollo que tienen varios efectos sobre el crecimiento. Uno de principal importancia es la limitación específica de la expansión foliar. Aunque el área foliar es importante, pues de ella depende la fotosíntesis. Otro proceso que se modifica es el crecimiento radicular. La disponibilidad de agua afecta la relación entre el crecimiento de la parte aérea y la raíz; la raíz continúa su desarrollo mientras que la parte aérea deja de crecer por causa del estrés. Así, las plantas son capaces de continuar el desarrollo de sus raíces en búsqueda de agua en zonas más profundas del suelo (Potters *et al.*, 2007).

Otro mecanismo de resistencia a nivel fisiológico es el cierre de estomas ya que estos son los responsables de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Taiz y Zeiger, 2006).

A nivel celular, otra respuesta de resistencia es el ajuste osmótico, que consiste en una disminución del potencial hídrico en los tejidos vegetales, lo cual tiene como consecuencia la entrada de agua y, por tanto, no se presenta una disminución en el turgor o en la productividad fotosintética (Cushman, 2001).

La respuesta de las plantas a diferentes tipos de estrés generalmente incluye la alteración en la expresión de proteínas. Estos cambios

generalmente están relacionados con el aumento o la disminución de la expresión de genes específicos y dependen de la naturaleza, duración y severidad del estrés. Entre las más importantes por su efecto protector potencial están las involucradas en la vía de síntesis de los osmolitos y las que funcionan como antioxidantes, por ejemplo las proteínas de embriogénesis tardía que permiten a la planta adaptarse a un ambiente hídrico adverso (Zhu *et al.*, 2002).

#### **2.14 Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento de las plantas de tomate**

El crecimiento vegetal, entendido como un aumento irreversible en tamaño de los organismos, implica a nivel fisiológico una serie de cambios y reacciones de tipo bioquímico, de las cuales dependerá finalmente el comportamiento agronómico y el rendimiento potencial de los diferentes genotipos. Generalmente, el crecimiento se determina mediante medidas directas (altura de la planta, diámetro del tallo, número de hojas, área foliar, masa seca) e indirectas como la tasa de asimilación neta, tasa de crecimiento del cultivo, tasa relativa de crecimiento, etc. Se debe señalar que el crecimiento está ligado a factores ambientales como luz, temperatura y humedad, entre otros (Salisbury y Ross, 1994).

El déficit hídrico es el estrés abiótico de mayor incidencia en el crecimiento de las plantas. En el tomate tanto la sequía como el exceso de agua repercuten en el crecimiento; la sequía reduce de manera considerable el crecimiento vegetativo, causando con ello el desarrollo general de la

planta; por el contrario el exceso de agua produce que el cultivo tenga un excesivo crecimiento y una mayor susceptibilidad al ataque de plagas y enfermedades (Volaire, 2003).

El exceso de agua, especialmente en suelos fértiles, causa también un crecimiento considerable de las ramas y baja productividad; por el contrario, si el suelo se seca excesivamente, causa que los frutos se revienten (González y Hernández, 2000).

### **2.15 Propiedades nutricionales del tomate**

El valor nutricional del tomate en 100 g de producto comestible es de: 94g de agua, 7 mg de calcio, 0.5 mg de hierro, 23 mg de fósforo, 204 mg de potasio, 13 mg de sodio, 17.6 mg de ácido ascórbico, 520 µg de vitamina A, 4.3 g de carbohidratos, 0.5 g de fibra, 0.2 g de grasa, 0.9 g de proteínas y aporta 19 kcal. (INFOAGRO, 2002).

También es un fruto que aporta antioxidantes a la dieta humana como lo es el licopeno el cual representa del 80 al 90 % de los carotenoides que se encuentran en el tomate, y su cantidad aproximada en la hortaliza es alrededor de 3000µg/100g es decir una concentración de 0.003%; esto cuando es cultivado a campo abierto (Cardona *et al.*, 2006).

### **2.16 Efectos de los antioxidantes en la dieta humana**

Los antioxidantes son importantes en la dieta humana, ya que ayudan a prevenir muchas enfermedades.

- **Carotenoides:** son los pigmentos responsables de los colores de muchas frutas y hortalizas rojas, verdes, amarillos y anaranjados. Los carotenoides constituyen una familia grande de fotoquímicos, los cuales pueden incluir alfa-caroteno, beta-caroteno, luteína, licopeno, criptoxantina, cantaxantina, zeaxantina y otros. Los carotenoides protegen el cuerpo al disminuir el riesgo de enfermedades del corazón, ataque, ceguera y ciertos tipos de cáncer. También pueden ayudar a retrasar los procesos de envejecimiento, reducen las complicaciones asociadas con diabetes y mejoran las funciones de los pulmones (Olson, 1999).
- **Flavonoides:** los flavonoides son otra gran familia grande de fotoquímicos protectores encontrados en frutas y hortalizas. Los flavonoides, también llamados bioflavonoides, neutralizan o inactivan radicales libres. Hay muchos tipos diferentes de flavonoides incluyendo resveratrol, antocianinas, quercitina, hesperidina, tangeritina, kaempferol, miricentina y apigenina (Beecher, 1999).
- **Compuestos fenólicos:** los compuestos fenólicos pueden reducir el riesgo de enfermedades del corazón y ciertos tipos de cáncer (Meier *et al.*, 1999).

Los antioxidantes engloban un grupo de sustancias que presentan mecanismos de acción muy variados. Estos pueden inhibir o retardar la

oxidación de dos formas: captando radicales libres (antioxidantes primarios), o por mecanismos que no estén relacionados con la captación de radicales libres también; llamados antioxidantes secundarios (Gordon, 2001).

### **2.17 Importancia del potencial antioxidante en el tomate**

La mayor parte de las principales enfermedades que provocan la muerte de las personas o deterioran su calidad de vida están provocadas por radicales libres. Cada célula del cuerpo padece unos 10,000 impactos de radicales libres al día (Youngson, 2004).

Estudios epidemiológicos han sugerido que el consumo de tomates y de productos derivados del mismo reduce el riesgo de contraer enfermedades crónicas, tales como las cardiovasculares y el cáncer (Sesso *et al.*, 2003).

Los tomates son ricos en vitaminas A y C,  $\beta$ -caroteno, licopeno y otros antioxidantes. El ser humano está protegido del estrés oxidativo gracias a la acción de estas sustancias antioxidantes que poseen diferentes funciones (Shi *et al.*, 2001)

En España se hizo un estudio de fuentes de vitamina C, E y carotenoides específicos. Establecieron que los tomates son los primeros como fuente de licopeno (71.6%), segundos como fuente de vitamina C (12%) y  $\beta$ -caroteno (17.2%), y ocupa el tercer lugar como fuente de vitamina E (6%). Sin embargo, factores varietales y medioambientales pueden iniciar cambios desfavorables en la composición química. La variación de las

condiciones climáticas entre las diferentes estaciones podría influir significativamente en los perfiles de composición de los tomates (Raffo *et al.*, 2006).

### **2.18 Importancia de la vitamina C como antioxidante**

La vitamina C está presente en las frutas, verduras y patatas en forma de ácido L-ascórbico y ácido dehidroascórbico. El ascorbato es, probablemente el antioxidante hidrosoluble más efectivo presente en el plasma. Es capaz de atrapar y reducir nitritos, inhibiendo por tanto la formación en el estómago de compuestos carcinogénico N-nitroso (Jonson *et al.*, 2001).

Se ha demostrado que el ácido ascórbico es un aceptor de radicales muy efectivo frente al superóxido, peróxido de hidrógeno, hipoclorito, radical hidroxilo, radical peroxilo y oxígeno singulete (Yanishlieva y Maslarova, 2001).

La vitamina C es un inhibidor de la oxidación de lípidos, regenera la Vitamina E y ofrece protección a todo tipo de cánceres; es un ingrediente indispensable en los procesos metabólicos del cuerpo humano y entre otros beneficios protege las células del cerebro y la medula espinal, ayuda al desarrollo de dientes y encías, huesos, a la absorción del hierro, al crecimiento, reparación del tejido conectivo normal, la producción de colágeno, metabolización de grasas y a la cicatrización de heridas. (Jonson *et al.*, 2001).

La dosis diaria de vitamina C recomendada por el instituto nacional de nutrición (México), es de 40 mg. para niños menores de 10 años y 60 mg. Para adolescentes y adultos. A las mujeres embarazadas se les recomienda de 80 a 120 mg. diariamente; se recomienda aumentar la dosis cuando se está sometido a estrés, cargas excesivas de trabajo, etc.

El único inconveniente es que su ingesta en grandes cantidades puede ocasionar presencia de cálculos en riñones y vías urinarias (Olivares *et al.*, 2010).

### **2.19 Interacción entre el contenido de la vitamina C y la cantidad de agua de riego**

La concentración de vitamina C puede variar por el volumen de agua, ya que cuando se utilizan bajas láminas de riego la conductividad eléctrica tiende a aumentar por una mayor concentración de sales en la cantidad de agua, dando por resultado el aumento en el contenido de vitamina C en el fruto (Perengüez, 2011).

Sin embargo en estudios en cítricos en la que se utilizaron 3 láminas de riego una con 1200 mm, otra de 900 mm y una de 600 mm; siendo la lámina de 120 mm el testigo; sin embargo no se encontró diferencia significativa en la concentración de vitamina C. Este resultado se explicaría en virtud de que la concentración de esta vitamina se mantiene más o menos estable en el fruto una vez alcanzada su madurez fisiológica (Wagner *et al.*, 2002).

En un estudio realizado en Brasil se encontró que la restricción del 25% del volumen de riego necesario para el cultivo del tomate, se disminuyó en 40% el tamaño del fruto, sin embargo las concentraciones de vitamina C y fenoles fueron un 55% y 139% superiores respecto a tomates convencionales (Oliveira *et al.*, 2013).

## **III MATERIALES Y MÉTODOS**

### **3.1. Ubicación del experimento**

El presente trabajo se realizó en un invernadero, de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México. Ubicado a 25°21' latitud norte y 101°01' longitud Oeste y con una altura media sobre el nivel del mar de 1779 msnm (Google Earth, 2013).

### **3.2 Descripción del material vegetal evaluado**

El material utilizado para este experimento fue, tomate bola de crecimiento indeterminado variedad "caimán", es una planta semicompacta con buen amarre de frutos en calor moderado. El fruto es redondo sin hombros verdes y su color es rojo brillante llegando a pesar 270g. Tiene un buen cierre apical y firmeza. Su precocidad es temprana para invernaderos y campo abierto, siempre y cuando las condiciones sean favorables (Hydroenv, 2012).

### **3.3 Manejo del cultivo**

#### **3.3.1 Siembra**

La siembra se realizó en una charola de 128 cavidades utilizando como sustrato peat-moss, día 24 de Mayo de 2012, la germinación tuvo lugar el día 30 de mayo de 2012.

### **3.3.2 Trasplante**

Antes del trasplante se preparó el sustrato, con una mezcla de 50% de peat moss y 50 % de perlita en base a volumen, posteriormente se llenaron macetas de 12 litros en donde se realizó el trasplante el día 27 de junio de 2012.

### **3.3.3 Tutorado**

Para esto se utilizaron hilos de polietileno amarrados a cables de acero transversales que soportaron el peso del cultivo, y la conducción se inició el 22 de Julio de 2012.

### **3.3.4 Nutrición**

Para la nutrición del cultivo se utilizaron productos de tradecorp, usando la recomendación para cada etapa fenológica del cultivo del tomate la cual fue la siguiente:

Nitrolour: 2ml por litro (vía foliar)

Cobre: 0.5 ml por litro (vía foliar)

Zinc y molibdeno: 0.7 y 0.4 ml por litro (vía foliar)

Calcio: 2 ml por litro (vía foliar)

Trafos k: 2ml por litro (vía foliar)

Fierro: 0.7 g por litro (vía suelo)

Magnesio: 1.5 ml por litro (vía suelo)

Boro: 0.5 ml por litro (vía foliar)

Manganeso: 0.4 ml (vía foliar)

### 3.3.5 Plagas y enfermedades presentadas en el cultivo

Solo se presentó la mosca blanca y para su control se utilizó confidor, imidacron y lanate.

### 3.4 Descripción de los Tratamientos

El trabajo se estableció bajo un arreglo de tratamientos completamente al azar, con 6 tratamientos y 10 repeticiones, los tratamientos estudiados se detallan en los cuadros 1, 2 y 3.

**Cuadro1.** Descripción de los tratamientos del experimento en etapa de plántula.

Tratamiento	Nivel de Humedad (en centibares)	Cantidad de Agua por Planta ml Maceta	ETAPA VEGETATIVA
1	20	5 ml	ETAPA DE PLANTULA 0-30 DDS
2	30	10 ml	
3	40	15 ml	
4	50	20 ml	
5	60	25 ml	
6	70	30 ml	

**Cuadro 2.** Descripción de los tratamientos en etapa de crecimiento vegetativo.

Tratamiento	Nivel de Humedad (en centibares)	Cantidad de Agua por Planta ml Maceta	ETAPA VEGETATIVA
1	20	1500 ml	ETAPA DE CREC VEG 31 - 55 DDS
2	30	1250 ml	
3	40	1000 ml	
4	50	750 ml	
5	60	500 ml	
6	70	250 ml	

**Cuadro 3.** Descripción de los tratamientos en etapa reproductiva.

<b>Tratamiento</b>	<b>Nivel de Humedad (en centibares)</b>	<b>Cantidad de Agua por Planta ml Maceta</b>	<b>ETAPA VEGETATIVA</b>
1	20	2100 ml	ETAPA DE FLORACION - FRUCTIFICACION 56 - 100 DDS
2	30	2000 ml	
3	40	1900 ml	
4	50	1800 ml	
5	60	1700 ml	
6	70	1600 ml	

### **3.5 Variables evaluadas**

#### **3.5.1 Altura**

En la determinación de la variable altura de planta se utilizó una cinta métrica graduada en centímetros y milímetros para esta variable se tomó la altura desde la base del tallo hasta la parte más alta del ápice.

#### **3.5.2 Número de hojas**

Únicamente se contó el número de hojas bien desarrolladas (hojas adultas), y que ya tienen la suficiente capacidad fotosintética como para proveer de foto asimilados a la planta.

#### **3.5.3 Área foliar**

Para el area foliar se utilizó un medidor de área foliar portable marca Li-cor y se tomaron 3 lecturas por cada planta, para esto únicamente se pasaba el sensor por la hoja y nos daba directamente la lectura en cm<sup>2</sup>.

### **3.5.4 Firmeza**

La firmeza de los frutos, se obtuvo con ayuda de un penetrómetro manual calibrado en el sistema métrico ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ ), para esto se utilizó la puntilla de 8mm para esto se tomaron 2 muestras y se obtuvo el promedio.

### **3.5.5 Vitamina C**

El procedimiento para determinar la vitamina C fue el siguiente:

1. Se pesaron 20 g de muestra y se colocaron en un mortero.
2. Se trituro cuidadosamente con 10 ml de HCL al 2%.
3. Se añaden 100 ml de agua destilada y se homogeniza
4. Se filtró el contenido del mortero a través de una gasa, recibir el filtrado en un matraz Erlenmeyer y medir el volumen exacto.
5. Se tomaron 10 ml del filtrado y se pusieron en otro matraz Erlenmeyer.
6. Con la bureta se midió un volumen conocido de reactivo Thielman.
7. Se tituló la alícuota hasta la aparición de una coloración rosa que no desaparezca durante 30 segundos y se tomó lectura en mililitros gastados del reactivo Thielman
8. Se hizo el cálculo de vitamina C, con la siguiente fórmula:

$$\text{vitamina C} = \frac{\text{VA} \times 0.088 \times \text{VT} \times 100}{\text{P} \times 10\text{ml}}$$

**Donde:**

0.088= miligramos de ácido ascórbico equivalentes a 1ml de reactivo Thielman

VT= Volumen total en ml del filtrado de vitamina C en HCL.

VA= Volumen en ml de la alícuota valorada.

P= Peso de la muestra en gramos.

### **3.5.6 Potencial redox**

El potencial redox se midió con ayuda de un potenciómetro marca Hanna, para esto se utilizó un tomate para cada tratamiento, cada tomate se colocó dentro de una bolsita de plástico, posteriormente se trituró en un mortero pero sin sacarlo de la bolsita para evitar su contaminación, finalmente se introdujo el sensor del potenciómetro al tomate triturado y se tomó la lectura de cada tratamiento.

### **3.5.7 Sólidos solubles totales**

El contenido de sólidos solubles totales se determinó por medio de un refractómetro marca OPL, para esto únicamente se colocaba una gota lo suficientemente grande para que cubriera el sensor del refractómetro, se cerraba la tapa y se tomaba la lectura mirando por el lente del refractómetro en contra de la luz.

### **3.6 Frecuencia de los Muestreos**

Para las variables de altura de planta, número de hojas y diámetro del tallo se tomaron lecturas cada 7 días, para la variable de área foliar se midió al momento de la floración, para las variables de firmeza, vitamina C, potencial redox y sólidos solubles totales se realizaron al momento de la cosecha tomando los frutos representativos de cada tratamiento.

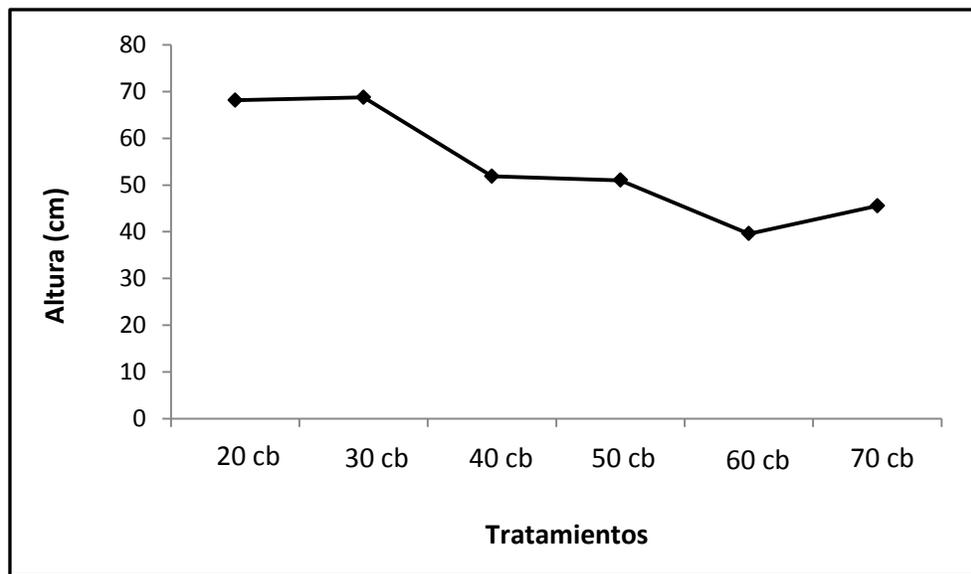
### **3.7 Análisis Estadístico**

El análisis estadístico de los datos se realizó mediante análisis de varianza (ANVA), donde se evaluó el efecto de los tratamientos. Usando el programa SAS versión 9.0 (Statistical Analysis System) bajo el modelo DBCA, posteriormente se realizó la comparación de medias, empleando la prueba de promedios de Tukey al 5%

## IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Altura

Los resultados para la variable de altura muestran que si hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que muestran las siguientes tendencias.

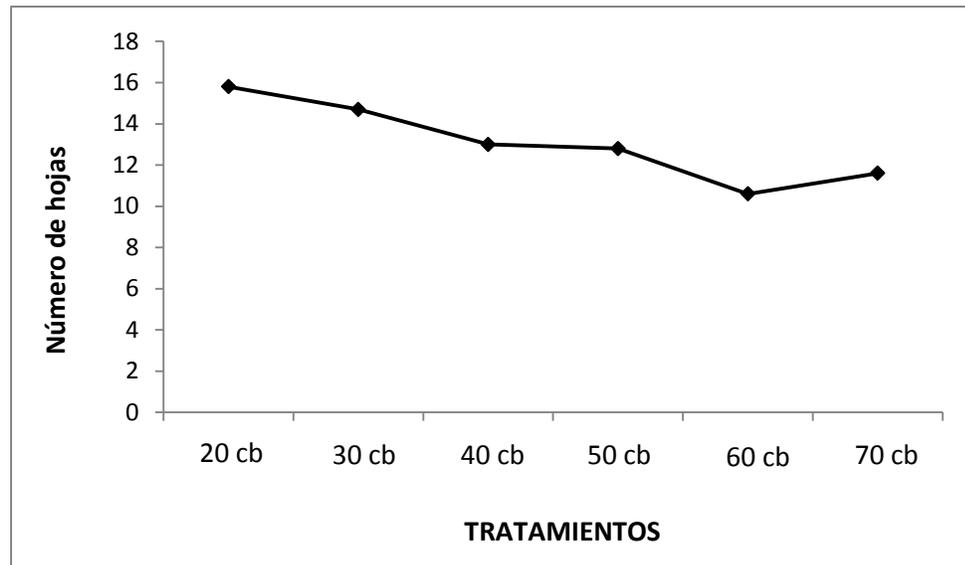


**Figura 1.** Comportamiento de las medias para la variable altura de planta de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.

Los resultados de la variable altura de planta mostraron que el testigo y el tratamiento 2 son los que obtuvieron mayor resultado con 68.15 cm y 68.75 cm respectivamente. Estos valores fueron superiores a los tratamientos 3 y 4 que obtuvieron valores de 51.01 y 51.86 cm respectivamente, el tratamiento 5 fue el que obtuvo el valor más bajo con una altura de 39.57 cm. Esto se le atribuye a que un riego deficiente conduce a un estrés por déficit hídrico, causando un crecimiento deficiente en las plantas (Perengüez, 2011).

#### 4.2 Número de hojas

Los resultados para la variable de número de hojas muestran que si hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que se muestran las siguientes tendencias.

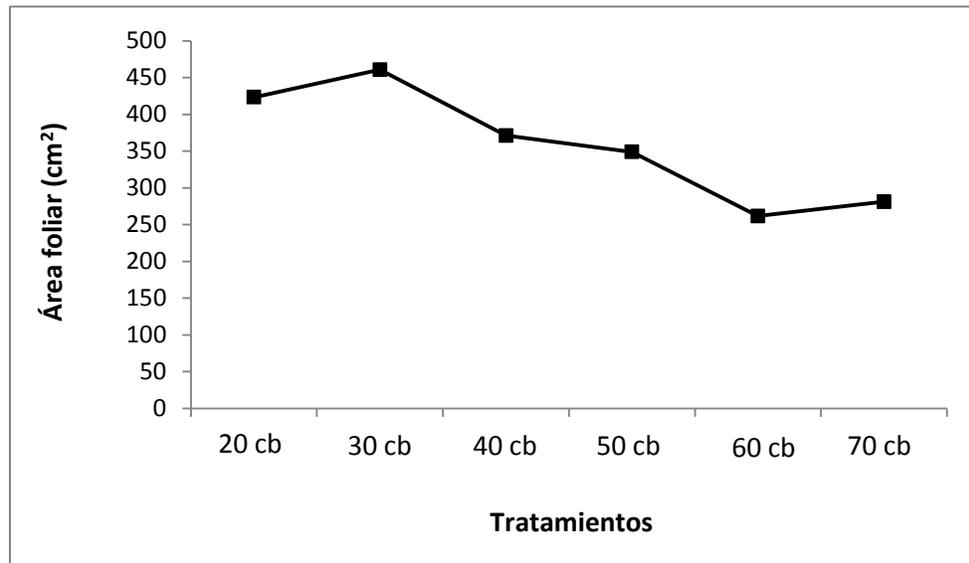


**Figura 2.** Comportamiento de las medias para la variable número de hojas en plantas de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.

Los resultados de la variable número de hojas mostraron resultados muy similares a la variable anterior, ya que el testigo y el tratamiento 2 tienen los mejores resultados para esta variable con 15.8 y 14.7 hojas para cada tratamiento; los tratamientos 3 y 4 vuelven a mostrar resultados muy similares entre ellos con 13 y 12.8 hojas respectivamente y los tratamientos 5 y 6 vuelven a mostrar los resultados más bajos con 10.6 y 11.6 hojas cada uno.

### 4.3 Área foliar

Los resultados para la variable de área foliar muestran que si hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que se muestran las siguientes tendencias.

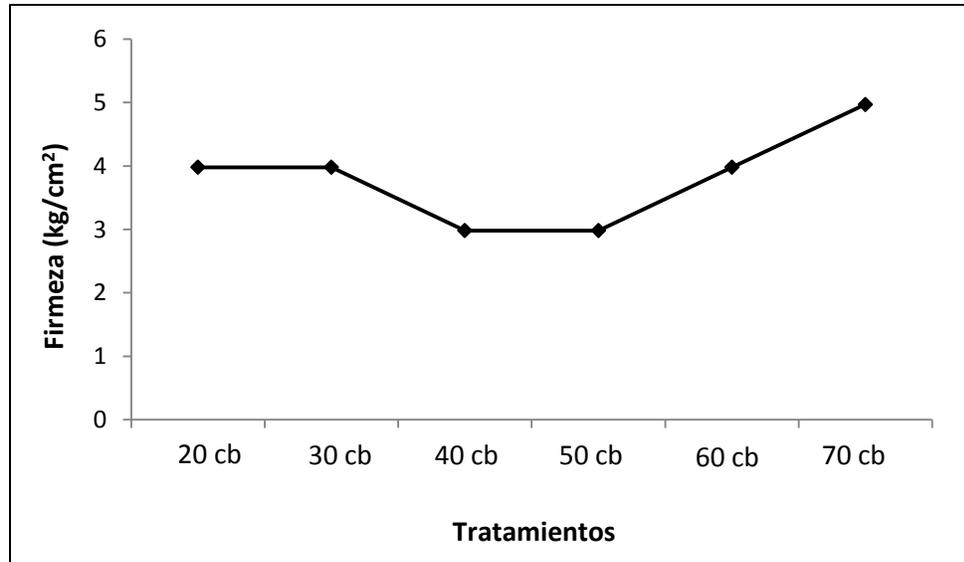


**Figura 3.** Comportamiento de las medias para la variable área foliar en plantas de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.

Los resultados de la variable área foliar muestran que el tratamiento 2 es el que mostró mejor resultado, destacando además que todos los tratamientos están por debajo del tratamiento 2; siendo el tratamiento 5 con un nivel hídrico de 60cb el que mostró el valor más bajo en un 56 % respecto al tratamiento 2. Esto se debe a que a medida que el estrés por déficit hídrico produce una disminución gradual en la biomasa foliar y con esto aumenta el punto crítico de supervivencia del individuo (Vilagrosa *et al*, 2003).

#### 4.4 Firmeza

Los resultados para la variable de firmeza muestran que si hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que se muestran las siguientes tendencias.

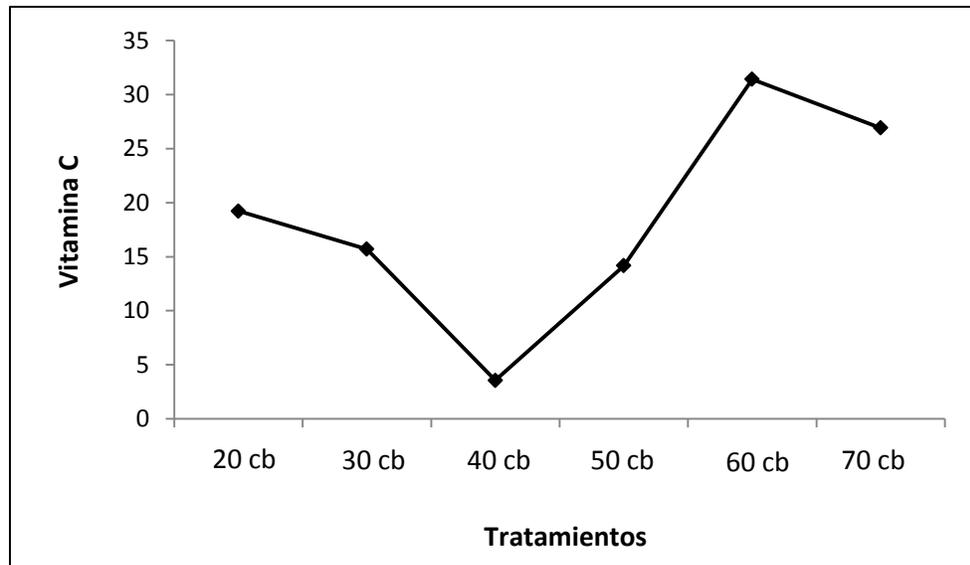


**Figura 4.** Comportamiento de las medias para la variable firmeza de frutos de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.

Los resultados de la variable firmeza de tomate muestran que el tratamiento 6 mostro el mejor resultado con una firmeza de  $4.97 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$  siendo 20% superior al testigo, mientras que los tratamientos que mostraron la menor firmeza fueron los tratamientos 3 y 4 con exactamente la misma firmeza que fue de  $2.98 \text{ kg}$ . Según Cantwel (2004) menciona que la mayor resistencia que ha puesto el tomate es de  $1.8 \text{ kg}\cdot\text{cm}^2$ . Por lo que los tratamientos se encuentran en un rango muy superior a lo normal esto puede deberse a que los tomates evaluados tenían un tamaño pequeño.

#### 4.5 Vitamina C

Los resultados para la variable de vitamina C muestran que si hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que se muestran las siguientes tendencias.

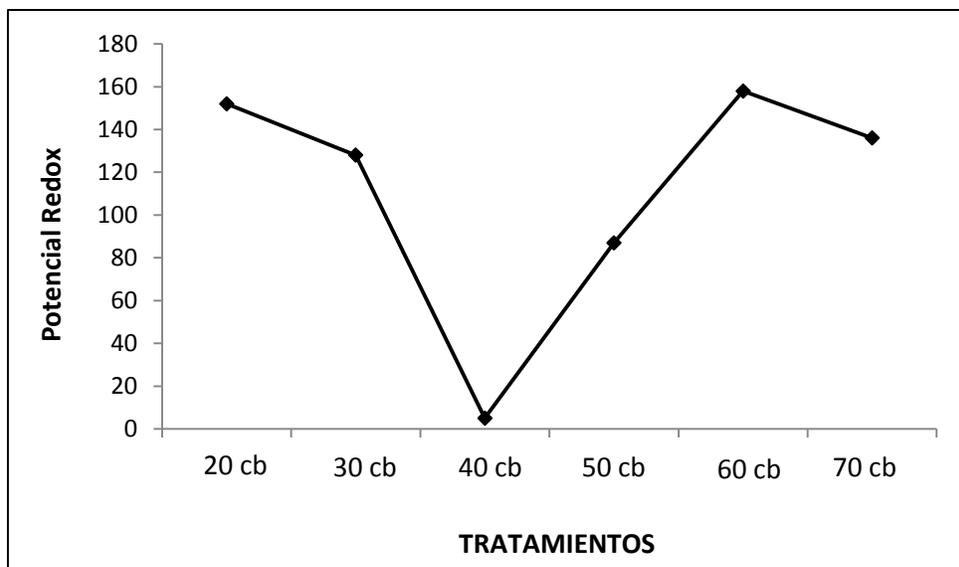


**Figura 5.** Comportamiento de las medias para la variable Vitamina C en frutos de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.

Los resultados de la variable vitamina C muestran que los tratamientos 5 y 6 obtuvieron resultados significativamente mayores respecto a los demás tratamientos; sin embargo numéricamente es mejor el tratamiento 5. El tratamiento que mostro el valor más bajo fue el tratamiento 3, el cual contenía hasta 87% menos de vitamina C que el tratamiento 5. Según Liptay *et al* (2006), el contenido promedio de vitamina C en un tomate es de 19mg por cada 100g de tomate, por lo que algunos de los tratamientos se encuentran dentro del rango normal.

#### 4.6 Potencial redox

Los resultados para la variable de potencial redox muestran que si hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que se muestran las siguientes tendencias.

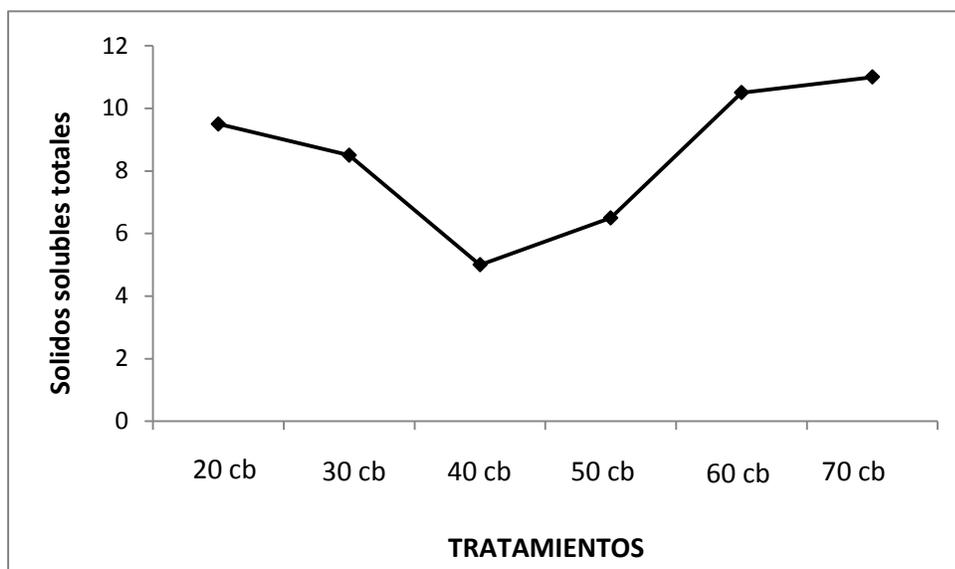


**Figura 6.** Comportamiento de las medias para la variable potencial redox en frutos de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.

Los resultados de la variable potencial redox muestran que los tratamientos 5 y 6 obtuvieron resultados significativamente mayores respecto a los demás tratamientos; sin embargo numéricamente es mejor el tratamiento 5. El tratamiento que mostro el valor más bajo fue el tratamiento 3, el cual contenía hasta 87% menos de vitamina C que el tratamiento 5. Según Liptay *et al* (2006), el contenido promedio de vitamina C en un tomate es de 19mg por cada 100g de tomate, por lo que algunos de los tratamientos se encuentran dentro del rango normal.

#### 4.7 Sólidos solubles totales

Los resultados para la variable de sólidos solubles totales muestran que si hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que se muestran las siguientes tendencias.



**Figura 7.** Comportamiento de las medias para la variable sólidos solubles totales en frutos de tomate cultivado bajo diferentes ambientes hídricos.

Los resultados de la variable sólidos solubles totales muestran que el tratamiento 6 obtuvo el mejor resultado con 11 °brix; mientras que el tratamiento que mostró el más bajo valor fue el tratamiento 3 siendo este 55% menor que el valor del tratamiento 11. Aguayo y artes (2004) mencionan que los rangos del tomate en contenido de grados Brix es de 4 a 6, por lo tanto algunos de los resultados obtenidos en el presente experimento están muy por encima del rango.

## V. CONCLUSIONES

- El manejo de diferentes tensiones de humedad en el sustrato, tuvo un efecto significativo en las diferentes variables bajo estudio.
- La humedad del sustrato a una tensión de 20 y 30 Cb, mostraron el mejor resultado en la altura de planta, número de hojas y área foliar.
- A 70cb se obtuvo una mayor firmeza, vitamina C y sólidos solubles totales o grados Brix.
- El mayor potencial redox, en el fruto se encontró en un contenido de humedad de 60 Cb.

## VI. BIBLIOGRAFÍA

**Aguayo, E. y Artes, F.** 2004. Elaboración del tomate mínimamente procesado en fresco. Compendios de Horticultura. 15. Ediciones de Horticultura S.L. Reus. España. Pag 16.

**Aguilar, A. J., Capulín, G.J., Grageda, O. A., Solís, M. E. y Vuelvas, C. M.** 2005. Efecto del nitrógeno, algaenzims y fertirrigación por goteo en chile jalapeño en Guanajuato. Pp 231-235. In: second world pepper convention 2005, del 14 al 16 de Agosto, Zacatecas, México.

**Almudena, M. V.** 2008. Respuesta fisiológica de los citricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico. Aspectos comunes y específicos. Tesis doctoral. Universidad Jaume I. Castellón de la plana. Pag 8-12.

**Azcón-Bieto, J. y Talón, M.** 2008. Fundamentos de fisiología vegetal. Capítulo 29: Fisiología de las plantas y el estrés. Segunda edición. Interamericana-Mc Graw Hill. Madrid. España. 597-597.

**Beecher, G. R.** 1999. Overview of dietary flavonoids: Nomenclature, occurrence and intake. Environ Health perspect. 107 (1): 109-114.

**Benavides Mendoza, M.** 2002. Ecofisiología y bioquímica del estrés en plantas. Departamento de horticultura. UAAAN. Pag 6-7.

- Candolle, A.** 1883. Origine des plants cultivées. Bailliere. Paris.
- Cantwell, M.** 2004. Fresh market tomato statewide uniform variety trial report field and postharvest evaluations south Joaquin Valley. UCCE.
- Cardona, E., Ríos, L. y Restrepo, G.** 2006. Extraction of the carotenoid lycopene from chonto tomato. Revista de la Universidad de Antioquia. Colombia. 13 (2): 44-53
- Cushman, J. C.** 2001. Osmoregulation in plants: implications for agriculture. Amer. Zool. 41:758-759.
- Corpeño, B.** 2004. Manual del cultivo del tomate. Centro de investigación. Desarrollo y exportación de agronegocios. San Salvador, El Salvador. Pag 21.
- Dogliotti, S.** 2003. Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Universidad de la República. Montevideo. Uruguay. Pag 4-6.
- Dumas, Y., Dadomo, M., Lucca, G. d., Grolier, P.** 2003, Review Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. J. Sci Food Agric. 83 (5) 369- 382.
- Elejalde, J. I. G.** 2001. Estrés oxidativo, enfermedades y tratamientos antioxidantes. An. Med. Interna. 18(6): 326-335.

- Galiana-Balaguer, L., Rosello, S., Herrero-Martínez, J.M., Maquieira, A. y Nuez, F.** 2001. Determination of L-Ascorbic Acid in Lycopersicon Fruits by Capillary Zone Electrophoresis. *Anal Biochem* 296:218-224.
- Gonzales, A. y Hernández, B.** 2000. Estimación de las necesidades hídricas del tomate Terra. Latinoamérica. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 18:45-50.
- González, M. y Ruz, E.** 2001. Efecto de la aplicación de diferentes volúmenes de agua de riego y fertilización nitrogenada sobre el rendimiento y calidad de tomate industrial. *Agricultura técnica. Chile.* 59:319-321.
- Gordon, M. H.** 2001. El desarrollo del Enranciamiento oxidativo en los alimentos. Ed. ACRIBIA. Zaragoza. España. Pag 7-21.
- Iturbe Ormaetxe, I., Escuredo, P. R., Arrese Igor, C. y Becana, M.** 1998. Oxidative damage in pea plants exposed to water deficit or paraquat. *Journal of plant physiology.* 116:173-181.
- Jensen, M. E., Burman, R. D. y Allen, R. G.** 1990. Evapotranspiration and irrigation water requirements. ASCE manual and reports of engineering practice N° 70. Pag 332.

- Jonson, I. T., Southon S. y Faulks, R.** 2001. Predicción de la biodisponibilidad de los antioxidantes de los alimentos: el caso de los carotenoids. Pag 119-123.
- Lambers, H.; Stuart, F.; Pons, T.** 1998. Plant physiological ecology. Springer-Verlag, New York.
- Larcher, N.E.** 1995. Physiological plant ecology. Berlin. Heidelberg. Pag 506.
- Levitt, J.** 1980. Responses of plants to environmental stresses. Academic press. New York. NY.
- Liptay, A., Papadopoulos, A. P., Bryan, H. y Gull, D.** 2006. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes. Journal of food composition and analysis. 19: 11-19.
- Macías Hernández, R.** 2009. Estimación de la evapotranspiración de cultivo y requerimientos hídricos del tomate (*Solanum lycopersicum*. Cv. El Cid) en invernadero. Tesis de maestría. Instituto Politécnico Nacional.
- Macua Gonzalez, J. I., Lahoz García, I., Calvillo Ruiz, S. y Bozal Yanguas, J. M.** 2012. Variedades de tomate para industria. Navarra Agraria. Edición 2013.
- Meier, D. O., Schlatter J. M. y Frischknecht, P.** 1999. Selected phenolic compounds in cultivated plants: ecologic function, Health

implications, and modulation by pesticides. Environ Health perspect.  
107(1): 115-119.

**Nilsen, E. T. y Orcutt, D. M.** 1996. Physiology of plants under stress.  
Abiotic Factors. Jhon Wiley and sons. New York. NY

**Nuez, F.** 2001. El cultivo del tomate. Ed. Mundiprensa. Barcelona. España.  
Pp 7.

**Nuño Moreno, R., Ponce Medina, J. F., Hernandez Zavalza, C. y  
Machain Servín, G. M.** 2007. Manual de producción de tomate rojo  
bajo condiciones de invernadero. Fundación produce. Mexicali.  
Baja California. México. Pag 3-4.

**Olivares, D. L., Betanzos, C. G. y Sumaya, M. T.** 2010. Importancia de  
los antioxidantes dietarios en la disminución del estrés oxidativo.  
Investigación y ciencia. 50: 10-15.

**Oliveira, A., Moura, C., Gomes, E. y Marco, C.** 2013. The impact of  
organic farming on quality of tomatoes is associated to increased  
oxidative stress during fruit development. PLOS ONE. 8(2): 354-  
356.

**Olson, J.A.** 1999. Carotenoids and human Health. Arch latinoam nutr. 49  
(3): 7-11.

**Perengüez Cardona, O. E.** 2011. Respuesta Fisiológica del Tomate  
(*Solanum lycopersicum* L) UNAPAL-maravilla, a diferentes láminas

de riego y su efecto en la absorción de nutrientes. Tesis de maestría. Universidad Autónoma de Colombia.

**Potters, G., Pasternak, T. P., Guisez, Y. Palme, K. J. y Jansen, M.**

2007. Stress induced morphogenic responses: growing out of trouble. Trends plants sci. 12 (3): 99-105.

**Raffo, A., Lamalfa, G., Fogliano, V., Maniani, G. y Quaglia, G.** 2006.

Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes. Journal of food composition and analysis. 19: 305-309.

**Rick, C.M.** 1978. El tomate investigación y ciencia. The tomato. Sci. Amer.

239(2): 45-55

**SAGARPA.** 2010. Monografía de cultivos. Jitomate. Pag 1-10.

**Salisbury, F. B. y Ross, C. W.** 1994. Fisiología vegetal. Grupo Editorial

Iberoamericana S.A., México. 750 p.

**Sánchez, M. I.** 2002. Métodos para el estudio de la evaporación y la

evapotranspiración. Cuadernos técnicos sociedad española de geomorfología. 3: 36-37.

**Sesso, H. D., Lui S., Gaziano, J. M. y Buring, J. E.** 2003. Dietary

licopeno, tomato-based food products and cardiovascular disease in women. Journal food composition and analysis. 19: 11-19.

- Shi, H., Noguchi, N. y Niki, E.** 2001. Introducción a los antioxidantes naturales. Antioxidantes de los alimentos, aplicaciones prácticas. Zaragoza. España. Pag 141-151.
- Soto-Zamora, G., Yahia, E.M., Brecht, J.K. y Gardea A.** 2005. Effects of postharvest hot air treatments on the quality and antioxidant levels in tomato fruit, en: *LWT*. Vol 38, pp. 657-663.
- Taiz, L. y Zeinger, E.** 2006. Plant Physiology. 4<sup>th</sup> ed. Sinauer associates, Sunderland, M. A.
- Ultria Borges, E., Cabrera Rodriguez, J. A., Reynaldo Escobar, I. M., Morales Guevara, D. y Toledo Toledo, E.** 2008. Utilización agraria de los biosólidos y su influencia en el crecimiento de plántulas de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill). 2008. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 14 (1): 4-6.
- Vilagrosa, A., Bellot, V., Vallejo, R y Pelegrin, E.** 2003. Cavitation, stomatal conduntance, and leaf dieback in seedlings of two co-occurring Mediterranean shurbs during and intense drought. Journal of Experimental Botany. 54: 2015-2024.
- Villarreal, R.L.** 1980. Tomato in the tropics. Westview press boulder, Colorado. 337-342.
- Voltaire, F.** 2003. Seedling survival under drought differs between an annual and a perennial grass. New phytol. 160:501-507

**Wagner, M., Laborem, G., Marin, C., Medina, G., Rangel, L.** 2002.

Efecto de diferentes patrones de cítricas e intervalos de riego sobre la calidad y producción de la naranja “Valencia”. *Bioagro*. 14(2): 71-76.

**Wesburger, J.H.** 2002. Lycopene and tomato products in health

promotion. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicum esculentum* cv. Naomi F1), en: *Journal of Food Composition and Analysis*. Vol 19, pp. 11-19.

**Yamaguchi Shinozahi, K y Shinozaki, K.** 2006. Transcriptional

regulatory networks in cellular responses and tolerance to dehydration and cold stresses: annual review of plan Biology. 57:781-803.

**Yanishlieva, N y Maslarova, V.** 2001. Origen de los antioxidants

naturales: verduras, frutas, hierbas, especias y tés. Pag 119-121.

**Zhu, J. K., Scumaker, K. S. y Xiong, L.** 2002. Cell signaling during cold,

drought, and salt stress. *Plant cell*. 14: 165.183.

#### **Páginas consultadas en Internet:**

<http://www.infoagro.com/hortalizas/tomate.html>. Acceso en línea. Mayo de 2013.

[www.siap.gob.mx](http://www.siap.gob.mx). Acceso en línea. Mayo de 2013.

## VII. APENDICE

**Apéndice 1.** Comparación de las medias de altura de plantas de tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.

<b>Agrupamiento Tukey</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>T</b>
A	68.75	10	5
A	68.15	10	6
B	51.86	10	4
B	51.01	10	3
BC	45.53	10	2
C	39.57	10	1

Agrupamiento de las medias para la variable altura de plantas mediante la comparación de medias por Tukey ( $p \geq 0.05$ ), medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Apéndice 2.** Comparación de las medias del número de hojas en plantas de tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.

<b>Agrupamiento Tukey</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>T</b>
A	15.8	10	6
A	14.7	10	5
B	13	10	4
B	12.8	10	3
C	11.6	10	1
C	10.6	10	2

Agrupamiento de las medias para la variable número de hojas de plantas de tomate mediante la comparación de medias por Tukey ( $p \geq 0.05$ ), medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Apéndice 3.** Comparación de las medias del área foliar en plantas de tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.

<b>Agrupamiento Tukey</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>T</b>
A	460.86	5	5
AB	423.45	5	6
ABC	371.25	5	4
BC	349.04	5	3
C	281.28	5	1
C	261.61	5	2

Agrupamiento de las medias para la variable área foliar de plantas de tomate mediante la comparación de medias por Tukey ( $p \geq 0.05$ ), medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Apéndice 4.** Comparación de las medias de Vitamina C en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.

<b>Agrupamiento Tukey</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>T</b>
A	31.428	4	2
A	26.928	4	1
B	19.223	4	6
B	15.698	4	5
B	14.178	4	3
C	3.555	4	4

Agrupamiento de las medias para la variable Vitamina C en frutos de tomate mediante la comparación de medias por Tukey ( $p \geq 0.05$ ), medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Apéndice 5.** Comparación de las medias de firmeza en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.

<b>Agrupamiento Tukey</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>T</b>
A	4.97	4	1
AB	3.98	4	2
AB	3.98	4	5
AB	3.98	4	6
B	2.98	4	3
B	2.98	4	4

Agrupamiento de las medias para la variable firmeza de frutos de tomate mediante la comparación de medias por Tukey ( $p \geq 0.05$ ), medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Apéndice 6.** Comparación de las medias de potencial redox de frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.

<b>Agrupamiento Tukey</b>	<b>Media</b>	<b>N</b>	<b>T</b>
A	158	4	2
AB	152	4	6
BC	136	4	1
C	128	4	5
D	87	4	3
E	5	4	4

Agrupamiento de las medias para la variable potencial redox de frutos de tomate mediante la comparación de medias por Tukey ( $p \geq 0.05$ ), medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Apéndice 7.** Comparación de las medias de sólidos solubles totales en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.

Agrupamiento Tukey	Media	N	T
A	11	4	1
AB	10.5	4	2
AB	9.5	4	6
BC	8.5	4	5
CD	6.5	4	4
D	5	4	3

Agrupamiento de las medias para la variable sólidos solubles totales en frutos de tomate mediante la comparación de medias por Tukey ( $p \geq 0.05$ ), medias con la misma letra no son significativamente diferentes.

**Apéndice 8.** Análisis de varianza para la variable altura de plantas en tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	14	7836.960333	559.782881	18.45	<0.0001
Error	45	1365.028167	30.333959		
Total Correcto	59	9201.9885			
		R <sup>2</sup> 0.851659	C.V. 10.17200		

**Apéndice 9.** Análisis de varianza para la variable número de hojas en plantas en tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	14	196.9	14.0642857	17.74	<0.0001
Error	45	35.6833333	0.792963		
Total Correcto	59	232.5833333			
		R <sup>2</sup> 0.846578	C.V. 6.806252		

**Apéndice 10.** Análisis de varianza para la variable área foliar en plantas en tomate tratadas con diferentes ambientes hídricos.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	9	154903.777	17211.5308	5.6	0.0007
Error	20	61415.2902	3070.7645		
Total Correcto	29	216319.0671			
		R <sup>2</sup> 0.716089	C.V. 15.4826		

**Apéndice 11.** Análisis de varianza para la variable firmeza de frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	8	17.76233333	1.47029167	6.27	0.0012
Error	15	3.516	0.2344		
Total Correcto	23	15.27633333			
		R <sup>2</sup> 0.769870	C.V. 12.70176		

**Apéndice 12.** Análisis de varianza para la variable Vitamina C en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	8	2047.874633	255.984329	25.69	<0.0001
Error	15	149.464229	9.964282		
Total Correcto	23	2197.338862			
		R <sup>2</sup> 0.931979	C.V. 17.06169		

**Apéndice 13.** Análisis de varianza para la variable potencial redox en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	8	75511.66667	9438.95833	141.92	<0.0001
Error	15	997.66667	66.511111		
Total Correcto	23	76509.33333			
		R <sup>2</sup> 0.986960	C.V. 7.459239		

**Apéndice 14.** Análisis de varianza para la variable sólidos solubles totales en frutos de tomate tratados con diferentes ambientes hídricos.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	Valor F	Pr>F
Tratamiento	8	115.0833333	14.3854167	12.76	<0.0001
Error	15	16.9166667	1.1277778		
Total Correcto	23	132			
		R <sup>2</sup> 0.871843	C.V. 12.49375		