

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Productividad e Índice Estomático de Plantas de Tomate cv. Caimán Tratadas con
Diferentes Tensiones Hídricas

Por:

JOSÉ ANGEL ORTEGA GARCIA

TESIS:

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2014

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
DIVISIÓN DE AGRONOMÍA
DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Productividad e Índice Estomático de Plantas de Tomate cv. Caimán Tratadas con
Diferentes Tensiones Hídricas

Por:

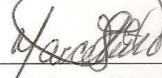
JOSÉ ANGEL ORTEGA GARCIA

TESIS:

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por.

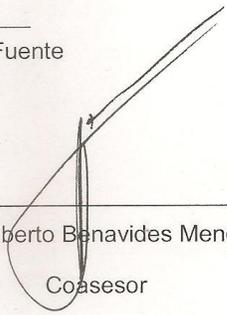


Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente

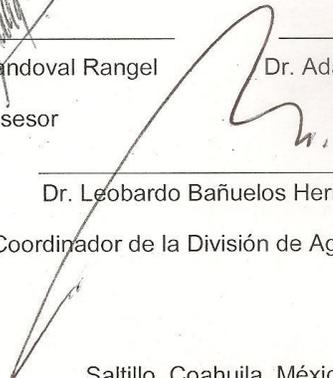
Asesor Principal


Dr. Alberto Sandoval Rangel

Coasesor


Dr. Adalberto Benavides Mendoza

Coasesor


Dr. Leobardo Bañuelos Herrera

Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Marzo de 2014

DEDICATORIAS

A mis padres y hermanos...

Con mucho amor a mis padres: al Sr. Virginio Ortega Bibiano y a la Sra. Elia García Barrera, primero por haberme dado la vida y ser los pilares fundamentales en mi vida, por sus cariños, por sus cuidados, por sus bendiciones, por sus consejos y regaños y porque han hecho de mí una persona de bien. A ellos se los debo todo.

A mis hermanas: Ocelina Ortega García y Yanet Ortega García, por sus cariños, por sus motivaciones de salir adelante como profesionalista, por sus preocupaciones hacia mí y de sus apoyos incondicionalmente.

A mis hermanos: Jesús Ortega García, Alfredo Ortega García, Audel Ortega García y Andrik Gael Ortega García, por sus comprensiones, porque siempre han estado al pendiente de mi formación y de una u otra manera han intervenido para lograr y alcanzar este sueño.

...Un pequeño tributo a tanto amor y sacrificio.

AGRADECIMIENTOS

Principalmente agradezco a Dios, por darme a mis padres y regalarme la vida, así como también la libertad de escoger el camino que deseo seguir.

Mis especiales agradecimientos a la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, por su compromiso y alto nivel académico, y porque en ella me forme como persona y como profesional. Me siento orgulloso de mi Alma Terra Mater y de ser un buitre.

Al departamento de Fitomejoramiento, por haberme permitido establecer mi trabajo experimental en sus instalaciones.

Al Dr. Marcelino Cabrera De la Fuente, por su confianza y apoyo en la realización este trabajo. Por sus conocimientos brindados como catedrático y como asesor. Mis más sinceros agradecimientos.

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

A todos los profesores por formar parte de mi formación académica, en especial a la profesora Catalina Morales Mendoza y al M.C. Jorge Alberto Ramírez Leyva, por sus consejos, motivaciones, confianza y apoyo hacia mi persona.

A mi compañero Jonatan Santana Soto, por ser parte fundamental en la realización de este trabajo, por su apoyo e ideas aportadas así como su ayuda desinteresada. Muchas gracias.

A mis compañeros de la generación y de cuarto: Floriberto, Rubicel, Francisco, Altunar, Rommel, Ángel, Lucia, Felipe, Ricardo, Raymundo, Benjamín, gracias por su apoyo, atención, disposición y compañía a lo largo de mi carrera y estancia en la universidad.

RESUMEN

El tomate es el principal cultivo que se produce bajo condiciones de invernadero en México y en todo el mundo, bajo este esquema de producción intensiva en invernadero, el agua es de vital importancia en la producción de este cultivo debido a que cumple una serie de funciones básicas en la vida de las plantas. El presente estudio se realizó con el objetivo de evaluar el efecto del contenido de agua de riego, sobre la productividad y el índice estomático de plantas de tomate bajo condiciones de invernadero. La investigación se realizó en el departamento de Fitomejoramiento de la UAAAN en Saltillo, Coahuila. El experimento se estableció en condiciones de sustrato utilizando contenedores de polietileno color negro con capacidad de 12 L. y utilizando el cv. Caimán. Se evaluaron 6 diferentes tensiones hídricas: 1). 20, 2). 30, 3). 40, 4). 50, 5). 60, y 6). 70 centibares (Cb). Las variables evaluadas fueron: altura de la planta, número de hojas, diámetro del tallo, área foliar, índice y densidad estomática. Los resultados mostraron que si influyen los diferentes volúmenes de agua aplicados al sustrato ya que entre más humedad había en este, el aumento de cada variable se mostraba positivo, destacando como los mejores tratamientos el de 60 y 70 Cb para todas las variables evaluadas. La condición de estrés impuesta (bajos niveles de humedad en el sustrato) provocó una afectación evidente en todas las variables antes mencionadas.

Palabras claves: tensiones hídricas, tomate, productividad, índice estomático, estrés.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
DEDICATORIAS	i
AGRADECIMIENTOS	ii
RESUMEN	iii
ÍNDICE DE CONTENIDO	iv
ÍNDICE DE CUADROS	vii
ÍNDICE DE FIGURAS	vii
ÍNDICE DE APÉNDICE	viii
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Objetivo general	2
1.2. Objetivos específicos	2
1.3. Hipótesis	2
II. LITERATURA REVISADA	3
2.1. Origen e historia del tomate	3
2.2. Descripción botánica y morfológica	4
2.3. Superficie establecida y cultivada a nivel mundial y en México	5
2.4. Requerimientos edafológicos	6
2.5. Requerimientos hídricos	6
2.6. Requerimientos nutricionales	7
2.7. Importancia del área foliar en el tomate	7
2.8. Efecto de la lámina de riego en el área foliar	8
2.9. Concepto de estrés	8
2.10. Tipos de estrés	9
2.11. Fases de respuesta de las plantas al estrés	9

2.12. Mecanismos de defensa de las plantas frente al estrés	10
2.13. Efecto del estrés en los antioxidantes.....	11
2.14. Efecto de los cultivos en condiciones de estrés hídrico	12
2.15. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento de las plantas tomate.....	15
2.16. Índice estomático y Densidad estomática	15
2.17. Importancia de los estomas en los cultivos.....	16
2.18. Efecto del estrés hídrico en el índice y densidad estomática.....	16
2.19. Efecto del contenido de agua en el crecimiento del tomate.....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS	18
3.1. Ubicación del experimento.....	18
3.2. Descripción del material vegetal evaluado.....	18
3.3. Manejo del cultivo	18
3.3.1. Siembra	18
3.3.2. Trasplante.....	18
3.3.3. Tutorado	19
3.3.4. Podas de formación.....	19
3.3.5. Nutrición	19
3.3.6. Plagas y enfermedades presentadas en el cultivo	20
3.4. Descripción de los Tratamientos.....	20
3.5. Variables evaluadas.....	21
3.5.1. Altura	21
3.5.2. Número de hojas	21
3.5.3. Diámetro del tallo.....	21
3.5.4. Área foliar	21
3.5.5. Densidad e índice estomático.....	21

3.6. Frecuencia de los muestreos.....	22
3.7. Análisis estadístico	22
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	23
4.1. Altura	23
4.2. Número de hojas.....	24
4.3. Diámetro de tallo.....	25
4.4. Área foliar	26
4.5. Índice estomático.....	27
V. CONCLUSIONES.....	29
VI. LITERATURA CITADA	30
VII. APÉNDICE	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos del experimento en etapa de plántula. ...	20
Cuadro 2. Descripción de los tratamientos en etapa de crecimiento vegetativo.	20

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Comportamiento de las medias para la variable altura de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	23
Figura 2. Comportamiento de las medias para la variable número de hojas de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	24
Figura 3. Comportamiento de las medias para la variable diámetro de tallo de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	25
Figura 4. Comportamiento de las medias para la variable área foliar de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	26
Figura 5. Comportamiento de las medias para la variable índice estomático de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	27
Figura 6. Comparación sobre la densidad estomática entre los tratamientos 1= 20 Cb (A) y 6= 70 Cb (B).	28

ÍNDICE DE APÉNDICE

Apéndice 1. Análisis de varianza para la variable altura de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.....	38
Apéndice 2. Análisis de varianza para la variable número de hojas de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	38
Apéndice 3. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	38
Apéndice 4. Análisis de varianza para la variable área foliar de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.....	39
Apéndice 5. Análisis de varianza para la variable índice estomático de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	39
Apéndice 6. Análisis de varianza para la variable densidad estomática de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	39
Apéndice 7. Comparación de las medias de altura de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.....	40
Apéndice 8. Comparación de las medias de número de hojas de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.....	40
Apéndice 9. Comparación de las medias de diámetro de tallo de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.....	41
Apéndice 10. Comparación de las medias de área foliar de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.....	41
Apéndice 11. Comparación de las medias de índice estomático de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	42
Apéndice 12. Comparación de las medias de la densidad estomática de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.	42

I. INTRODUCCIÓN

El cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es una de las principales hortalizas cultivadas en México y en todo el mundo (Bender, 2008; Al-Omran *et al.*, 2010). Se ha convertido en ingrediente básico de la gastronomía internacional, debido a que no sólo se consume en fresco, sino también procesado en forma de salsas, purés, pastas, jugos y otros (Esquinas – Alcázar y Nuez, 1995). Para México, su cultivo representa una importante entrada de divisas por exportaciones y constituye una fuente de empleo temporal y constante (Vargas y Martínez, 2004).

El fruto de tomate es una importante fuente natural de licopeno, un carotenoide, que ha sido objeto de un interés creciente debido a su efecto beneficioso para la salud, en particular en prevención del cáncer de próstata (Internet 1, consultado: 17, Enero, 2014).

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).

Bajo el esquema de producción intensiva en invernadero, el manejo del agua es de vital importancia en la producción de este cultivo, debido a que cumple una serie de funciones básicas en la vida de las plantas, constituyendo hasta un 95 % de su peso fresco (Castilla, 2005).

La producción de biomasa en cualquier cultivo, está fuertemente determinada por la cantidad de agua disponible en el suelo (Medrano *et al.*, 2007). La causa radica en que la fotosíntesis proceso base en la producción de biomasa y la transpiración consumo de agua; utilizan los estomas como vía de intercambio de CO₂ y vapor de H₂O. Cuanto más abiertos están mayor será la entrada del CO₂ pero también habrá mayor pérdida de agua. Por esta razón el agua gastada para la producción de biomasa es inevitable.

El recurso agua, es el principal factor limitante en la producción agrícola a nivel mundial, de esta forma se debe rediseñar la agricultura y generar conocimientos que permitan los requerimientos hídricos, para evitar pérdidas de este valioso recurso. En este sentido, uno de los temas claves a considerar es la eficiencia con la que las plantas usan el agua y poder relacionarlo con producciones que presenten rendimientos estables (Perengüez, 2011).

1.1. Objetivo general

- ✓ Determinar la productividad, índice y densidad estomática de plantas de tomate con diferentes ambientes hídricos.

1.2. Objetivos específicos

- ✓ Evaluar el efecto de la cantidad de agua sobre el índice y densidad estomática en el haz de las hojas de tomate.
- ✓ Determinar el efecto de la lámina de riego sobre el área foliar.
- ✓ Cuantificar el incremento en altura de plantas obtenidas con diferentes láminas de riego.

1.3. Hipótesis

Las diferentes láminas de riego inciden de manera directa sobre productividad, índice y densidad estomática en las plantas de tomate.

II. LITERATURA REVISADA

2.1. Origen e historia del tomate

El origen de la sección *Lycopersicon* del género *Solanum* se localiza en las zonas montañosas de los Andes que comprenden a Perú, Ecuador y Chile (a excepción de las subespecies *S. cheesmaniae* y *S. galagense*, las cuales son endémicas de las Islas Galápagos). Las mismas, abarcan una gran diversidad de ambientes en los que se desarrollan las especies silvestres, las cuales presentan una fuente importante de variabilidad y reservorio de genes con características interesantes, disponibles para la mejora del tomate cultivado (Darwin *et al.*, 2003).

El tomate es un cultivo transdomesticado. El lugar es incierto pero las evidencias más importantes señalan a México (Jenkins, 1948; Larry y Joanne, 2007), donde se cita a la planta como “tomatl” refiriéndose a los verdaderos tomates o a las especies de *Physalis* (en este país se emplea el término “tomate” o “tomatillo” para *Physalis philadelphica*, mientras que “jitomate” es el nombre común para cultivos de *S. lycopersicum*) (Peralta *et al.*, 2006).

La difusión del tomate en el Viejo Mundo transcurrió en el siglo XVI, acompañada de creencias infundadas sobre su toxicidad, pero la capacidad adaptativa de la planta a una amplia gama de condiciones climáticas y edáficas, así como las propiedades del fruto (color, aroma y aptitud para la conserva), entre otras múltiples razones, contribuyeron a su expansión, alcanzando una variedad de tipos muy extensa en cuanto a aspecto exterior (forma, tamaño, color) e interior (sabor, textura y dureza) (Nuez, 1995; Causse *et al.*, 2000).

El tomate es un miembro de la familia *Solanaceae*. Inicialmente fue incluido por Linneaus en el género *Solanum*; sin embargo hasta el año 2005, se adoptó la clasificación propuesta por Miller desde 1754, en el género *Lycopersicon* (Peralta *et al.*, 2006).

Recientemente, el uso de técnicas moleculares reveló que los géneros *Solanum* y *Lycopersicon* son muy parecidos. El género *Lycopersicon* ha cambiado de categoría taxonómica y se incluyó en la sección *Lycopersicon* dentro del género *Solanum*. Este

género alberga 13 especies que pueden ser agrupadas en dos complejos de acuerdo con las barreras de cruzamiento con la especie cultivada *S. lycopersicum*: el complejo *Esculentum* y el complejo *Peruvianum* (Peralta y Spooner, 2005; Peralta *et al.*, 2006).

2.2. Descripción botánica y morfológica

Hábito. Los miembros de la sección *Lycopersicon* son plantas herbáceas, aunque también pueden experimentar un crecimiento secundario en la base de los tallos y la raíz principal. En su hábitat natural algunos tomates silvestres se comportan como anuales, probablemente debido a las heladas o las sequías que mata a las plantas después de la primera temporada de crecimiento. El ciclo de vida de la planta está relacionado con su capacidad de desarrollo de crecimiento secundario en raíces y tallos basales. En todas las especies los brotes son inicialmente de pie, pero más tarde, debido al peso de las ramas, las plantas son decumbentes o postradas y pueden desarrollar raíces adventicias de los ganglios basales (Peralta, *et al.*, 2008).

Tallos. El eje principal de la planta es una típica *Solanum sympodium* formada por una sucesión de ejes laterales, con hojas alternas dispuestas en una espiral phyllotaxic de 1 / 3 y las inflorescencias son terminales al final de cada unidad simpodial. En algunas especies, las inflorescencias se forman de a dos, en lugar de uno de cada tres nodos, por tanto la filotaxia del rodaje es 1 / 2 en lugar de 1 / 3 de una espiral (Peralta, *et al.*, 2008).

Hojas. Las hojas de los tomates han sido a menudo caracterizadas como pinnadas, pero la presencia de un ala de tejido de la hoja a lo largo del raquis principal, que conecta en todas las disecciones, ha llevado a algunos a sugerir que las hojas de tomate son simples y sólo altamente disectados o pinnatífidas profundamente. Durante el crecimiento de una planta individual, se puede observar el aumento gradual en la complejidad de la hoja. La primera hoja es a menudo simple, entera a lobulada o pinnada con folíolos sólo 1 o 2; hojas sucesivas cada vez más disectados y después de 10 a 12 hojas al alcanzar la madures (Peralta, *et al.*, 2008).

Flor. Es perfecta, regular e hipogina y consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo y dispuestos de forma helicoidal a intervalos de 135°, de igual número de estambres soldados que se alternan con los pétalos y forman un cono estaminal que envuelve al gineceo, y de un ovario bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias de tipo racimoso (dicasio), es frecuente que el eje principal de la inflorescencia se ramifique por debajo de la primera flor formada, dando lugar a una inflorescencia compuesta. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas (Peralta, *et al.*, 2008).

Fruto. Es una baya en las especies de tomate silvestres. El fruto es bilocular, mientras que en las variedades cultivadas es bilocular o más de dos lóculos, siendo lo más frecuente, de 5 a 9 lóculos. En la epidermis de los frutos, se desarrollan pelos y glándulas que desaparecen cuando aquéllos llegan a la madurez. En el ápice del fruto, suelen observarse restos del estilo. La forma del fruto es variable, generalmente depresso-globoso u oblonga. Presentan numerosas semillas, pequeñas, aplanadas, amarillento-grisáceas, velludas, embebidas en una masa gelatinosa formada por el tejido parenquimático que llena las cavidades del fruto maduro. El tomate, al igual que sus congéneres silvestres, es una especie diploide con 24 cromosomas en sus células somáticas (Peralta, *et al.*, 2008).

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 superficie 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. (Internet 2, consultado: Junio, 2013).

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

El conocimiento del requerimiento del agua del cultivo es indispensable para realizar una planificación correcta del riego y mejorar así la eficiencia de los sistemas de riego, proveyendo al cultivo de la cantidad de agua suficiente para satisfacer plenamente sus necesidades (Fernández, 2000).

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 conocimiento de la superficie foliar de un cultivo es de suma importancia, pues este índice nos muestra la capacidad que tiene la planta para transformar la energía luminosa en energía química; además, para evaluar la eficiencia de determinadas prácticas culturales es necesario conocer la superficie foliar del cultivo, ya que aquella practica que manifieste mayor superficie foliar será potencialmente más productiva (Martín *et al.*, 2006).

La fijación total de CO₂ del aire en un día determinado (asimilación bruta, Kg CO₂·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 área foliar y el arquetipo del cultivo, y por su puesto de la cantidad de radiación incidente; luego de la respiración el CO₂ 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. Efecto de la lámina de riego en el área foliar

El IAF es definido como el total de área foliar por unidad de área de suelo (Gutiérrez y Lavín, 2000); es la relación que existe entre el área de la hoja y el área del suelo por debajo de ellas.

De la disponibilidad del agua en el suelo depende el desempeño de un gran número de funciones en beneficio de las plantas (Salisbury y Ross, 2000), y su deficiencia puede limitar el crecimiento (Méndez *et al.*, 2007).

A través de los manejos de riego se incrementa la producción de biomasa y el rendimiento de los cultivos, debido al aumento en el índice de área foliar y fotosíntesis (Escalante-Estrada, 1999; Olalde-Gutiérrez *et al.*, 2000). La magnitud del área foliar por unidad de superficie (IAF) junto con la tasa de asimilación neta (TAN) determinan en gran medida la acumulación de materia seca por planta (Escalante-Estrada y Kohashi-Shibata, 1982).

2.9. Concepto de estrés

El estrés ambiental es una fuerte restricción para el aumento de la productividad y de la extensión de los cultivos. Se estima que únicamente un 10% de la superficie de tierra arable se encuentra libre de estrés (Benavides, 2002).

El significado literal de la palabra “estrés” es restricción (lt. *stringere*) o fuerza que empuja deformando un cuerpo. Para los físicos el estrés es la tensión interna de un material o estructura frente a una fuerza externa que potencialmente puede causar extensión o compresión. En el área biológica el término estrés ha adquirido una connotación más amplia, refiriéndose tanto a los estímulos ambientales que se apartan de los rangos óptimos como al estado fisiológico que se observa en el organismo como consecuencia de los estímulos ambientales negativos (Larcher, 1995).

Partiendo de lo anterior, la definición de estrés que se utilizará es: “conjunto de respuestas bioquímicas o fisiológicas que definen un estado particular del organismo diferente al observado bajo un rango de condiciones óptimas” (Benavides, 2002).

2.10. Tipos de estrés

Existen variadas clasificaciones de los factores de estrés. En general estos pueden ser clasificados como estreses bióticos y estreses abióticos (Azcón-Bieto y Talón, 2008).

Los estreses bióticos son causados por la acción de otros seres vivos: animales, otras plantas (por competencia, alelopatía, etc.), microorganismos (bacterias, hongos), y otros agentes fitopatógenos como los virus y los viroides. Los estreses abióticos, dependiendo del agente causal, pueden dividirse en físicos y químicos. Entre los factores físicos (en realidad, físico – químicos) se pueden mencionar el estrés por déficit o exceso de agua, temperaturas extremas (calor, frío, congelación), salinidad (en su componente osmótico) 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).

2.11. 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).

En una escala temporal, la respuesta de las plantas al estrés puede dividirse en tres fases (Lambers *et al.*, 1998):

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 mecanismos

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.

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 la maquinaria celular dañada y a la expresión de las adaptaciones morfológicas.

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 otras muchas generaciones.

2.12. 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.

- La síntesis de nuevas proteínas, como la ubiquitina y las proteasas implicadas en la degradación de las dañadas, y las proteínas de choque térmico, inducidas no solo frente a temperaturas extremas, que actúan como chaperonas, plegando proteínas desnaturalizadas por el estrés y previniendo la formación de agregados proteicos irreversibles.
- 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 protectores, como los fenilpropanoides.

2.13. 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).

En condiciones normales, la producción y remoción de las ERO está estrictamente controlada. Sin embargo, el equilibrio entre la producción y la depuración de éstas puede ser perturbado por diversos factores fisicoquímicos, como son el déficit hídrico, la salinidad, las temperaturas extremas, la excesiva o insuficiente radiación luminosa, la anaerobiosis por encharcamiento o inundación, los factores mecánicos como el viento o la compactación del suelo, viento fuerte y las lesiones (Cabrera, 2006; Mano, 2002).

Cuando, tanto por un aumento de producción cuanto por una disminución en los mecanismos de defensa, se pierde el balance entre la aparición de especies nocivas y la capacidad de la célula de evitar su acumulación, ocurre una situación conocida como estrés oxidativo. En estas condiciones las especies activas del oxígeno reaccionan con las macromoléculas de las células modificando su estructura y su función y dando lugar a alteraciones que pueden conducir a la muerte celular (Gabriel, 2013).

En el caso de déficit hídrico, si este es prolongado en el tiempo, este ocasionara inevitablemente daño oxidativo debido a la sobreproducción de especies reactivas de oxígeno. Por lo tanto el incremento en la capacidad de eliminación de estas ERO por parte de la planta es considerada como síntoma de tolerancia, mientras que la ausencia de respuesta o una disminución respecto de los valores control se considera síntoma de sensibilidad (Hernández & Jiménez, 2000; Toumi *et al.*, 2010).

El mantenimiento de las ERO a un nivel compatible con el funcionamiento celular normal se lleva a cabo por diversas actividades con capacidad antioxidante y que se clasifican en enzimáticas y no enzimáticas (Foyer, 2002; Perl-Treves & Perl 2002). Entre los antioxidantes enzimáticos se tiene a la Catalasa (CAT) que elimina H_2O_2 en los peroxisomas, superóxido dismutasa (SOD) que elimina el anion-radical superóxido, Ascorbato peroxidasa (ASPX) que elimina H_2O_2 en diversos compartimentos, guaiacol peroxidasa (POX) (Moller *et al.*, 2007). Entre los Antioxidantes no enzimáticos, se tiene a los antioxidantes liposolubles como los carotenoides y alfatocoferol y a los hidrosolubles como el ácido ascórbico y glutatión.

2.14. 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).

Por otro lado, una tercera parte de la superficie del planeta se considera como árida o semiárida, mientras que la mayoría de la superficie restante está sujeta a periodos temporales de déficit hídrico. De esta manera, el agua constituye el principal factor limitante del crecimiento de las plantas en la tierra, actuando como una fuerza selectiva de primer grado para la evolución y distribución de las especies vegetales (Hanson y Hitz, 1982).

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 un uso más eficiente de esta podrán tener resistencia al estrés por sequía. De esta manera, algunas plantas poseen adaptaciones tales como el desarrollo del metabolismo C4 y del metabolismo ácido de las crasuláceas o CAM, que les permiten explotar ambientes más áridos (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, una rápida expansión foliar puede afectar negativamente la adaptación a la poca disponibilidad de agua. 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; Shao *et al.*, 2008).

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). El proceso de cierre de los estomas, cuando el mesófilo comienza a sufrir deshidratación, está regulado por el ácido abscísico (ABA) (Leung y Giraudat, 1998).

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. El ajuste osmótico se da en las plantas a través de la biosíntesis de osmolitos orgánicos de bajo peso molecular y por la acumulación de iones, fundamentalmente K⁺ (Cushman, 2001).

Una respuesta molecular de las plantas al estrés, y quizá una de las más importantes, es la modificación de la expresión de genes. Durante el déficit hídrico, diferentes tipos celulares responden incrementando o disminuyendo la expresión de algunos genes. Igualmente, se ha visto que muchos genes que no se expresan en condiciones de irrigación óptima pueden empezar a hacerlo bajo déficit hídrico (Bray, 1993).

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 proteínas LEA (*Late Embriogenesis Abundant Proteins*), las involucradas en las vías de síntesis de los osmolitos y las que funcionan como antioxidantes (Bray, 1997; Zhu *et al.*, 2002; Bartles y Kotchoni, 2003).

2.15. Efecto del estrés hídrico sobre el crecimiento de las plantas 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).

La planta sufre condiciones de estrés hídrico, cuando el potencial agua foliar baja de valores -9 bares, desencadenándose la síntesis de ABA; esta hormona detiene el crecimiento del ápice terminal y las yemas laterales, con lo cual hay mayor disponibilidad de fotoasimilados para el crecimiento radicular o el establecimiento de flores (Internet 3, consultado: 24 de enero - 2014).

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).

2.16. Índice estomático y Densidad estomática

El índice estomático representa el cociente entre el número de estomas y la cantidad de células epidérmicas. La densidad estomática corresponde al número de estomas

por unidad de superficie foliar y representa un valor diagnóstico para fragmentos de láminas foliares, siempre y cuando su uso se restrinja a órganos de la misma edad de desarrollo y de la misma taxonomía (Croxdale, 2000).

Tanto la DE como el IE son tan variables que están fuertemente influenciadas por diversas condiciones estresantes como condiciones de sequía y altas concentraciones salinas además el material vegetal que se trate (Salas *et al.*, 2001; Bethke y Drew, 1992; Rubino *et al.*, 1989).

2.17. Importancia de los estomas en los cultivos

La transpiración ocurre por medio de los estomas que son células epidermales modificadas, rodeadas por otras células denominadas células guarda que al aumentar o disminuir su volumen modifican el grado de apertura del poro u ostiolo de los estomas, y con esto la tasa de pérdida de agua en forma de vapor. Los estomas pueden ser considerados como válvulas dirigidas hidráulicamente que operan en la parte aérea de las plantas. Los estomas desempeñan un rol esencial en el control de la pérdida de agua por transpiración, pero además, son la vía de ingreso de CO₂ para la fotosíntesis (Internet 4, consultado: 25, Enero, 2014). Por ello, la información acerca de la morfología, densidad y frecuencia de los estomas es importante para el mejor entendimiento del intercambio de gases (Barrientos *et al.*, 2003).

2.18. Efecto del estrés hídrico en el índice y densidad estomática

Si se acepta que la interacción genotipo-ambiente produce un fenotipo con una función determinada, encontramos que cualquier variación de las condiciones ambientales puede afectar tanto a la estructura como a la función, por lo tanto cualquier estrés tendrá una consecuencia estructural, morfológica y/o funcional (González, 2007).

Cada planta tiene una densidad estomática específica que influye directamente en su tasa transpiratoria. La densidad estomática es función del número de estomas más el tamaño de las células epidermales; por esta razón se ve afectada por la apertura de los estomas y la expansión de las células epidermales la cual depende de muchas

variables ambientales (Royer, 2001). El índice estomático (Salisbury, 1928, citado por Royer, 2001) normaliza los efectos de la expansión de las células epidermales.

El número de estomas está fuertemente controlado por señales ambientales que incluyen la luz y las presiones parciales de CO₂. El desarrollo celular de la epidermis durante la fase temprana del crecimiento foliar, involucra cambios tanto en la densidad de las células de la superficie como en la proporción de células que se destinan a ser estomas (Lake *et al.*, 2001, 2002).

2.19. Efecto del contenido de agua en el crecimiento del tomate

Bajo el esquema de producción intensiva en invernadero, el manejo del agua es de vital importancia en la producción intensiva de este cultivo, debido a que cumple una serie de funciones básicas en la vida de las plantas, constituyendo hasta en un 95 % de su peso fresco (Castilla, 2005). La aplicación deficiente o en exceso produce efectos negativos en la calidad y rendimiento del cultivo (Pilatti, 1997).

Las necesidades de agua de la planta, está en función de la etapa fenológica de la misma, condiciones de clima dentro del invernadero, vigor de la planta, tipo de suelo, eficiencia de riego, época del año, masa vegetativa, cantidad de frutos en la planta y conductividad eléctrica (Cadena *et al.*, 2003).

Un síntoma asociado a la falta de agua durante el desarrollo del fruto es la presencia de frutos huecos (frutos con placenta separada de la pared) aunque también puede ser provocado por polinización deficiente (Álvarez *et al.*, 2005).

Un efecto ocasionado por la fluctuación de contenidos de agua en la planta son los desórdenes fisiológicos donde sobresalen el rajado de fruto y la pudrición apical. Las causas pueden estar dadas por riego poco frecuentes, con las consiguientes fluctuaciones en el potencial hídrico, o bien responder a un aumento en la presión radical; es decir, la absorción activa de agua que al no ser eliminada durante la noche por la transpiración (solo por gutación) tiene ese efecto, así como por la alta humedad ambiental dentro del invernadero (Pilatti, 1997; Kitano *et al.*, 1999; Gil y Miranda, 2000; Saure, 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del experimento

El presente trabajo se realizó en un invernadero perteneciente al departamento de Fitomejoramiento de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, en Saltillo, Coahuila, México. Ubicado a 25° 21' 19.85" latitud Norte y 101° 01' 50.93" longitud Oeste y con una altura media sobre el nivel del mar de 1779 msnm (Google Earth, 2014).

3.2. Descripción del material vegetal evaluado

El material utilizado para realizar este experimento fue, tomate tipo bola de crecimiento indeterminado cultivar "caimán", la cual 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 270 g. Tiene un buen cierre apical y firmeza. Su precocidad es temprana para invernaderos y campo abierto, siempre y cuando las condiciones sean favorables (Internet 5, consultado: 25, Enero, 2014).

3.3. Manejo del cultivo

3.3.1. Siembra

La siembra se realizó en una charola de 128 cavidades utilizando como sustrato de peat-moss, día 24 de mayo de 2012, la emergencia 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, además cabe mencionar que a dicha mezcla se iba adicionando agua hasta que quedara a capacidad de campo, y así, se llenaron los contenedores, los cuales fueron bolsas de plástico de polietileno color negro con una capacidad de 12 litros en donde se realizó el trasplante el día 27 de junio de 2012.

3.3.3. Tutorado

Para esto se utilizaron hilo de polietileno amarrados a cables de acero trasversales que soportaron el peso del cultivo, y la conducción se inició el día 22 de julio de 2012.

3.3.4. Podas de formación

Se inició en el momento de las primeras salidas de chupones. Para dejar solo el tallo principal, los chupones laterales se eliminaban conforme iban surgiendo del eje axial entre tallos y ramas.

3.3.5. 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:

N: Nitrolour= 2ml por litro de agua (vía foliar)

Cu: Trafos Cu= 0.5 ml por litro de agua (vía foliar)

K: Trafos K= 2ml por litro de agua (vía foliar)

Ca: Calitech= 2ml por litro de agua (vía foliar)

Mg: Phostrade Mg= 1.5 ml por litro de agua (vía foliar)

B: Tradebor= 0.5 ml por litro de agua (vía foliar)

Mn: Aton Mn= 0.4 ml por litro de agua (vía foliar)

Zn: Aton Zn= 0.7 ml por litro de agua (vía foliar)

Mo: Aton Mo= 0.4 ml por litro de agua (vía foliar)

Fe: Trade Fe= 0.7 ml por litro de agua (vía suelo)

3.3.6. Plagas y enfermedades presentadas en el cultivo

Solo se presentó la mosca blanca y para su control se utilizaron los siguientes productos comerciales: Confidor, Imidacron, Lanate, así como también extracto de ajo.

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 y 2.

Cuadro 1. Descripción de los tratamientos del experimento en etapa de plántula.

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

3.5. Variables evaluadas

3.5.1. Altura

En la determinación de la variable altura de planta se utilizó un flexómetro graduado 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 (manualmente), es decir, aquellas que ya tienen la suficiente capacidad fotosintética como para proveer de fotoasimilados a la planta.

3.5.3. Diámetro del tallo

Para medir el diámetro de tallo se utilizó un vernier graduado en centímetros y milímetros, para esto se colocaba el vernier con la abertura necesaria en la base del tallo de la planta y se tomaba la lectura.

3.5.4. Área foliar

Para la medición de esta variable se utilizó un medidor de área foliar portable marca LI-3100® (LI-COR, Inc. Lincoln, NE, USA), tomando 3 lecturas por cada planta (5 repeticiones/tratamiento), para esto únicamente se pasaba el sensor por la hoja y nos daba directamente la lectura en cm^2 .

3.5.5. Densidad e índice estomático

Para determinar estas variables, primeramente se obtuvieron impresiones epidérmicas en folíolos de hojas maduras (hojas medias y con la misma orientación), la técnica consistió en la aplicación de barniz para uñas transparente en la parte del haz del folíolo y en la parte central de este, una vez que el barniz se secó se procedió a extraer la capa, la cual fue removida con una cinta adhesiva transparente, posteriormente se adhirió a un portaobjetos para luego ser observado en un microscopio con cámara incluida a un objetivo de 40 X así como también fotografiadas; una vez tomadas las fotos se cuantificaron estomas y células epidérmicas para obtener la densidad y el índice estomático, mencionando que para

obtener esta última variable se utilizó la siguiente fórmula sugerida por Wilkinson (1979):

$$IE = \frac{\text{Número de estomas}}{\text{Número de células epidérmicas} + \text{Número de estomas}} \times 100$$

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 las variables de área foliar, densidad e índice estomático se midieron al momento de la floración.

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 altura de planta muestran que si hay diferencia significativa entre los tratamientos, por lo que muestran las siguientes tendencias.

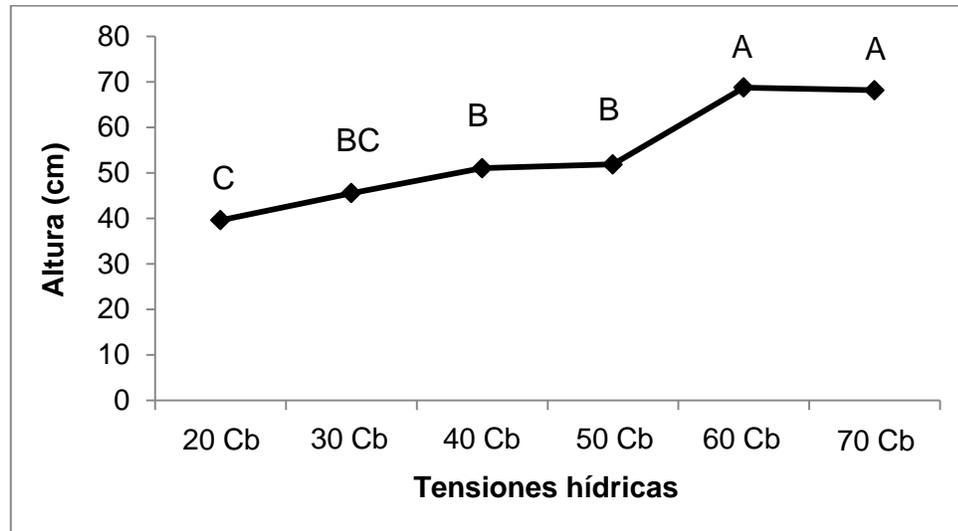


Figura 1. Comportamiento de las medias para la variable altura de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Los resultados de la variable altura de plantas mostraron que los tratamientos 5 y 6 no muestran diferencia significativa pero fueron los que lograron los mayores valores, siendo estos de 68.75 cm y 68.15 cm respectivamente, al igual los tratamientos 3 y 4 no muestran diferencia significativa entre ellos pero están por arriba del tratamiento 2 y del testigo el cual este último tuvo el valor más bajo en cuanto a esta variable evaluada, esto se debe a lo mencionado por Azcón-Bieto, J. y Talón, M. (2001), los cuales mencionan que uno de los procesos fisiológicos más sensible al déficit hídrico en un sustrato es el crecimiento celular, evidenciado por la pérdida de capacidad de las plantas para aumentar significativamente su crecimiento y/o volumen en biomasa cuando se enfrentan a condiciones estresantes por déficit hídrico. Estos resultados coinciden con los de Macías (2009) y Perenguez (2011) quienes encontraron diferencias estadísticas significativas para esta variable al aumentar el volumen de agua aplicado en este mismo cultivo.

4.2. Número de hojas

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

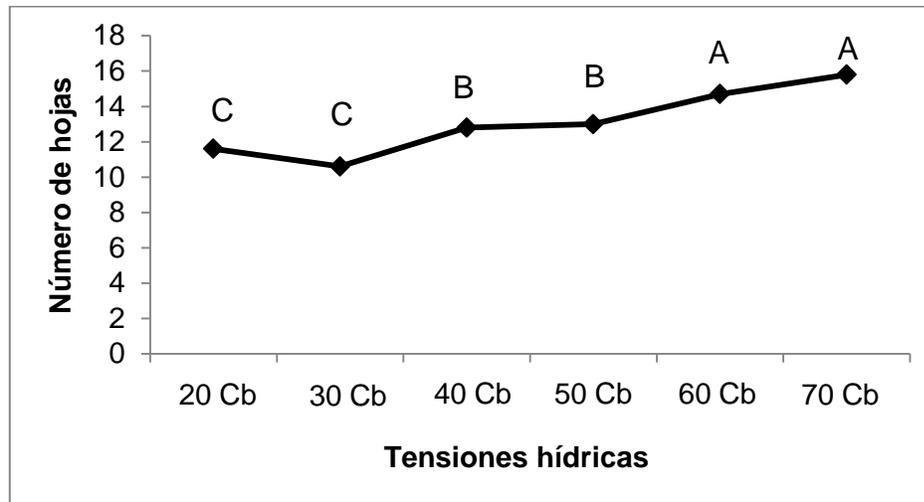


Figura 2. Comportamiento de las medias para la variable número de hojas de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Los resultados de la variable número de hojas mostraron resultados muy similares a la variable anterior, ya que el tratamiento 6 y el tratamiento 5 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 de igual manera el tratamiento 2 y el testigo vuelven a mostrar los resultados más bajos con 10 y 10.4 hojas cada uno. Según Lobato *et al.*, 2008, al disminuir el flujo del agua por el xilema, disminuye el suministro de nutrientes hacia las hojas, que limita la síntesis de aminoácidos y proteínas (Gage 2004). Estos resultados concuerdan con los de Oberpaur *et al.*, (2011) quienes cultivaron coliflor en contenedores de diferentes volúmenes encontrando diferencia significativa en el número de hojas en contenedores de mayor volumen comparado con los de menor volumen (consecuencia de más retención de agua); al igual Méndez (2013) evaluando diferentes niveles de riego en el cultivo de la calabacita zucchini encontró diferencia significativa en cuanto a esta variable, siendo el mejor el de mayor nivel de riego (100 %).

4.3. Diámetro de tallo

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

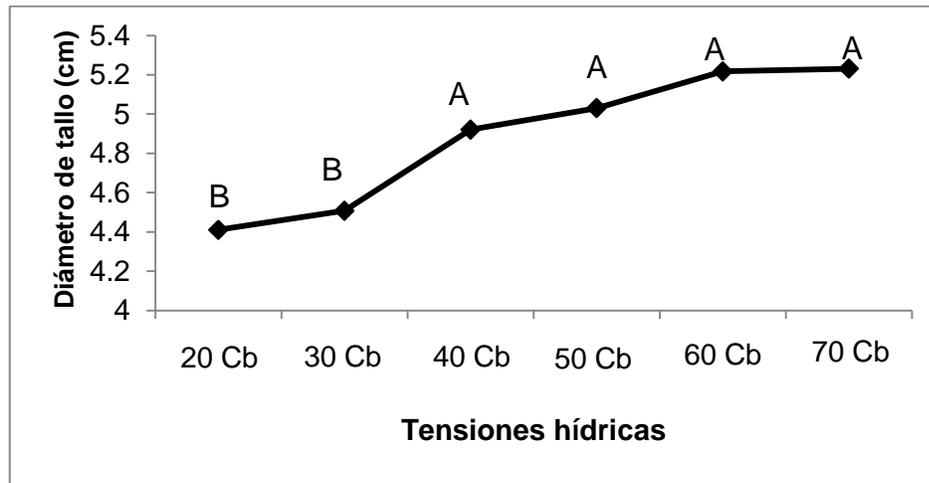


Figura 3. Comportamiento de las medias para la variable diámetro de tallo de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Los resultados para esta variable diámetro de tallo muestra que los tratamientos 3, 4, 5 y 6 con diámetros de 4.9210 cm, 5.0300 cm, 5.2170 y 5.2310 cm, respectivamente no tienen diferencia significativa entre ellos pero si con los tratamientos 1 y 2, los cuales muestran los valores más bajos en cuanto a esta variable, demostrando que aplicando una lámina de 1500 ml comparada con una de 250 ml si repercute en el diámetro de tallo de plantas de tomate, siendo este mayor. Con respecto a esto Rodríguez *et al.*, (1984) menciona que a mayor diámetro incrementa el número de frutos y en consecuencia el rendimiento, como lo sustenta Moorby (1981), quien menciona que una mayor área de parénquima implica mayor reserva de asimilados que pueden ser utilizados en el fruto en crecimiento, así como una mayor área de xilema posibilita un mayor transporte de agua y nutrimentos hacia los órganos reproductivos.

4.4. Área foliar

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

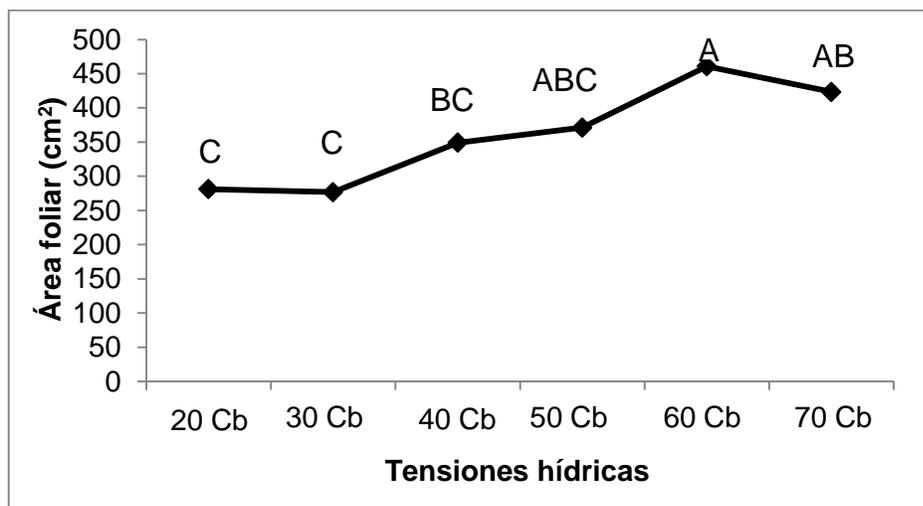


Figura 4. Comportamiento de las medias para la variable área foliar de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Los resultados de la variable área foliar muestran que el tratamiento 5 fue el que obtuvo el mejor resultado, destacando además que todos los demás tratamientos están por debajo de este tratamiento, resaltando otra vez que al aplicar menos volumen de agua los resultados son inferiores correspondiéndole estos al tratamiento 2 y el testigo. Estos resultados coinciden con Pérez *et al.*, (2012) quienes al evaluar diferentes niveles de humedad aprovechable en sustrato en el cultivo de chile habanero encontraron diferencia significativa en lo que respecta a esta variable, donde el área foliar fue mayor en el tratamiento con mayor contenido y disponibilidad de humedad en el sustrato. Al respecto, Hsiao (1973) mencionó que el déficit de agua restringe el crecimiento celular, lo que se traduce en menor expansión foliar y crecimiento del tallo, al igual Sirvansa (2000) indica que la falta de agua trae como consecuencia un desarrollo deficiente del área foliar, ya que la reserva de agua que tiene una planta se utiliza para mantenerse y en consecuencia disminuye sus procesos fisiológicos.

4.5. Índice estomático

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

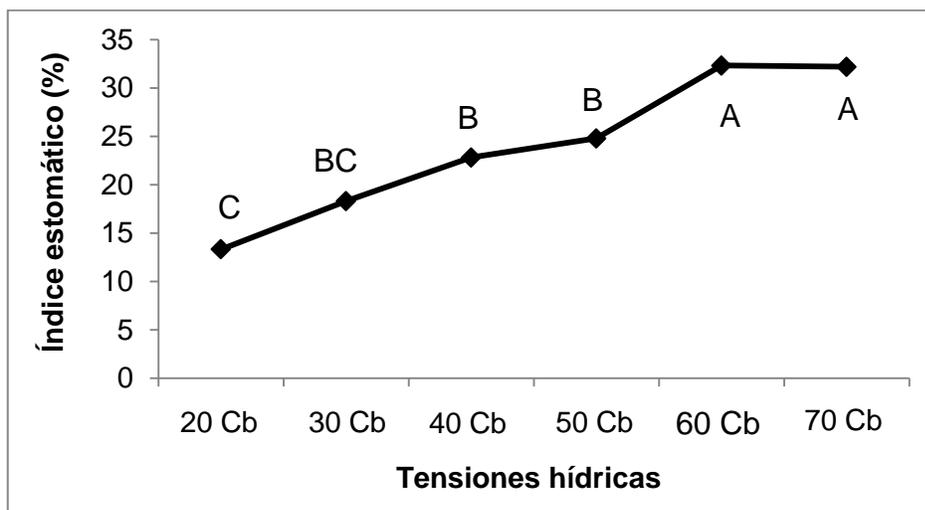


Figura 5. Comportamiento de las medias para la variable índice estomático de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Los resultados de la variable índice estomático muestran que los tratamientos 5 y 6, con los más altos volúmenes de agua aplicado al sustrato son los que tiene los mejores resultados, siendo así el testigo el que muestra el resultado más bajo, resaltando que los tratamientos 3 y 4 en esta y las variables anteriores se comportan de igual manera obteniendo los valores medios. De manera similar Pares *et al.* (2003) al estudiar la densidad e índice estomático en hojas de *Annona muricata*, *A. montana*, *A. muricata/A. muricata* y *A. muricata/A. montana*, concluyeron que la técnica de injertación afectó los valores de DE disminuyendo el número de estomas/mm², lo que se puede interpretar como un aspecto positivo ya que se aumenta la resistencia estomática, incrementando la adaptabilidad de las plantas a condiciones estresantes en el suelo, en este caso, los mayores valores de DE coincidieron con los mayores valores de IE. Es conocido que la disminución de la DE incrementa la resistencia estomática y evita el exceso de transpiración (Rubino *et al.*, 1989; Takur, 1990).

El aumento o la disminución del IE puede estar relacionado con el aumento o disminución en el crecimiento de las células afectadas por condiciones de estrés. En la literatura existen discrepancias con relación a la variación del IE por factores ambientales. Por una parte, Metcalfe y Chalk (1979) mencionaron que el IE es una característica de valor diagnóstico muy utilizada en la sistemática de plantas, por mantenerse sin alteraciones. Por el contrario, autores como Wilkinson (1979), Kürschner et al. (1998) y Stenglein et al. (2003) han señalado que es un parámetro afectado por condiciones estresantes tanto ambientales como nutricionales. Verdugo *et al.* (1999) afirmó que las hojas con mayores valores de IE presentan los mayores valores de DE.

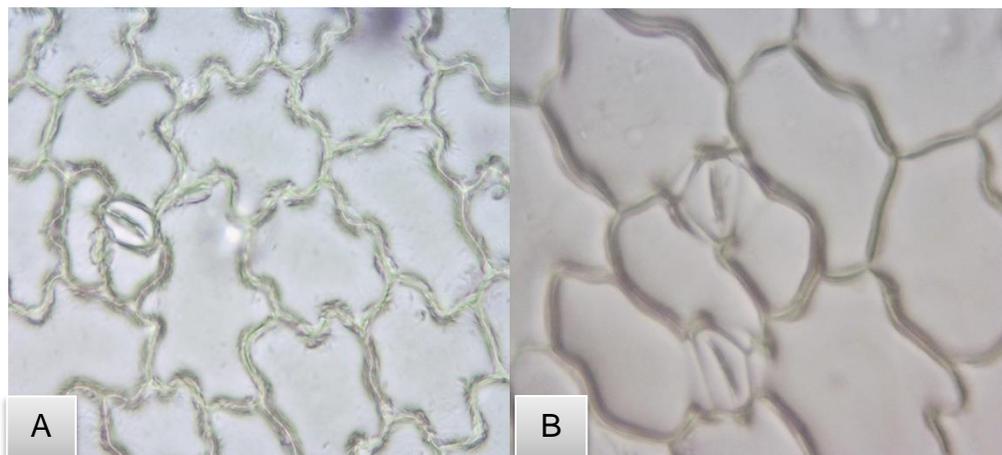


Figura 6. Comparación sobre la densidad estomática entre los tratamientos 1= 20 Cb (A) y 6= 70 Cb (B).

V. CONCLUSIONES

- ❖ El cultivo de tomate presentó cambios fisiológicos a causa de la aplicación de diferentes láminas de riego durante su desarrollo, reflejándose un aumento positivo en: altura de la planta, número de hojas, diámetro del tallo, área foliar, índice y densidad estomática.
- ❖ Niveles de humedad de 60 y 70 centibares comparados con el tratamiento testigo, mostraron los mejores resultados en cuanto a las variables de productividad en un 37 % y un 50 % en índice y densidad estomática.
- ❖ Las necesidades hídricas del cultivo de tomate aumentan principalmente en relación a sus diferentes etapas fenológicas.

VI. LITERATURA CITADA

- Aguilar, A. J., Capulín, G.J., Grageda, O. A., Solís, M. E. y Vuelvas, C. M. 2005.** Efecto del nitrógeno, algaenzimas 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. 2010.** Respuesta fisiológica de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico. Aspectos comunes y específicos. Tesis doctoral. Universidad Jaume I. Castellón de la plana. Pp 8-12.
- Al-Omran, A. M., Al-Harbi, A. R., Wahb-Allah, M. A., Nadeem, M., Al-Eter, A. 2010.** Impact of irrigation water quality, irrigation systems, irrigation rates and soil amendments on tomato production in sandy calcareous soil. Turk Journal Agriculture. 34: 59-73.
- Álvarez, Z. R., Cortes J. J. M., Félix V. P., Martínez, C. J. L., Montoya C. L., Morales C. A. y Ortiz, E. J. E. 2005.** Manejo integrado de cultivos en invernadero y casa sombra en el sur de Sonora. Memoria. Día del agricultor 2005. Publicación Especial No. 12. p. 56 – 59.
- 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.
- Azcón-Bieto, J. y Talón, M. 2001.** Fundamentos de Fisiología Vegetal. 2da reimpresión. Barcelona: Ed Univ. 515 p.
- Barrientos. P., Borys. W., Trejo. C., Lopez. L. 2003.** Índice y densidad estomática foliar en plántulas de tres razas de aguacatero. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 26 (4): 285 – 290.
- Bartles, D. y S.O. Kotchoni. 2003.** Water stress induces the up-regulation of a specific set of gens in plants: aldehyde dehydrogenases as an example. Bulg. J. Plant Physiol, Special Issue, 37-51.
- Benavides, M. A. 2002.** “Ecofisiología y química del estrés en plantas”, Departamento de agricultura/UAAAN. Pp 6-7.

- Bethke, P. y M. Drew. 1992.** Stomatal and nonstomatal components to inhibition of photosynthesis in leaves of *Capsicum annuum* during progressive exposure to NaCl salinity. *Plant Physiology* 99:219-226.
- Bray, E. A. 1993.** Molecular responses to water deficit. *Plant Physiol.* 103, 1035-1040.
- Bray, E. A. 1997.** Plant responses to water deficit. *Trends Plant Sci.* 2, 48-54.
- Cabrera, Y. A. 2006.** Efecto de *Phytophthora capsici* sobre el metabolismo del glutatión en suspensiones celulares de chile habanero (*Capsicum chinense* Jacq.). Tesis Licenciatura. Univ. Autónoma de Yucatán. Mérida, México.
- Cadena, T. F., González V. J., Hernández J. M. 2003.** El cultivo protegido del tomate. En: Técnica de producción en cultivos protegidos. Camacho, F. F. (Ed). Volumen 2. Instituto Cajamar. España. Pp 481 – 537.
- Castilla, N. 2005.** Invernaderos de plástico, tecnología y manejo. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España. P 273.
- Causse, M., Carranta, C., Saliba, V., Moretti, A., Damidaux, R. y Rouselle, P. 2000.** Valorisation des ressources génétiques de la tomate par l'utilisation de marqueurs moléculaires. *Agricultures.* 9(3): 197-210.
- Corpeño, B. 2004.** Manual del cultivo del tomate. Centro de investigación. Desarrollo y exportación de agronegocios. San Salvador, El Salvador. P 21.
- Croxdale, J. 2000.** Stomatal patterning in angiosperms. *American Journal of Botany.* 87 (8): 1069 – 1080.
- Cushman, J. C. 2001.** Osmoregulation in plants: implications for agriculture. *Amer. Zool.* 41, 758-769.
- Darwin, S. C., Knapp, S. y Peralta, I. E. 2003.** Taxonomy of tomatoes in the Galápagos Islands: native and introduced species of *Solanum* section *Lycopersicon* (Solanaceae). *Systematics and Biodiversity.* 1: 29-54.
- Dogliotti, S. 2003.** Bases fisiológicas del crecimiento y desarrollo del cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Universidad de la República. Montevideo. Uruguay. Pp 4-6.

- Escalante-Estrada, J. A. 1999.** Área foliar, senescencia y rendimiento del girasol de humedad residual en función del nitrógeno. *Terra Latinoamericana*, 17: 149-157 pp.
- Escalante-Estrada, J. A., Kohashi-Shibata J. 1982.** Efecto del sombreado artificial sobre algunos parámetros del crecimiento en frijol (*Phaseolus vulgaris* L.). *Agrociencia* 48: 29-38 pp.
- Esquinas-Alcázar, J. y F. V. Nuez. 1995.** Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate. *In:* F.V. Nuez (ed.). *El cultivo del tomate*. Madrid, España. Mundi-Prensa. Pp 15-42.
- Foyer, C. H. 2002.** Oxidant and antioxidant signalling in plants: a reevaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant Cell Env.* 28:1056-1071.
- Gabriel, J., Veramendi, S., Angulo A., Magne, J. 2013.** Respuesta de variedades mejoradas de papa (*Solanum tuberosum* L.) al estrés hídrico por sequía. *Journal of the Selva Andina Biosphere.* 1(1):25-36.
- Gage, D. J. 2004.** Infection and invasion of roots by symbiotic nitrogen-fixing rhizobia during nodulation of temperate legumes. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.*, 68:280-300.
- Gil, V. I. y Miranda V. I. 2000.** Producción de tomate rojo en hidroponía bajo invernadero. Manual de manejo. Serie de publicaciones AGRIBOT. Universidad Autónoma de Chapingo. México. 63p.
- Gonzales, A. y Hernández, B. 2000.** Estimación de las necesidades hídricas del tomate *Terra. Latinoamérica.* Universidad Autónoma de Chapingo. México. 18:45-50.
- González, J. A. 2007.** Ecofisiología y morfología del estrés debido a factores adversos. Disponible en: <http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/liboo7/Cap3>.
- 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.

- Gutiérrez, A. y A. Lavín. 2000.** Mediciones lineales en la hoja para la estimación no destructiva del área foliar en vides cv. Chaedonnay. *Agricultura Técnica* 60 (1): 69 – 73.
- Hanson, A. D. y W. D. Hitz. 1982.** Metabolic responses of mesophytes to plant water deficits. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 33, 163-203.
- Hernandez, J. A., Jimenez, A. 2000.** Tolerance of pea (*Pisum sativum* L) to long term salt stress is associated with induction of antioxidant defences. *Plant Cell Env.* 23:853-862.
- Hsiao, T. C. 1973.** Plant responses to water stress. *Ann. Rev. Plant Physiol.* 24:519-570.
- Jenkins, J. A. 1948.** The origin of the cultivated tomato. *Economic Botany*, 2: 379-392.
- Kitano, M., Araki T., Yoshida S. and Eguchi T. 1999.** Dependence of calcium uptake on water absorption and respiration in roots of tomato plants (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Biotronics.* 28: 121 – 130.
- Kürschner, W., Stulen, I., Wagner, F. & Kuiper, P. 1998.** Comparison of palaeobotanical observations with experimental data on the leaf anatomy of durmast oak [*Quercus petraea* (Fagaceae)] in response to environmental change. *Ann. Bot.*, 81, 657-664'.
- Lake, J. A., F. I. Woodward & W. P. Quick. 2002.** Long distance CO₂ signaling in plants. *Journal of Experimental Botany* 53: 183-193.
- Lake, J. A., W. P. Quick., D. J. Beerling & F. I. Woodward. 2001.** Signals from mature to new leaves. *Nature* 411: 154-155.
- Lambers, H., Stuart, F., Pons, T. 1998.** *Plant physiological ecology.* Springer-Verlag, New York.
- Larcher, W. 1995.** *Physiological Plant Ecology.* Springer-Verlag Berlin Heidelberg. 506 p.
- Larry R., Joanne, L. 2007.** Genetic resources of tomato. En: M K Razdan; A. K. Mattoo (Eds.). *Genetic improvement of solanaceous crops Vol. 2.* Science Publishers.

- Leung, J. y J. Giraudat. 1998.** Abscisic acid signal transduction. *Ann. Rev. plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 49, 199-222.
- Levitt, J. 1980.** Responses of plants to environmental stresses. Academic Press, New York, NY.
- Lobato, A. K. S. [et al]. 2008.** Physiological and Biochemical changes in soybean (*Glicine max*) plants under progressive water deficit during the vegetative phase. *Agricultural Journal*, 3(5):327-333.
- 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.
- Mano, J. 2002.** Early events in environmental stresses in plants-induction mechanisms of oxidativestress. Page 217-246 in *Oxidative stress in plants*, UK.
- Martin, M., Soto, F., Rivera, R., Renteria, M. 2006.** Estimación de la superficie foliar de la Canavalia ensiformis a partir de las medidas lineales de sus hojas. *Cultivos tropicales*, Vol. 27, pp. 77-80. Recuperado desde: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193215912014>.
- Medrano, H., Bota, J., Cifre J., Flexas J., Ribas-Carbó M., Gulías, J. 2007.** Eficiencia en el uso del agua por las plantas. Grupo de Biología de las plantas Universidad de Alicante. 63- 67 p.
- Méndez, N. J. R., L. Lara, J. A., Gil, M. 2007.** Efecto del riego por goteo en el crecimiento inicial de tres cultivares de algodón (*Gossypium hirsutum* L.). *Idesia* 25:7-15.
- Méndez, S. A. 2013.** Efectividad de aminoácidos en la producción y postcosecha de calabacita zucchini bajo condiciones de estrés hídrico. Tesis de licenciatura. UAAAN. Saltillo, Coahuila, Mex. 42 p.
- Metcalfe, C. & Chalk, L. 1979.** *Anatomy of the dicotyledons* (Vol. 1). Oxford: Clarendon.
- Moller, I. M, Jensen, P. 2007.** Oxidative modifications to cellular components in plants. *Ann Rev Plant Biol.* 58:459-481.

- Moorby, J. 1981.** Transport systems in plants. Lonman and technical. New York, EUA. 169 p.
- Nilsen, E. T. y D. M. Orcutt. 1996.** Physiology of plants under stress. Abiotic factors. John Wiley and Sons, New York, NY.
- Nuez, F. 1995.** Desarrollo de nuevos cultivares. En: El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa, Madrid. Pp. 625-669.
- Oberpaur W. C., Nieto U. L., Délano I. G. 2011.** Influencia de tres volúmenes de contenedor en el almácigo y cultivo de coliflor. *Idesia* 29 (1): 29-36.
- Olalde-Gutiérrez, V. M., Escalante-Estrada, J. A., Sánchez-García, P., Tijerina-Chávez, L., Mastache-Lagunas, A. A., Carreño-Román, E. 2000.** Crecimiento y distribución de biomasa en girasol en función del nitrógeno y densidad de población en clima cálido. *Terra Latinoamericana*, 18: 313-323 pp.
- Pares, J., M. Arizaleta y M. Sanabría. 2003.** Características de los estomas, densidad e índice, estomático y su variación en función a la injertación en *Annona muricata* y *A. montana* (ANNONACEAE). Mimeografiado en vía de publicación. Universidad Centroccidental "Lisandro Alvarado". Decanato de Agronomía. Dpto. De Fitotecnia.
- Peralta I. E., Knapp S., Spooner, D.M. 2006.** Nomenclature for wild and cultivated tomatoes. Report of the Tomato Genetics Cooperative, 56: 6-12.
- Peralta, I. E., Knapp, S. y Spooner, D. M. 2006.** New species of wild tomatoes (*Solanum* Section *Lycopersicon*: Solanaceae) from Northern Peru. *Systematic Botany*. 30(2): 424-434.
- Peralta, I. E. y Spooner, D. M. 2005.** GBSSI gene phylogeny of wild tomatoes (*Solanum* L. section *Lycopersicon* (Mill) Wettst. Subsection *Lycopersicon*). *American Journal of Botany*. 88: 1888-1902.
- 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.

- Peri-Treves, R., Perl, A. 2002.** Oxidative Stress: An introduction in Inzé, D. and Van Montagu M. (ed). Oxidative stress in plants. London: Taylor & Francis. Pp 1-32.
- Pérez. G. A., Ortiz. Q. w., Moreno. L. L., Lara. M. C., Sánchez. R. E., Chacón. M. A. 2012.** Uso de agua, potencial hídrico y rendimiento de chile habanero (*capsicum chinense* jacq.) Rev. Fitotec. Mex. Vol. 35 (2): 155 –160.
- Pilatti, R. A. 1997.** Cultivos bajo invernadero Tomate, Pimiento, Frutilla y Apio. Centro de publicaciones. Universidad Nacional del Litoral. Santa Fe, Argentina.
- Potters, G., T. P. Pasternak., Y. Guisez., K. J. Palme y M .A. K. Jansen. 2007.** Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? Trends Plant Sci. 12(3), 99-105.
- Rodríguez, R., Tavares, R. y Medina, J. 1984.** Cultivo moderno del tomate. Ediciones Mundi Prensa. Madrid, España. 206 p.
- Rubino, P., E. Tarantino y F. Rega. 1989.** Relationship between soil water status and stomatal resistance of tomatoes. Irrigation and Drainage 36:95- 98.
- SAGARPA. 2010.** Monografía de cultivos. Jitomate. Pp 1-10.
- Salas, J., M. Sanabria y R. Pire. 2001.** Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. Bioagro 13(3): 99-104.
- 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.
- Saure, M. C. 2001.** Review: Blossom-end rot of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) A calcium or a stress related disorder. Sci. Hort. 90: 193 – 208.
- Shao, H. B., L. Y. Chu., C. A. Jaleel y C. X. Zhao. 2008.** Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. C.R. Biol. 331, 215-225.
- Sirvansa, R. 2000.** Tolerance to water stress in tomato cultivars. Photosyntetica 38: 465-467.

- Stenglein, S. A., Arambarri, A. M., Menéndez-Sevillano, M. C. & Balatti, P. A. 2003.** Variabilidad del índice estomático en *Phaseolus vulgaris* Varo Aborigineus. XXIX Jornadas Argentinas de Botánica & XV Reunión Anual de la Sociedad Botánica de Chile. Disponible en: <http://www.botanicargentina.com.ar/boletin/38f075-dicot.pdf>
- Takur, P. 1990.** Different physiological response of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars to drought. *Acta Physiologiae Plantarum* 12: 175-182.
- Toumi I., Moschou, P. N., Paschalidis K. A. 2010.** Abscisic acid signals reorientation of polyamine metabolism to orchestrate stress responses via the polyamine exodus pathway in grapevine. *J Plant Physiol.* 167:519-525.
- Vargas O. J. A. y M. A. Martínez D. 2004.** Un modelo econométrico del mercado del jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) en México, 1970-1994. *Comunicaciones en socioeconomía, estadística e informática* 8: 115-133.
- Verdugo, V., A. Rojas., A. De León., B. Zambrano., S. Barrios., E. León., B. Rios y A. Benavides. 1999.** Estimación del índice estomático y la frecuencia estomática en cuatro variedades de ajo (*Allium sativum* L.). Curso de Fisiología de hortalizas. Maestría en Horticultura.UAAAN, Saltillo. Coahuila, México. <http://www.geocites.com/CapeCanaveral/Runway/8787/estomajo.htm> (Última visita 20 de julio de 2002).
- Wilkinson, H. 1979.** The plant surface (mainly leaf). En C. R. Metcalfe & L. Chalk (Eds.), *Anatomy of dicotyledons* (2a ed., Vol. 1). Oxford: The Clarendon Press.
- Zhu, J. K., K. S. Scumaker y L. Xiong. 2002.** Cell signalling during cold, drought, and salt stress. *Plant Cell* 14, 165-183.

Páginas web consultadas en internet:

Internet 1: <http://www.ukessays.com/essays/biology/introduction-tomato-solanum%20lycopersicum-biology-essay.php#ixzz2n6FKDpeH>

Internet 2: www.siap.gob.mx.

Internet 3: www.olivos.cl/blog/riego-en-tomate-bajo-invernadero/

Internet 4: www.bdigital.unal.edu.co/8545/13/06_Cap04.pdf.

Internet 5: www.hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=index.

VII. APÉNDICE

Apéndice 1. Análisis de varianza para la variable altura de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F - Valor	Pr > F
Tratamiento	5	7113.118840	1422.623768	1769.76	<0.0001
Repetición	9	5.630873	0.625653	0.78	0.6370
Error	45	36.173227	0.803849		
Total	59	7154.922940			
C.V. 1.655758 Media= 54.14900					

Apéndice 2. Análisis de varianza para la variable número de hojas de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F - Valor	Pr > F
Tratamiento	5	187.3168333	37.4633667	124.50	<0.0001
Repetición	9	2.4435000	0.2715000	0.90	0.5315
Error	45	13.5415000	0.3009222		
Total	59	203.3018333			
C.V. 4.183784 Media= 13.11167					

Apéndice 3. Análisis de varianza para la variable diámetro de tallo de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F - Valor	Pr > F
Tratamiento	5	6.19055333	1.23811067	13.55	<0.0001
Repetición	9	1.05946000	0.11771778	1.29	0.2697
Error	45	4.11198000	0.09137733		
Total	59	11.36199333			
C.V. 6.186374 Media= 4.886333					

Apéndice 4. Análisis de varianza para la variable área foliar de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F - Valor	Pr > F
Tratamiento	5	137796.9927	27559.3985	9.74	<0.0001
Repetición	4	4188.2881	1047.0720	0.37	0.8271
Error	20	56586.9422	2829.3471		
Total	29	198572.2229			
C.V. 14.75710 Media= 360.4477					

Apéndice 5. Análisis de varianza para la variable índice estomático de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F - Valor	Pr > F
Tratamiento	5	4835.747353	967.149471	19.49	<0.0001
Repetición	16	558.777997	34.923625	0.70	0.7822
Error	80	3970.087453	49.626093		
Total	101	9364.612804			
C.V. 29.41529 Media= 23.94870					

Apéndice 6. Análisis de varianza para la variable densidad estomática de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Fuente de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F - Valor	Pr > F
Tratamiento	5	106.2058824	21.2411765	48.61	<0.0001
Repetición	16	7.1568627	0.4473039	1.02	0.4418
Error	80	34.9607843	0.4370098		
Total	101	148.3235294			
C.V. 24.69921 Media= 2.676471					

Apéndice 7. Comparación de las medias de altura de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Agrupamiento Tukey	Media	T
C	39.57	1
BC	45.53	2
B	51.01	3
B	51.86	4
A	68.75	5
A	68.15	6

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

Apéndice 8. Comparación de las medias de número de hojas de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Agrupamiento Tukey	Media	T
C	11.6	1
C	10.6	2
B	12.8	3
B	13	4
A	14.7	5
A	15.8	6

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

Apéndice 9. Comparación de las medias de diámetro de tallo de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Agrupamiento Tukey	Media	T
B	4.4110	1
B	4.5080	2
A	4.9210	3
A	5.0300	4
A	5.2170	5
A	5.2310	6

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

Apéndice 10. Comparación de las medias de área foliar de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Agrupamiento Tukey	Media	T
C	281.28	1
C	276.81	2
BC	349.04	3
ABC	371.25	4
A	460.86	5
AB	423.45	6

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

Apéndice 11. Comparación de las medias de índice estomático de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Agrupamiento Tukey	Media	T
C	13.324	1
BC	18.296	2
B	22.799	3
B	24.787	4
A	32.311	5
A	32.175	6

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

Apéndice 12. Comparación de las medias de la densidad estomática de plantas de tomate, tratadas con diferentes tensiones hídricas.

Agrupamiento Tukey	Media	T
C	1.1176	1
C	1.7647	2
B	2.7059	3
B	2.7647	4
A	3.5294	5
A	4.1765	6

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