

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO**

**UNIDAD LAGUNA**

**DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS**



**DESARROLLO DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO DIFERENTES NIVELES DE CONDUCTIVIDADES DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA**

**POR  
JOSÉ PALOMINO LÓPEZ.**

**TÉSIS  
PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA.**

**TORREÓN, COAHUILA**

**JUNIO DE 2016**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DESARROLLO DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO  
DIFERENTES NIVELES DE CONDUCTIVIDADES DE LA SOLUCIÓN  
NUTRITIVA

POR  
JOSÉ PALOMINO LÓPEZ

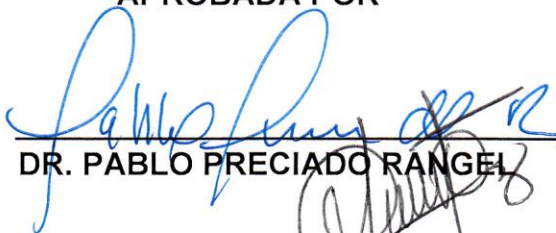
TÉSIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL H. JURADO EXAMINADOR  
COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

APROBADA POR

PRESIDENTE:

  
\_\_\_\_\_

DR. PABLO PRECIADO RANGEL

VOCAL:

  
\_\_\_\_\_

M.C. HÉCTOR ARMANDO DÍAZ MÉNDEZ

VOCAL:

  
\_\_\_\_\_

M.C. RAFAEL ÁVILA CISNEROS

VOCAL SUPLENTE:

  
\_\_\_\_\_

M.E VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

  
\_\_\_\_\_

M.E VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERA AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA

JUNIO DE 2016

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO  
UNIDAD LAGUNA  
DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS

DESARROLLO DEL CULTIVO DE TOMATE (*Solanum lycopersicum*) BAJO  
DIFERENTES NIVELES DE CONDUCTIVIDADES DE LA SOLUCIÓN  
NUTRITIVA

POR  
JOSÉ PALOMINO LÓPEZ

TÉSIS

QUE SE SOMETE A LA CONSIDERACIÓN DEL COMITÉ DE ASESORÍA COMO  
REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

APROBADA POR

ASESOR PRINCIPAL:

  
DR. PABLO PRECIADO RANGEL

ASESOR:

  
M.C. HÉCTOR ARMANDO DÍAZ MÉNDEZ

ASESOR:

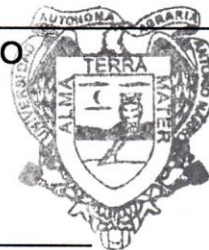
  
M.C. RAFAEL ÁVILA CISNEROS

ASESOR:

  
M.E VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

  
M.E VÍCTOR MARTÍNEZ CUETO

COORDINADOR DE LA DIVISIÓN DE CARRERAS AGRONÓMICAS



TORREÓN, COAHUILA

JUNIO DE 2006

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco infinitamente a Dios y a toda mi familia por haberme apoyado en todo momento para poder terminar una etapa muy importante que tanto anhelaba concluir.

**A mis padres,** les doy las gracias a mis padres queridos, Reymundo y Elenapor haberme traído a este mundo tan hermoso, y por enseñarme el camino correcto, por medio de los muchos valores que me inculcaron.

**A mis hermanos.** Abraham, Saúl, Rafael, Raymundo, Gabriela, Bernarda, Candelaria, Paulina, Paz, Alberto, Rufina, Rodrigo y Alejandra, quiero agradecer a cada uno de ustedes por su hermosa amistad y apoyo brindado en alguna parte de mi vida, y másaún, agradezco su persistencia a los hermanos que siempre estaban al pendiente paya apoyarme. También, todos mis sobrinos primas y tíos que me impulsaron de alguna u otra forma para que siguiera adelante.

**A mis profesores Al Dr. Pedro Cano Ríos** agradezco sincera mente por haberme heredado parte de su mucho conocimiento. Al Ing. Víctor Martínez Cueto por ser uno de mis mejores asesores en todo momento, al igual, Ing. Francisca, al Ing. Nava. Al Dr. Ángel Lagarda gracias. Al Ing. Francisco Suarez, Dr. Madero, Dr. José Luis Reyes, Dr. Heleno, Dr. Moreno Reséndiz, Dra. Norma Dimas, Ing. Norma Lydia, al Dr. Marco Vera, y todos los demás profesores de mi departamento y de los demás departamento que en muchas ocasiones me apoyaron.

**A mis amigos.** Agradezco el gran apoyo que siempre me brindo y que en todo momento ella estaba ahí para ayudarme amiga Nasla Yanina. A Omar, gracias por

ayudarme a llegar a esta universidad, porque si no hubiera llegado aquí, todo fuera diferente. Agradezco los ánimos de mi amigo Jeremías, aunque sabía que podía, me ayudaron mucho tus halagos.

**A mis compañeros de generación.** Agradezco de todo corazón a todos mis compañeros que en algún momento me ayudaron, y más en especial a Angélica Martínez gracias por tu comprensión. Magdiela gracias por apoyarme en establecer el proyecto de mi tesis.

**A mi comité de asesores.** Agradezco al M.C. Héctor armando Díaz y al Dr. Pablo Preciado por todo el apoyo brindado, porque sin su ayuda no hubiera podido sacar adelante este proyecto de investigación, estoy muy agradecido. Y también al Dr. Eduardo Madero agradezco su confianza al igual, es un gusto saber que forma parte de mis asesores de tesis. El M.C. Rafael Ávila gracias por su ayuda.

### **DEDICATORIA**

Dedico mi presente trabajo a mi Universidad, a la Autónoma Agraria Antonio narro, por haberme brindado las herramientas necesarias que necesita un estudiante, para convertirme en un profesional que va en busca de un mejor desarrollo social. Agradezco por darme una beca excelente, que me ayudo en gran parte para que pudiera terminar mi carrera profesional. Siento una gran satisfacción por concluir y graduarme en una universidad con prestigio. Y a donde quiera que me pare diré orgullosamente **“SOY NARRO”** y más que nada defenderé su profesionalismo.

## RESUMEN

En los actuales sistemas de producción agrícola, la nutrición del cultivo es el principal factor que debe tomarse en cuenta, ya que un elemento en exceso o deficiente limita el óptimo desarrollo de la planta y afecta directamente su rendimiento.

En el presente estudio se evaluaron diferentes conductividades eléctricas en la solución nutritiva en el cultivo de tomate, desarrollado bajo condiciones de casa sombra. Los tratamientos consistieron en: cuatro concentraciones de nutrientes en la solución nutritiva (CE), 1.5, 2.0, 2.5, 3.0 dS m<sup>-1</sup>. Las variables de respuesta evaluadas consistieron en: altura de planta, materia seca, rendimiento, número de frutos por planta, calidad de frutos (diámetro polar, ecuatorial, firmeza de frutos y sólidos solubles). Con una conductividad de 3.0 y 2.5 dS m<sup>-1</sup> se obtienen frutos con mejores características, firmeza, espesor del pericarpio, diámetro ecuatorial y polar, que son parte importante de la calidad de los frutos, aunque en el tratamiento de 2.5 mostró una disminución en grados brix, pero se mantuvo por arriba de lo que marca un fruto con calidad, igualmente en estos tratamientos mostró un mayor rendimiento y número de frutos a diferencia de los tratamientos con CE de 1.5 y 2.0 dS m<sup>-1</sup> que presentaron un menor rendimiento y menor calidad de los frutos.

**Palabras clave:** fertilización, conductividad, rendimiento, calidad, *Solanum lycopersicum*.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA .....	ii
RESUMEN.....	iii
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo .....	3
1.2. Hipótesis .....	3
2. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. El tomate.....	4
2.1. Historia.....	5
2.2. Origen y domesticación.....	6
2.3. Clasificación taxonómica.....	7
2.4. Características botánicas del tomate.....	9
2.5. Requerimientos climáticos del tomate.....	12
2.6. Calidad del tomate.....	17
2.7. Tecnología de producción.....	18
2.8. Valor nutracéutico del tomate.....	24
2.9. Rendimiento.....	26
2.9. Frutos.....	27
2.10. Materia seca.....	29
2.11. Demanda de nutrientes.....	31
2.12. Acumulación de macronutrientes por los órganos de la planta .....	32
2.13. El pH.....	33
3. MATERIALES Y MÉTODO .....	33
3.1. Localización y características de centro de investigación.....	33
3.2. Distribución del experimento.....	34
3.3. Variables evaluadas.....	34
3.4. Manejo del cultivo .....	37
3.5. Factores a tomar en cuenta para preparar una solución nutritiva.....	39

3.6. Riego y fertilización. ....	41
3.6. Análisis de varianza. ....	42
4. RESULTADOS Y DISCUSION.....	43
4.1. Altura de planta.....	43
4.2. Materia seca.....	44
4.3. Área Foliar.....	46
5. 4. Rendimiento y número de frutos por planta.....	47
4.5. Calidad del fruto.....	52
5. CONCLUSIONES.....	57
6. LITERATURA CITADA.....	58



## ÍNDICE DE FIGURAS

Pg

Figura 1.	Esquema representativo de la forma en que se realizaron las medidas lineales del largo y ancho de las hojas	36
Figura 2.	Práctica de poda en tomate.	69
Figura 3.	Sistemas de riego en cultivo de tomate	42
Figura 4.	Valores promedio de la altura de las plantas en función de la CE de la solución Steiner	44
Figura 5.	Valores promedio de materia seca de las plantas en función de la CE de la solución	46
Figura 6.	Valores promedio del índice de área foliar en función de la CE de la solución Steiner	47
Figura 7.	Valores promedio del rendimiento en función de la CE de la solución Steiner.	49
Figura 8.	Valores promedio del número de frutos en función de la CE de la solución Steiner.	50
Figura 9.	Enfermedad cáncer bacteriano ( <i>Clavibacter michiganensis</i> ).	51
Figura 10.	Representación de la maduración a la cual fueron cosechados los frutos (FM) y frutos inmaduros (FI)	52
Figura 11.	Valores promedio del diámetro ecuatorial y polar en función de la CE de la solución Steiner.	53
Figura 12.	Valores promedio del Espesor del pericarpio del fruto en función de la CE de la solución Steiner.	55
Figura 13.	Valores promedio de Firmeza de fruto en función de la CE de la solución Steiner.	57
Figura 14.	Valores promedio de los grados ° Brix de los frutos en función de la CE de la solución Steiner.	58

## 1. INTRODUCCIÓN.

El tomate (*SolanumLycopersicun*) es una de las hortalizas que más se comercializada en muchos países del mundo por su importancia económica y por su consumo en todo el año (Zafra, 2013). De acuerdo con estadísticas la producción de tomate en México en el periodo 2013-2014 fue de 3, 282,583 millones de toneladas (FAOSTAT. FAO, 2015).

El tomate es una hortaliza que demanda una mayor cantidad de nutrientes a diferencia de las demás hortalizas; motivo por el cual debe de existir un control de la cantidad de fertilizantes aplicados ya que un exceso provoca problemas ambientales daños al medio ambiente e incrementando los costos en la producción (Fayad *et al.*, 2002; Duarte Díaz *et al.*, 2010;Hernández Díaz *et al.*, 2014b).

En los actuales sistemas de producción agrícola, la nutrición del cultivo es el principal factor que debe tomarse en cuenta, ya que un elemento en exceso o deficiente limita el óptimo desarrollo de la planta y afecta directamente su rendimiento. Por lo tanto, es necesario conocer el efecto de los nutrimentos sobre los procesos bioquímicos y fisiológicos de las plantas en cada etapa fenológica y manejarlos en cada condición particular (Sánchez *et al.*, 2009).

La manera más usual de nutrir al cultivo es por medio de una solución nutritiva y su correcto uso repercute en la cantidad total de fertilizantes utilizados, así como en el cuidado de los recursos naturales.

Una de las características más importantes de la solución nutritiva es la concentración iónica total o su estimado que es la conductividad eléctrica, pues afecta la absorción de agua y nutrimentos, y por consiguiente, el crecimiento y nutrición de la planta (Wallender y Tanji, 2011; Marschner, 2012) el rango de conductividad eléctrica requerido para un adecuado crecimiento del cultivo depende de la especie y de la CE del agua con que es preparada la solución (Carrasco e Izquierdo, 1996), una baja conductividad eléctrica puede causar deficiencias nutrimentales en cambio una alta conductividad eléctrica causa irregularidades a nivel celular, comenzando con problemas en la división y alargamiento celular, y una alta concentración de sales en la zona de raíces, dificulta la absorción de nutrientes lo que se ve afectado en la parte aérea de la planta ocasionando la disminución del porcentaje de materia seca y disminución del área fotosintéticamente activa (Feng *et al.*, 2002; Ahmad *et al.*, 2010; Hernández Díaz *et al.*, 2014a). Para hacer buen uso de los fertilizantes es necesario implantar un adecuado seguimiento nutricional, suministrando, la cantidad de nutriente que necesita la planta en cada etapa de desarrollo, y por consiguiente no causar problemas de contaminación ambiental, de igual forma mejorar la eficiencia en la producción, obteniendo mayor calidad de cosecha (Coutinho Edson *et al.*, 2014; Duarte Díaz *et al.*, 2010).

### **1.1. Objetivo**

Evaluar diferentes conductividades eléctricas de la solución nutritiva sobre el rendimiento y calidad de frutos de tomate desarrollados en un sistema hidropónico bajo condiciones de casa sombra.

### **1.2. Hipótesis**

Una alta conductividad eléctrica de la solución nutritiva afecta negativamente el rendimiento y la calidad de frutos de tomate.

## 2. REVISIÓN DE LITERATURA.

### 2.1. El tomate.

El tomate es una de las hortalizas que más se produce, en muchos países por su importancia económica, los principales países que más produjeron en el periodo 2013 / 2014 fueron china continental con 48, 642, 425.00 millones de toneladas, india con 16 459,800.00 millones de ton, Estados unidos con 12, 791,560.00 millones de ton, Turquía 11, 056,358.25 millones de ton y Egipto 8, 453,319.50; Siendo china el país líder en la producción de esta hortaliza (FAOSTAT. FAO, 2015).

En México, el tomate es el cultivo hortícola de mayor importancia económica y social, por la superficie sembrada, por su forma de consumo, y las divisas generadas (Salazar *et al.*, 2005). Su popularidad se debe al aceptable sabor y disponibilidad del fruto en una amplia gama de ambientes, y por consiguiente se puede disfrutar durante todo el año de esta hortaliza (Cruz-Lagunas,2007). Además su cultivo tiene las siguientes ventajas: genera empleo, debido a que requiere mucha mano de obra desde la siembra hasta el empaque; estimula el empleo urbano proporcionando oportunidades de negocios en aspectos como manufactura, venta de agroquímicos, maquinaria y equipo; se necesita semilla de calidad, su exportación va en aumento, lo mismo que los precios pagados a los productores, generando importantes cantidades de divisas; mejora la nutrición de los consumidores; es muy versátil en su uso porque se puede consumir en fresco, cocinado, frito y procesado industrialmente en

conservas, salsas, jugos y en polvo (Cruz- Lagunas, 2007; Castellanos, 2011; SIAP, 2013).

En general el tomate es un alimento cuyo componente mayoritario es el agua, seguido de los hidratos de carbono. Se considera una hortaliza cercana a las frutas, ya que su aporte en azúcares simples es superior a la de muchas verduras, lo que le confiere un sabor dulce. Es una fuente importante de vitaminas entre las que se destacan la vitamina C, la vitamina E, la vitamina A (principalmente, el  $\beta$ -caroteno), vitaminas del grupo B (B1 Y B3), y de minerales como el fosforo y potasio (Enfissi *et al.*, 2010); (Ceballos-Aguirre *et al.*, 2012). Además, presenta un alto contenido de licopeno, un pigmento que le proporciona su característico color rojo, y que se considera el más potente de los antioxidantes (Wei y Giovannucci, 2012). Se ha demostrado que esta sustancia puede prevenir e incluso combatir el cáncer, porque protege las células de los efectos de la oxidación (Wei y Giovannucci, 2012)

### **2.1. Historia.**

Fueron los conquistadores españoles, durante las grades expediciones, los que descubrieron esta solanácea que los incas venían cultivando desde hacía siglos. Agricultores excepcionales, habían mejorado un pequeño fruto originario de os Andes peruanos (*Lycopersicun cerasiforme*) para obtener unos más grande parecido al que conocemos hoy en día (Mathias, 2013)

### **2.1.1. Manzana de oro.**

Los italianos fueron los primeros en acogerlo a finales del siglo XVI, lo adoptaron incluso lo bautizaron como *pomodoro*(manzana de oro). En sur de Francia, se logró hacer un huerto, también se conocía como “manzana del amor”. En la época, también se le atribuían virtudes afrodisiacas, desmentidas actualmente por la ciencia, pero en todo caso, lo cierto que en el norte de Francia, más reservado, se contentaron con cultivarlo como planta ornamental (Mathias, 2013)

### **2.2. Origen y domesticación.**

El tomate (*Solanumlycopersicon*)tiene su origen en zona oeste de América del sur, entre el norte de Chile y al sur de Colombia, con crecimiento en forma silvestre. Las formas silvestres más ancestrales, de las cuales descienden los cultivares modernos, son nativos de la región Andina, en una franja de 300 km de ancho, que limita al sur con Chile, al norte con Ecuador, al este con cordilleras de los Andes y al oeste con el Océano Pacífico hasta las islas Galápagos (Peralta y Spooner, 2006)

Existen similitud en los cultivares europeos y las plantas silvestres de México que usan los agricultores de manera tradicional y su semilla es producida por los mismos agricultores, sin embargo en ciertos lugares los podemos encontrar en forma de maleza en los algunos campos de otros cultivos (Sánchez-Peña *et al.*, 2006; Sevilla, 2006).

La llegada de los españoles a América se encontró que la cultura azteca cultivaba diferentes plantas entre ellos los tomates. Además el nombre moderno tiene su origen en la lengua náhuatl de México donde se le llamaba "tomatl" (Nuez, 2001).

### **2.3. Clasificación taxonómica.**

Linnaeus (1753), fue el primero en clasificar el tomate cultivado en el género *Solanum*. (Spooner *et al.*, 1993) mediante el análisis del sitio restricción de ADN del cloroplasto, identificaron que el tomate y dos de sus especies del género *Solanum* subgénero *Potatoe*, de esta manera, reconocieron al tomate como perteneciente al género *Solanum* especie ***Solanum Lycopersicum***.

Más recientemente, (Peralta y Spooner, 2001), y (Marshall *et al.*, 2001), determinaron que todas las especies del anterior género *Lycopersicon* y dos especies del género *Solanum* subgénero *Potatoe* conforman un mismo grupo, verificando de esta manera, la inclusión del tomate cultivado y sus especies relacionadas dentro del género *Solanum* sección *Lycopersicum*. Por lo que el tomate ***Solanum Lycopersicum*** se puede identificar tal como se muestra (Reche, 2010).



**Clasificación taxonómico del tomate (Reche, 2010).**

Reino	Plantae.
División	Magnoliophyta
Clase	Dicotiledóneas
Orden	Tubifloras
Familia	Solanaceae
Subfamilia	Solanoideae
Género	Solanum
Sección	Lycopersicum
Especie	Esculentum

El tomate es una planta dicotiledónea perteneciente a la familia de las Solanáceas. Esta familia, se caracteriza por que todos sus miembros presentan haces bilaterales y una estructura floral específica que consta de flores radicales y cinco estambres. Tanto el ovario como el súpero y el bicarpelar, presentan numerosos primordios seminales que generan bayas polispermos y los carpelos se encuentran situados en forma oblicua con respecto al plano mediano de la flor (Nuez, 2001)

El tomate presenta básicamente dos hábitos de crecimiento: determinado e indeterminado. La planta indeterminada es normal y se caracteriza por tener un crecimiento extensivo, postrado, desordenado y sin límite. En ella los tallos presentan segmentos uniformes con tres hojas (con yemas), y una inflorescencia, determinado siempre con un ápice vegetativo. A diferencia de esta, la planta

determinada tiene tallos con segmentos que presentan progresivamente menos hojas por inflorescencia y terminan en una inflorescencia, lo que resulta un crecimiento limitado (Monardes, 2009).

## **2.4. Características botánicas del tomate.**

### **2.4.1. Sistema radical.**

El sistema radical alcanza una profundidad de esta 2 m, con una raíz pivotante y muchas raíces secundarias. Sin embargo, bajo ciertas condiciones de cultivo, se daña la raíz pivotante y la planta cambia a sistema de raíz fasciculado, en que dominan las raíces adventicias y se concentran en los primeros 0.30 m (Monardes, 2009). Bajo condiciones de suelo la raíz principal crece unos 2.5 cm diarios hasta llegar a los 60 cm de profundidad, el sistema radical tiene como función la absorción y transporte de agua y nutrientes así como la sujeción y anclaje de la planta al suelo. La raíz juega un papel importante en el rendimiento del cultivo y su desarrollo, esta también asociado a las características físicas y químicas del suelo (Castellanos, 2009).

Bajo condiciones de cultivo sin suelo la raíz queda confinada en contenedores de diferentes volumen, geometría y disposición. Usualmente se utiliza un volumen de 5 a 10 litros por planta. Los sacos de cultivo de perlita y fibra de coco con un volumen de 30 litros son compartidos por 5 ó 6 plantas, lo mismo ocurre con las tablas de lana de roca. La fibra de coco, en general confiere a las plantas una gran ramificación de raíces y vigor, aun que cualquier sustrato

manejado con un buen programa de riego, propicia un desarrollo de raíces (Castellanos, 2009).

#### **2.4.2. Tallo principal.**

Los tallos son ligeramente angulados semileñosos, de grosor mediano con tricomas (vellosidades) simples y granulares. Eje con grosor que oscila entre 2 y 4 cm en la base, sobre el que se ven desarrolladas las hojas, tallos secundarios e inflorescencias. En la parte distal se encuentra el meristemo apical, donde se inician los primeros primordios foliares y florales (Monardes, 2009).

#### **2.4.3. Hojas.**

Las hojas son compuestas e imparipinnadas, con folíolos peciolados, lobulados y con borde dentado, en número de 7 a 9 y recubierto de pelos glandulares. Las hojas se disponen de forma alternadas sobre el tallo (Monardes, 2009). Las hojas tiene un peciolo, que se utiliza para el monitoreo nutricional y de este eje salen pequeñas hojitas llamadas folíolos. Se denomina simpodio a un sector de tallos compuestos de tres hojas y ramillete floral para el caso de las variedades de crecimiento indeterminado. Las hojas son las encargadas de la fotosíntesis por lo que deben tener una buena disposición para una mayor captación de la radiación. Una hoja típica del tomate alcanza hasta 50 cm de largo, con un gran folíolo terminal y hasta 8 grandes folíolos laterales, pueden a su vez ser compuestos. En las hojas se encuentran las estomas estructuras por donde se realiza el intercambio gaseoso ( $\text{CO}_2$ ) (Castellanos, 2009).

#### **2.4.4 Flor.**

La flor del tomate consta de 5 o más sépalos, de igual número de pétalos de color amarillo dispuestos de forma helicoidal y de igual número de estambres que se alteran con los pétalos. Los estambres soldados por las anteras y forman un cono estaminal que envuelve el gineceo como racimos y evita la polinización cruzada. El ovario es bi o plurilocular. Las flores se agrupan en inflorescencias denominadas comúnmente como racimos, la primera flor se forma en la yema apical y las demás se disponen lateralmente por debajo de la primera, alrededor del eje principal. Las inflorescencias se desarrollan cada 2-3 hojas en las axilas (Monardes, 2009). Las flores son bisexuales y se polinizan principalmente por el viento. La polinización ocurre generalmente cuando la temperatura en la noche es entre 13 y 24 °C, en el día oscila entre 15.5 a 32 °C. Si las temperaturas son más altas o más bajas, especialmente de noche la polinización se dificulta (Lesur, 2006).

#### **2.4.5. Fruto.**

Baya bi o plurilocular, en número 2 a 12, contiene las semillas, puede alcanzar un peso que oscile entre unos pocos miligramos y 600 mg (Monardes, 2009). La forma y peso del fruto depende de la variedad y el manejo (Castellanos, 2009) Las principales partes del fruto son las siguientes, (Lesur, 2006).

- Pericarpio o cascara, que es la cubierta externa
- Los lóculos o celdas son los compartimientos que contienen las semillas

- La pulpa, formada por las partes de las celdas, es más o menos rica en jugo que constituye la materia prima para la industria de conservas.
- Entre la pared y la placenta se encuentran las paredes del ovario y las semillas.

#### **2.4.6. Semillas.**

Las semillas son más o menos numerosas según la variedad, se encuentran en el interior de las celdas envueltas en un mucilago placentario. Las semillas tienen forma oval y aplanada lateralmente, con 3 a 5 milímetros de largo y de 2 a 4 mm de ancho de color amarillo grisáceo (Lesur, 2006). El embrión lo constituye una yema apical, dos cotiledones, el hipocótilo y radícula. La testa o cubierta seminal es de un tejido duro e impermeable (Castellanos, 2009).

### **2.5. Requerimientos climáticos del tomate.**

#### **2.5.1. Temperatura.**

El intervalos de temperatura del suelo recomendado para tomate es de 1 °C a 16 °C (mínima 1°C y máxima 30°C) la temperatura óptima para la germinación de tomate está comprendida entre los 25°C y los 28°C; por debajo de los 10°C la semilla no germina o lo hace muy des uniformemente (Velazco *et al.*, 2012).

#### **2.5.1.1. Crecimiento.**

La temperatura óptima para el crecimiento es de 21°C a 26°C, una temperatura permanente menor a 15 °C detiene la floración y si la temperatura llega a los 10°C la planta detiene su crecimiento. En caso de elevarse la temperatura a las de 35 °C, la fotosíntesis disminuye formando hojas más pequeñas, tallos más delgados que ocasionan desprendimiento de ramas y racimos más pequeños (Villa *et al.*, 2001; Velazco *et al.*, 2012)

El crecimiento máximo (producción de materia seca) se obtiene con una temperatura diurna de 24°C y nocturna de 17 °C estos factores fluctúan en relación con la intensidad de la luz, la edad y el balance del agua en la planta (Velazco *et al.*, 2012).

El tomate es una planta termoperiódica y responde favorablemente a las fluctuaciones de temperatura diurna-nocturna; esta oscilación térmica entre el día y la noche debe ser de almenos de 8°C, lo que favorece su crecimiento y la formación de un mayor número de flores. En esta etapa la planta requiere en el día de 23°C a 26°C y en la noche de 15°C a 18°C; temperaturas superiores a 28°C reduce el número de flores y racimos por planta, las flores son pequeñas y

pueden caer sin ser polinizadas, debido a la falta de carbohidratos que se consumen por las partes vegetativas de la planta. Por encima de los 35°C los granos de polen se deshidratan, el pistilo de las flores se prolonga de manera anormal situando por encima de los granos de polen antes de que las anteras se abran, por lo que no puede realizarse la polinización creando poco amarre de fruto y siendo estos desuniformes (Velazco *et al.*, 2012).

Temperaturas inferiores a los 12 °C ocasiona que el polen pierda prácticamente su viabilidad o definitivamente muera, reduciéndose con eso la autopolinización provocando la caída de las flores o frutos demasiado pequeños y con ello disminución del rendimiento (Velazco *et al.*, 2012).

Con el incremento de la temperatura disminuye la disponibilidad de asimilados debido a un incremento de la demanda total de asimilados, echo que pueden explicar el efecto de la temperatura sobre el aborto de las flores (Galvez, 2005).

#### **2.5.1.2. Fructificación.**

Las condiciones óptimas para que se produzca la fecundación y el amarre del fruto se pueden establecer entre los 14 °C y los 18 °C durante la noche y de 23 °C a 26 °C durante el día; se debe poner especial atención en la temperatura nocturna ya que esta tiene mayor influencia sobre los dos procesos (Velazco *et al.*, 2012).

Durante la etapa de llenado de frutos, las altas temperaturas redundan en la disminución del tamaño de los frutos cuajados, ya que se retarda la

fotosíntesis, la respiración se acelera y las células son más pequeñas (Velazcoet *al.*, 2012).

La coloración deseada en los frutos es la roja, propiciada por el licopeno el cual se manifiesta mejor en temperaturas que van de 15°C a 29°C; de no ser así aparecen los colores verdes, amarillos o rozados, propiciados por los carotenoides y las xantofilas. La temperatura óptima diaria para el mejor desarrollo del color rojo del tomate esta entre 18°C y 24°C; cuando la temperatura pasa de los mínimos de 26°C a 29°C, considerados así como desfavorables, se acentúan el color amarillo del fruto. La coloración puede ser anormal cuando ocurre una temperatura promedio de 15 °C durante 95 horas en la semana anterior a la cosecha. Temperaturas inferiores a 8 °C pueden disminuir la cálida del fruto, provocando un agrietamiento muy ligero en forma circular (Velazcoet *al.*, 2012).

### **2.5.2. Humedad relativa.**

La humeada relativa más favorable es de 50 al 60%; cuando es más alta las anteras se hinchan y el polen no puede liberarse ni caer sobre el estigma y las flores no se polinizan y caen (Velazcoet *al.*, 2012).

La humedad del 80% o más favorecen el desarrollo de las enfermedades fungosas, principalmente tizón tardío (*Phytophthora infestans*), tizón temprano (*Alternaria solani*), y moho gris o bitrytis (*Botrytis cinerea*); estos provocan agrietados del fruto y dificultan la fecundación, debido a que el polen se compacta, abortando parte de la flor. La humeada relativa del 50 % o menos



dificulta la fijación del polen al estigma de la flor, además de que el polen se rehidrata muy rápidamente y disminuye el amarre de los frutos; otro problema es que la transpiración de la planta disminuye creando problemas por deficiencia de calcio sobre todo en los frutos (Velazco *et al.*, 2012).

La humedad en el suelo es también muy importante. Se debe evitar que la planta sufra estrés hídrico ya que se alteran todos los procesos fisiológicos. Pero también el exceso de humedad en el sustrato al igual que en el ambiente provoca el desarrollo de enfermedades, como *Fusarium*, *Phytophthora* y *Rhizoctonia*, ya sea en forma independiente o en complejo, atacando principalmente a la raíz y el cuello de la planta. Igualmente, el agrietamiento del fruto tiene su origen en el cambio repentino de agua en el interior del mismo, provocando por el cambio de sequía edáfica a un riego o exceso de humedad del sustrato (Velazco *et al.*, 2012).

### **2.5.3. Luz.**

La planta de tomate, a través del tiempo y de su evolución se ha adaptado en condiciones de radiación solar directa. La cantidad de luz solar tiene su efecto directamente en el proceso de la fotosíntesis, y está a la vez en la síntesis de carbohidratos y en consecuencia, en el desarrollo de la propia planta en la floración y en la producción y calidad de frutos (Velazco *et al.*, 2012).

Para que el cultivo de tomate desarrolle adecuadamente se necesita de una cantidad de radiación por día, que debe estar dentro de 475 a 864 cal. cm<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>, con un fotoperiodo de 12 horas luz, ya que las cantidades menores a ésta, caso particular de los periodos de invierno se manifiestan en una disminución en

el desarrollo de la planta, una reducción en el amarre de frutos, baja producción y menor calidad de frutos (Villa *et al.*, 2001).

## **2.6. Calidad del tomate**

La calidad y la vida de anaquel de los frutos de tomate son controlados por el estado de madurez en la cosecha; el sabor del tomate es el resultado de diversos componentes aromáticos volátiles y no volátiles y de una compleja interacción entre éstos (Yilmaz, 2001).

Los frutos de tomate contienen: azúcares reductores como fructosa y glucosa y sacarosa el contenido de sólidos solubles totales, contenido de azúcares en diferentes variedades de tomates aumenta con el cambio de la madurez (Alam *et al.*, 2006)

Los tomates son frutos climatéricos y su maduración es acompañada por cambios en el sabor, textura, color y aroma. Durante este proceso se degrada la clorofila y se sintetizan carotenoides, como el licopeno (antioxidante que da el color rojo) y el  $\beta$ -caroteno (precursor de la vitamina A), giberelinas, quinonas y esteroides (Fraser *et al.*, 1994; Wei y Giovannucci, 2012).

El fruto pierde firmeza debido a cambios físicos y químicos asociados con la degradación de la pared celular y la solubilización de las pectinas por las enzimas pectinesterasa, poligalacturonasa y pectatoliasa (Marín-Rodríguez *et al.*, 2002; White, 2002);

## **2.7. Tecnología de producción.**

### **2.7.1. Conductividad eléctrica de la solución nutritiva.**

La solución nutritiva es agua con oxígeno y nutrientes esenciales en forma iónica (Herrera, 1999). En hidroponía los elementos minerales esenciales son aportados en la solución nutritiva, a través de las sales fertilizantes que se disuelven en agua (Carrasco e Izquierdo., 1996). De acuerdo con Steiner (1961, 1966) la composición química de la solución nutritiva está determinada por los factores siguientes: la relación mutua entre cationes; la relación mutua entre aniones; la concentración iónica total y el pH.

Un factor importante a considerar en la solución nutritiva es relativo a la concentración iónica total, ya que esta determina el crecimiento, el desarrollo y la producción de la planta (Steiner, 1961). La cantidad total de iones de las sales disueltas en la solución nutritiva ejerce una fuerza llamada presión osmótica la cual es una propiedad coligativa de las soluciones que dependen de la cantidad de solutos disueltos (Favela *et al.*, 2006)

La conductividad eléctrica indica el potencial osmótico, este potencial siempre posee valores negativos y está determinado por la concentración de solutos o sustancias osmóticamente activas, y forma parte del potencial hídrico (Bautista Cruz, 2010).

El potencial hídrico total se define como la capacidad de las moléculas de agua para moverse en un sistema particular y comprende la influencia de varios potenciales, potencial osmótico aplicable a los efectos de los solutos, potencial

de presión o turgencia, derivado de los efectos de la presión, y efectos de la superficie, llamado potencial mátrico (Bieto *et al.*, 2008). De acuerdo al potencial hídrico del agua pura a la presión atmosférica y a la misma temperatura de la solución es igual a cero, por este modo una solución acuosa tiene valor negativo y las moléculas del agua se difunden de una mayor concentración a una menor concentración (Salisbury y Ross, 2000)

Una medida indirecta para determinar la presión osmótica es la conductividad eléctrica (CE), Parámetros que se definen como la capacidad de una disolución para transmitir la corriente eléctrica (Favela *et al.*, 2006).

La medición de la CE se realiza a través de un conductímetro y no se debe descuidarse la calibración de este instrumento. Las unidades en que se mide la CE estimada a 25 °C son los decisiemens por metro ( $\text{dS m}^{-1}$  o milisiemens ( $\text{dS m}^{-1}$ ), (Cjuno, 2005).

La CE mide la concentración de cationes o aniones en la solución; por lo que, cuando mayor es la cantidad de aniones o cationes es la lectura de la CE (Cjuno, 2005). La alta conductividad se debe a una alta concentración de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$  disueltos en el agua (Navarro-López *et al.*, 2012). Los micronutrientes se utilizan en concentraciones muy bajas en relación a los macronutrientes, por lo tanto, una aplicación adicional de éstos no aumenta significativamente la CE (Sonneveld y Voogt, 2009).

La CE requerida para obtener una óptima producción depende del tipo de cultivo, y de las condiciones ambientales (Hernández *et al.*, 2006; Sonneveld y Voogt, 2009). (Steiner, 1961) Señala que diferencias en la presión osmótica de la solución nutritiva del orden de 0.2 atm. ( $0.55 \text{ dS m}^{-1}$ ) puede provocar

diferencias en el rendimiento. Por lo tanto, el monitoreo sistemático de la CE de la solución del suelo o sustrato es de gran importancia para obtener grandes rendimientos y una óptima calidad (Sonneveld y Voogt, 2009)

El principal efecto de la CE se relaciona con el factor osmótico y una mayor dificultad de la planta para absorber agua, con un gasto de energía que puede ser en detrimento de la energía metabólica y de los compuestos orgánicos que se destinan a los diferentes órganos de la planta en crecimiento (Munns, 2005). En condiciones de fuerte demanda evapotranspirativa es común encontrarse cambios temporales de conductividades eléctricas en el suelo, en momentos puntuales donde la demanda hídrica del cultivo y del ambiente se incrementa, afectando en gran medida la producción (Hernández Díaz *et al.*, 2014a)

### **2.7.2. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento y rendimiento en cultivo de tomate.**

La salinidad es un factor que afecta al medio ambiente y el rendimiento de muchos cultivos hortícolas; en diferentes maneras. La primera fase se debe al efecto osmótico, respuesta de la sal en la solución del suelo, que produce un conjunto de efectos idénticos a la escasez de agua en las raíces, más tarde puede haber un efecto adicional en el crecimiento; si es excesiva la cantidad de sal se eleva a niveles tóxicos, en las hojas de mayor transpiración, causando la senescencia de las mismas, esto reducirá la cantidad de asimilados que la planta

puede producir y una reducción en el transporte de asimilados a las partes más demandantes como brotes y frutos en crecimiento (Munns, 2002). Bajo consumo de agua en la planta reduce crecimiento mediante la inhibición y división celular y la expansión de células (Hasegawa *et al.*, 2000).

Aunque el tomate es considerado moderadamente tolerante a las sales (Marchese *et al.*, 2008); la especie presenta un umbral de  $2.5 \text{ dS m}^{-1}$  en la solución de la rizósfera y por cada  $\text{dS m}^{-1}$  superior a este umbral hay una reducción de 10% en rendimiento. Es decir, a una mayor concentración de elementos minerales en la solución nutritiva, la absorción de agua y, por ende, los nutrimentos disminuyen afectando el rendimiento del cultivo (Díaz *et al.*, 2009; Maas y Hoffman, 1977), sin embargo, su tolerancia a la salinidad varía en relación al genotipo o órgano de la planta (Marchese *et al.*, 2008)

Altos niveles de CE afectan los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas de tomate en forma siguiente: disminuyen el porcentaje de germinación y la longitud de la raíz; los tallos alcanzan menos altura; las hojas presentan desecación en los bordes, de modo que hay menos producción de fotoasimilados; el número y peso de frutos también se afecta negativamente disminuyendo el rendimiento comercial; y se favorecen las deficiencias de calcio en los frutos (Goykovic Cortés y Saavedra del Real, 2007).

Los efectos positivos que puede tener un incremento de la CE en la solución nutritiva, pueden ser aumento en SST, y la transformación de metabolitos secundarios como la producción de prolina y carotenoides como el licopeno (Ahmad y Sharma, 2010; Goykovic Cortés y Saavedra del Real, 2007).

La época del año también influye en el efecto de la CE que pueden soportar las plantas, pues en invierno estas tiene mayor desarrollo con una CE alta que en el verano (Favela *et al.*, 2006).

(Steiner, 1984) Elaboró una solución nutritiva universal que se distingue por sus relaciones mutuas entre aniones y cationes, expresadas en por ciento del total de me L<sup>-1</sup>. Este autor indica que el uso de la solución nutritiva universal demanda únicamente que se determine la presión osmótica requerida para el cultivo en particular en una cierta época del año. Las relaciones mutuas entre los iones en la Solución Nutritiva Universal de Steiner en porcentaje del total de mmol es de 60:5:35 para NO<sub>3</sub>:H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>:SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> y 35:45:20 para K<sup>+</sup>: Ca<sup>2+</sup>:Mg<sup>2+</sup>.

### **2.7.3.1 Efectos de la salinidad en la calidad de los frutos.**

Los frutos de tomate, que suministran nutrientes esenciales a la dieta humana, son una buena fuente de potasio, ácido fólico, vitaminas C y licopeno (Peralta y Spooner, 2006). El licopeno es de mucha importancia para la salud humana porque es un antioxidante natural (De Pascale y Maggio, 2003).

La calidad de los frutos se pueden dividir en estos atributos (Battilani, 2008).

- 1) **Calidad visual.** Se refiere al tamaño y apariencia. Este tipo de calidad es el más conocido y común; involucran características como color, forma, volumen, aspecto de frescura, limpieza, sanidad y ausencia de daños físicos.
- 2) **Calidad industrial.** Está estrechamente relacionado con la capacidad para procesar frutos de tomate. Los criterios primarios para producir pasta de tomate son las concentraciones de sólidos solubles (<sup>0</sup>Brix), intensidad

de color rojo; sin embargo, para elaboración de otros productos se toman en cuenta características como la uniformidad del color, la acidez y la viscosidad.

- 3) **Calidad de consumo.** Los consumidores actuales se enfocan principalmente en el sabor. Desafortunadamente no existe un estándar sencillo para que los métodos disponibles evalúen objetivamente el sabor de los frutos, ya que la calidad organoléptica es un tanto subjetiva y ésta relacionada con aspectos culturales.
- 4) **Calidad nutricional.** Los atributos comprendidos en este concepto se relacionan con el contenido relativo de carbohidratos, grasas, proteínas, minerales, vitaminas, y antioxidantes. Los alimentos nutraceuticos se definen como alimentos que pueden proporcionar beneficios para la salud más allá de las necesidades nutricionales básicas. Estos beneficios pueden ser conferidos por el producto si este contiene niveles adecuados de fitoquímicos biológicamente activos como los carotenoides. Se ha encontrado que la oxidación ocasionada por los radicales libres es la causa de muchas enfermedades en los seres humanos, y la defensa más efectiva contra los radicales libres y los ataques oxidativos son los fitoquímicos antioxidantes. Por lo tanto, el consumo de alimentos ricos en compuestos bioactivos ha sido claramente vinculado a la mejora del sistema inmune, la prevención y reducción del cáncer y enfermedades cardiovasculares.

Las características determinantes de la calidad de los frutos son afectados por factores como la temperatura, luz, la disponibilidad de agua, pH y la CE



(Battilani, 2008). La elevación de la CE arriba del umbral de tolerancia a la salinidad, ha mostrado resultados positivos en algunas características de calidad, como el color y el sabor, así como un incremento en las concentraciones de azúcares y ácidos; sin embargo, puede resultar con reducción en el rendimiento, por lo que es indispensable considerar el mercado al cual será destinado el para realizar un buen balance entre calidad y rendimiento (Sonneveld y Voogt, 2009)

El uso de sales como NaCl y KCl en la solución nutritiva son una opción para mejorar la calidad de los frutos de tomate y esta estrategia es más económica que usar una cantidad mayor de nutrientes para incrementar la CE de la solución nutritiva (Dorais *et al.*, 2000).

## **2.8. Valor nutracéutico del tomate.**

En la actualidad la industria agroalimentaria ha mostrado mayor interés en los alimentos con alto contenido en antioxidantes y otros compuestos nutracéuticos, por lo que el mercado de alimentos nutracéuticos es uno de los segmentos de más rápido crecimiento en la industria mundial de alimentos, que tendrán que ser suministrados con materia prima de alta calidad rica en compuestos bioactivos (Battilani, 2008)

### **2.8.1. Licopeno en los frutos.**

El licopeno es una de los principales antioxidantes de los que se encuentran en los frutos de tomates frescos y procesados; frutos deshidratados. Este compuesto es el responsable de dar el color rojo y la extracción en los frutos

depende de la variedad cultivada; y temperaturas menos de 12 °C y mayores a 32°C inhiben la síntesis de licopeno (Dumas *et al.*, 2003).

### **2.8.2 Contenido fenólico.**

De acuerdo a la cantidad de sal, expresado como alta presión osmótica, es la cantidad de fenoles que se pueden acumular en los frutos de tomate, cuando la solución nutritiva se encuentra con una CE de 10 dS m<sup>-1</sup> hay un aumento del 20 %, de otra manera cuando se tiene una CE de 3 dS m<sup>-1</sup> se tiene un contenido de 20.5 mg/ 100 g de peso fresco, y cuando se aumenta la CE a 10 de CE el contenido fenólico expresa una cantidad de 24.9 mg / 100 de peso.

La sacarosa es el principal producto que se obtiene a partir de la fotosíntesis, es el transporte más abundante en forma de azúcar y es el principal en muchas frutas, especialmente este hidrato de carbono sirve como reserva de las plantas; se almacena en raíces, frutos, tubérculos y semillas, durante la germinación es la sacarosa la principal fuente de energía, por consiguiente la sacarosa en los frutos de tomate aumenta de manera significativa conforme suceden los cambios de madurez (Alam *et al.*, 2006). La composición del azúcar en diferentes variedades de zumos de tomate en las diferentes fases de madures va de 21 y 64 U/ ml en etapa precoz, 26 y 72 U/ ml en etapa de madura y 37 y 82 U/ml en la maduración (Alam *et al.*, 2006)

### **2.8.3 Cualidades nutricionales.**

Por el placer de los ojos, gustos y colores. Los colores se deben a un grupo de pigmentos: los carotenoides. Los tomates contiene dos categorías principales:

el licopeno, que da el color rojo, y el betacaroteno, que aporta el color naranja. Lo que determina su color es la interacción de los tintes de la piel y de la pulpa. De este modo, los tomates que conocemos, principalmente de color rojo, son el resultado de una piel amarilla y de una carne en la que predomina el licopeno rojo: 50% de licopeno, 7 % de  $\beta$ -caroteno naranja y 43 % de caroteno incoloro (Mathias, 2013).

### **2.8.3 Muchas virtudes.**

Ricos en licopeno y en betacaroteno, los tomates son ricos en vitaminas A, B, C, y K. por otro lado gracias a su composición de 90% de agua, de 3 a 4 % de azúcares y la débil tasa de proteínas y lípidos, se pueden consumir casi sin moderación (Mathias, 2013).

## **2.9. Rendimiento.**

El rendimiento está en función a varios factores, pero uno de los factores que ha elevado los rendimientos es la nutrición, la mejor combinación entre elementos minerales en la solución nutritiva, puede mejorar la calidad y el rendimiento de los cultivos (Hernández Díaz *et al.*, 2014a).

En promedio los frutos que se localizan por cada racimo es de 5 a 6 frutos y la cantidad de racimos va depender del manejo agronómico y de las incidencias

de los factores bióticos y abióticos que muchas veces interfieren y marcan la tendencia en cuanto al rendimiento (Bugarín-Montoya *et al.*, 2002b).

El tamaño del fruto está dado por el crecimiento polar y ecuatorial, y en más medida el tamaño ecuatorial determina la calidad para su comercialización (Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012).

El rendimiento de un cultivo está dado por la capacidad de acumular materia seca en los órganos que se destinan a la cosecha, un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos frutos garantiza un incremento del rendimiento (Galvez, 2005).

Una disminución del rendimiento de la fruta del tomate en un 40%, cuando se manejan CE de  $10 \text{ dS m}^{-1}$  es una pérdida en ingresos monetarios, para un productor. Esta pérdida en realidad no se compensa ni por el ahorro de agua, que se producen en virtud de las condiciones de salinidad ni por los mayores precios de los tomates (Krauss *et al.*, 2006).

Entre mayor CE el índice de área foliar se ve favorecida hasta cierto modo, estudiadas con CE de hasta  $6.2 \text{ dS m}^{-1}$ , conductividad tomada en la zona de radicular (Matsuda *et al.*, 2011).

## **2.9. Frutos.**

El fruto es el órgano que mayor demanda asimilados, sin embargo la intensidad de luz y la posición del fruto en la planta afecta su potencial de sumidero. Los primeros frutos ejercen efectos dominantes sobre los que aparecen posteriormente. Estos tienden a monopolizar los asimilados disponibles, de forma que las flores y frutos recién formados, a menudo dejan de

crecer y/o abortan o bien presentan un desarrollo anormal. Los frutos distales tienen una menor potencia de sumidero que los frutos proximales dentro del mismo ramillete. Los frutos distales también son sometidos a una competencia entre inflorescencias, pues el florecimiento de las últimas dos flores de una inflorescencia coinciden con el florecimiento de la dos primeras flores proximales de la siguiente, (Galvez, 2005).

El crecimiento de los frutos a partir del 5° racimo, puede disminuir, pues la competencia por asimilados es muy alta en esta fase. Sin embargo, vuelve a crecer normalmente, cuando los primeros alcanzan su madures y disminuye la competencia por asimilados (Galvez, 2005)

La clasificación de los frutos según el diámetro ecuatorial, categoría de extra (diámetro ecuatorial >75 mm), primera (diámetro ecuatorial entre 65-74 mm), segunda (diámetro ecuatorial entre 55-64), tercera (diámetro ecuatorial <55 y frutos con defectos, daños y otras anomalías) extra+primera(E+P) (sumatoria de las categorías comerciales) (Hernández *et al.*, 2008).

### **2.9.1. Firmeza de los frutos.**

Para ofrecer un tomate de calidad de buena consistencia, se han impuesto los híbridos de tomate denominados Long Shelf (larga vida), permitiendo trabajos con frutos más atractivos y no provocar un rechazo por el comprador, aparte de disminuir su desperdicio por su pérdida de calidad rápidamente. Por otra parte los frutos excesivamente firmes y con epidermis gruesa son indeseables por el

consumidor. Los frutos de tamaño poco firmes son más susceptibles a daños físicos, estos frutos varían según la variedad (Nuez, 2001).

En los cultivos de fruto luego de la primera fase de crecimiento vegetativo, los frutos inician su desarrollo y las demás partes de la planta como los brotes y hojas continúan su crecimiento asumiendo que los frutos son los principales órganos consumidores que compiten con los demás órganos vegetativos por los asimilados (Galvez, 2005). El fruto de tomate llega a tener una vida de anaquel de 22 días, teniendo una variabilidad dentro 5.33 y 13 %, lo que va depender del manejo que se dé, en el transcurso de su desarrollo vegetativo y reproductivo (Hernández *et al.*, 2008; Mirta Salgado *et al.*, 2005).

#### **2.10. Materia seca.**

El cultivo de tomate presenta una curva de crecimiento sigmoideal y en la etapa de maduración acumula de 4.8 a 7.9 toneladas de materia seca por hectárea (Omaña y Peña, 2015). Los órganos que más demandan materia seca en etapa de crecimiento son las hojas y el tallo y al final del cultivo los mayores aportes le corresponden a las hojas y el fruto (Betancourt y Pierre, 2013). La acumulación de materia seca en los diferentes órganos de la planta es muy importante de acuerdo a la parte vegetativa que se consume, ya que el rendimiento de este vine dado por la capacidad de acumular biomasa a los órganos que se destinan a la cosecha (Galvez, 2005).

Para cuantificar la acumulación de materia seca total en porcentaje, en cultivo de tomate con sistema de fertirriego se representa por etapas según el desarrollo del cultivo: Primera etapa, representada con el inicio de desarrollo del cultivo hasta el inicio de la floración se cree que el cultivo acumula 3% de materia seca. Segunda etapa desde el amarre de fruto hasta el inicio de la cosecha, es donde ocurre una acumulación intensa de biomasa aérea 30 % de DS. Tercer etapa durante la época de cosecha de 70 % DS, esto indica que en el momento del corte de fruto es cuando demanda mayor cantidad de nutrientes (Bugarín-Montoya *et al.*, 2002b; Díaz *et al.*, 2011; Posada y Cardozo, 2009). Desde este punto de vista y hasta el final del periodo de plena producción, los fruto presentaron mayor cantidad de biomasa, y le sigue e orden descendente, las hojas, el tallo y las raíces.

La distribución la materia seca puede cambiar durante el desarrollo del cultivo, debido, fundamentalmente, a cambios a la potencia de sumidero de un órgano individual y alteraciones en el número de sumideros que crecen conjuntamente en la planta (Díaz *et al.*, 2011).

La representación gráfica en la acumulación de materia seca se da de forma exponencial, ósea, una tasa de crecimiento del cultivo constante (Bugarín-Montoya *et al.*, 2002b). El nutriente que más se demanda plena etapa de producción es el K, con un valor promedio de 75% con relación a los demás nutrientes extraídos por la planta, debido en gran parte por la formación y crecimiento de frutos (Bugarín-Montoya *et al.*, 2002a).

El calcio es un elemento que se acumula en la mayor parte en la parte área de la planta (hojas y tallos), por lo tanto se recomienda su posteríos reciclado

e incorporarlo de nuevo al cultivo (Omaña y Peña, 2015). El elemento que más demanda los frutos es el potasio seguido del fósforo (Betancourt y Pierre, 2013).

### **2.11. Demanda de nutrientes.**

Entre los factores ambientales, la temperatura sobre todo viene siendo empleada para controlar la distribución de biomasa en cultivos. Esto se debe al efecto que la temperatura tiene sobre el potencial de sumidero de los frutos individuales. La temperatura también afecta la distribución de biomasa por que las altas temperaturas estimulan el desarrollo e incrementan la aparición de flores y frutos, así como índice de abortos, debido al incremento de la demanda total de asimilados (Galvez, 2005).

La distribución de materia seca entre las raíces y la parte aérea de las plantas puede ser descrita por un equilibrio funcional entre la actividad del sistema radical (absorción de agua y nutrientes) y la actividad de la parte aérea (fotosíntesis); es decir, la relación entre la masa de raíces y la masa de la parte aérea es proporcional a la relación entre la actividad específica de la parte aérea y la de las raíces. Cuando la hoja ha alcanzado su máxima expansión foliar y presenta a la vez la máxima actividad fotosintética, es esencialmente un órgano fuente de asimilados, y el balance de carbono la convierte, sobre todo, en exportador.

Para obtener una mayor calidad de nuestros productos cosechados se debe conocer con precisión el medio donde se establezca nuestro cultivo, ser



eficiente en cuanto a la fertilización logrando así menor contaminación del medio (Hernández Díaz *et al.*, 2014b).

## **2.12. Acumulación de macronutrientes por los órganos de la planta.**

Las hojas, durante las primeras fases de crecimiento (fase I y II), acumulan mayor concentración de macronutrientes, sin embargo, con el inicio de la cosecha (final de fase III), las hojas presentan porcentajes superiores de N y Mg, los frutos de K, el tallo de Ca y las raíces de P, esto se mantiene hasta el final del periodo de plena producción (Díaz *et al.*, 2011).

### **2.12.1. Extracción de macronutrientes.**

A extracción de N, P, K, Ca, y Mg en los diferentes fracciones de la planta, así como la extracción total, aumentaron significativamente con la edad de la plantación, por lo que el mayor consumo se produce durante el periodo de plena producción, es decir que los periodos máximos de crecimiento, se relacionan también con las etapas de mayor consumo de nutrientes (Díaz *et al.*, 2011).

Las hojas hasta la fase II, realizan la mayor extracción de macronutrientes, para el caso del N, de los frutos, el tallo y la raíz, mientras que para el P, K, Ca, y el Mg, el orden de consumo por órgano fue hoja, tallo, fruto, raíz. Por lo contrario en las fases III y IV el orden de extracción es de la siguiente manera fruto, hoja, tallo, raíz (Díaz *et al.*, 2011).

El cultivo de tomate, híbrido HA 3019, en condiciones de protegidas y para la época otoño invierno, puede llegar a extraer hasta 22.60 g/m<sup>2</sup> de nitrógeno,

3.46 g/m<sup>2</sup> de fósforo, 43.18 g/m<sup>2</sup> de potasio, 11.64 g/m<sup>2</sup> de calcio, 3.35 g/m<sup>2</sup> de Magnesio, para producir 83.34 toneladas/hectárea de cultivo, por lo descrito anteriormente el K es el macroelemento que más extrae la planta de tomate (Díaz *et al.*, 2011). Los valores de extracción de macronutrientes necesarios para obtener una tonelada de fruto para el cultivo protegido es de 2.80 - 3.25 kg N /t, 0.32-1.01 kg P/t, 3.64-6.60 kg K/t, 1.17- 3.22 kg Ca/t, 0.40-0.90 kg Mg/t. (Díaz *et al.*, 2011)

### **2.13. El pH.**

La utilización de ácidos para neutralizar los bicarbonatos del agua de riego constituyen un aspecto de manejo nutrimental necesario para mitigar el efecto desfavorable de un incremento del pH en el desarrollo de los cultivos, al garantizar el crecimiento de las raíces en un bulbo húmedo con un pH adecuado para la absorción de los nutrientes (Hernández Díaz *et al.*, 2014b)

El pH normalmente aumenta a medida que el fruto crece, es más bajo en los estados iniciales de desarrollo. En sentido general durante la poscosecha, el incremento es independiente del híbrido y manejo (Mirta Salgado *et al.*, 2005).

## **3. MATERIALES Y MÉTODO**

### **3.1. Localización y características de centro de investigación.**

La investigación se realizó bajo malla sombra en la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro UL, durante el ciclo primavera-verano del 2015. Se

encuentra ubicada entre los paralelos 25° 25' y 25° 30' de latitud norte, y entre los meridianos 102° 51' y 103° 40' de longitud oeste del meridiano de Greenwich, a una altitud de 1120 m.s.n.m. (Ramírez-Canales, 1974).

### **3.2. Distribución del experimento.**

Las macetas fueron distribuidas en hileras sencillas, con plantas individuales por cada maceta con un distanciamiento entre trasplantes 0.20 m con una densidad de población de 5 plantas por metro cuadrado. Utilizando un diseño completamente al azar con cuatro tratamiento y 12 repeticiones con un total de 48 unidades experimentales. Los tratamientos fueron señalados de la siguiente manera primer tratamiento 1.5 dS m<sup>-1</sup>, segundo tratamiento 2.0 dS m<sup>-1</sup>, tercer tratamiento 2.5 dS m<sup>-1</sup> y el cuarto tratamiento 3.0 dS m<sup>-1</sup> de conductividad eléctrica.

### **3.3. Variables evaluadas.**

#### **3.3.1. Altura de la planta**

La obtención de respuesta de crecimiento en la planta de tomate se inició el muestreo a los 10 días después del trasplante y fueron cada semana para su registro. Por cada tratamiento fueron seleccionados ochos plantas. Tomando en cuenta desde el nivel del sustrato hasta el punto de crecimiento con el apoyo de una cinta métrica.

#### **3.3.2. Determinación del área foliar.**

Se utilizó un proceso matemático, usando la siguiente formula “ $AF = 0.34*(L*A)-9.3$ ”, donde AF es el área foliar ( $m^2$ ), y A y L el ancho máximo y el largo de la hoja (m), respectivamente (Bouzo *et al.*, 2001)

El procedimiento a seguir fue: seleccionaron cuatro plantas por cada tratamiento, Se midió la longitud máxima desde la base del pecíolo hasta el extremo del folíolo central y la anchura máxima de las hojas en forma perpendicular a la longitud máxima (Figura 1), y en seguida se cuantifico por medio de la formula antes mencionada, esto se hizo por cuatro semanas seguidas en etapa de plena producción.



Figura 1. Esquema representativo de la forma en que se realizaron las medidas lineales del largo y ancho de las hojas.

### 3.3.3. Materia seca

Durante el desarrollo del cultivo se cuantifico peso seco total de tallos y hojas, al final del ciclo del cultivo se extrajeron cuatro plantas por cada tratamiento tomadas al azar, se secaron en una estufa a  $65^{\circ}C$  hasta peso constante y la masa

seca se determinó en la balanza analítica. Los resultados fueron expresados en gramos por planta.

#### **3.3.4. Cuantificación del rendimiento.**

Se efectuaron seis cosechas de frutos de tomate, con un intervalo de 5 días en promedio. El rendimiento total se cuantificó sobre la masa de todos los frutos por cada tratamiento incluyendo la sumatoria de las cinco recolecciones. La cosecha se realizó conforme el porcentaje de maduración (80 %).

#### **3.3.5. Peso, diámetro polar, ecuatorial y firmeza del fruto**

Esta variable evaluada fue al momento de la cosecha; para la toma de peso se obtuvo mediante el uso de una báscula digital expresados en gramos. Para la obtención de la Longitud y diámetro polar se utilizó un vernier digital, los valores fueron registrados en centímetros. Mediante el uso de un penetrómetro (PTR 200) se obtuvieron la firmeza del fruto, los resultados fueron expresados en unidad de Newton.

#### **3.3.6. Concentración de sólidos solubles en el fruto y grosor del pericarpio.**

Para obtener esta variable se utilizó el refractómetro ATAGO (Master 2311), del cual el fruto se le hizo un corte transversal del tomate y se extrajeron dos gotas y fueron colocados las muestras en el lector del aparato., de los frutos

cortados se les procedió a medir el grosor del pericarpio con el vernier y los datos se registraron en milímetros.

### **3.4. Manejo del cultivo**

#### **3.4.1. Germinación de semillas.**

Para la obtención de plántulas se utilizó la variedad vegetal alquiles (*Solanum Lycopersicun L*) variedad de crecimiento indeterminado, sembrada en charolas de 200 celdillas rellenas de peatmoss (premier®), utilizando una semilla por cavidad, cubriéndolas con plástico negro hasta que germinaron las primeras semillas. Se aplicó riego por aspersion en forma manual, dos o tres veces al día cuidando de mantener húmedo el sustrato.

#### **3.4.2. Trasplante**

Las plantas germinaron a los 7 días de haber sido depositado en la charola, y a los 30 días después de la siembra. Se realizó el trasplante seleccionando las mejores plantas (uniformes y vigorosas). Las plántulas fueron trasplantadas cuando alcanzaron una de 0.12 a 0.15 m de altura. Para medios de crecimiento se utilizaron bolsa de polietileno negro con capacidad de 15 litros, utilizando un relación inerte de arena y perlita (v:v 80:20).

#### **3.4.3. Tutoreo.**

Éste procedimiento se realizó a los 20 días después del trasplante, cuando la planta tenía entre 0.25 y 0.30 m. o bien cuando las plantas presentaron seis hojas verdaderas.

#### **3.4.4. Polinización.**

Esta actividad fue realizada manualmente por medio del movimiento de las plantas, moviendo los alambres horizontales del tutoreo. La práctica se realizó diariamente cuando el ambiente presentaba una temperatura de 26 a 28°C, esto se logró entre las 9:00 a las 11:00 horas.

#### **3.4.5. Poda de brotes.**

Esta actividad consistió en la eliminación manual de los brotes laterales o chupones que se desarrollaron en la base de las axilas de las hojas del tallo principal, esta actividad se llevó a cabo cuando los brotes alcanzaron una altura de 0.03 a 0.05 m. Esta actividad se realizó en intervalos de aproximadamente de 6 a 8 días, mientras la planta estaba en crecimiento.

#### **3.4.6. Poda de hojas.**

Se realizó prácticas de poda para dar forma a la planta durante su crecimiento; así como inducir la maduración y mejora la aireación de la planta, retirándole hojas deterioradas como se indica en la (figura 2).



Figura 2. Práctica de poda en tomate.

### **3.5. Factores a tomar en cuenta para preparar una solución nutritiva.**

Los factores más importantes a la hora de preparar la solución son: la relación mutua entre cationes, la relación mutua entre aniones, la concentración de iones o conductividad eléctrica, la relación mutua entre  $\text{NO}_3$ :  $\text{NH}_4$ , el pH, y la temperatura de la solución. No existe una solución nutritiva que se apropiada para cualquier condición, los cuatro primeros factores, dependen de las condiciones del ambiente, las características genéticas y la etapa de desarrollo



de las plantas. El pH para cualquier condición se debe mantener entre 5.5 a 6 y la temperatura a 22°C (Herrera, 1999).

### **3.5.1. El pH de la solución nutritiva.**

Para medir el pH y la CE del agua de la solución nutritiva, se utilizó un aparato electrónico portátil (marca, combo de pH/EC/TDS/C/PPM HI98129). El pH se manejó en un rango entre 5.5 a 6.0, concentración de  $\text{HCO}_3$  en la solución nutritiva.

Antes de preparar la solución nutritiva se ajustó el pH del agua, para favorecer una mejor disolución de las sales. Para ajustar el pH del agua se agregaba lentamente ácido fosfórico a una proporción de 170 mL por cada 1000 litros de agua. Cuando el pH no se establecía en el rango de 5.5 a 6.0, por la gran cantidad de sales y carbonatos, se seguía agregando ácido sulfúrico, a la solución lentamente y en pequeñas cantidades, para que no cambiara drásticamente, hasta un equilibrio de 5.5.

### **3.5.2. Conductividad eléctrica.**

La CE recomendada para el tomate varía de 2 a 4  $\text{dS m}^{-1}$ , en este experimento se siguió un procedimiento por medio del cálculo de las cantidades de los macronutrientes a disolver en la solución.

### **3.5.4. Aplicación de micronutrientes.**

Conjuntamente durante la aplicación de macronutrientes se aplicaron elementos menores en forma quelatado, con presentación comercial de 1 kg, y

una concentración de cada microelemento (Fe, 2.0) (Mn, 0.7) (Cu, 0.02) (Zn, 0.1) (B, 0.5) (Mb, 0.05).

### **3.6. Riego y fertilización.**

El primer riego efectuado con las soluciones nutritivas se realizó a los 25 días después de la germinación de la semilla, hasta la cosecha, de igual manera con los demás tratamientos. Para los requerimientos de agua a las plantas de tomate se utilizó un sistema de riego, con cintilla de la marca Roberts Drip con gasto de 1.0 L/h, con separación de goteros de .20 m, y fueron colocados por encima de las macetas (Figura 3), para la fertilización se utilizaron los tratamientos antes descritos vía fertirrigación interconectada con una bomba sumergible a cada tratamiento fue aportado una frecuencia de riego 4 riegos por día con una duración de riego de 15 minutos.



Figuran 3. Sistema de riego en cultivo de tomate

### **3.6. Análisis de varianza.**

Los datos registrados en cada una de las variables fisiológicas mencionadas fueron sometidos a un análisis de varianza y cuando existieron diferencias significativas entre se realizó la prueba comparación de (Tukey) al 5 %. Mediante el paquete estadístico SAS versión 9.2.(Statistical Analytical System forWindows™,release)

## 4. RESULTADOS Y DISCUSION.

### 4.1. Altura de planta.

El crecimiento del tomate en un ambiente protegido al utilizar una solución nutritiva a partir de las diferentes conductividades eléctricas, la variables altura no mostro diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ , Figura 4), ya que la altura entre los cuatro tratamientos fueron estadísticamente iguales, sin embargo el crecimiento se dio conforme fue aumentado las conductividades eléctricas, la mayor altura asimilado fue con la conductividad de  $3.0 \text{ dS m}^{-1}$  (1.25 m). Seguido de la CE 2.5 ( $1.21 \text{ m}$ ), mientras el tratamiento con una C.E de  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$  y  $1.5 \text{ dS m}^{-1}$  fueron inferiores. Valores similares, encontrado por Hernández *et al.*, (2008).

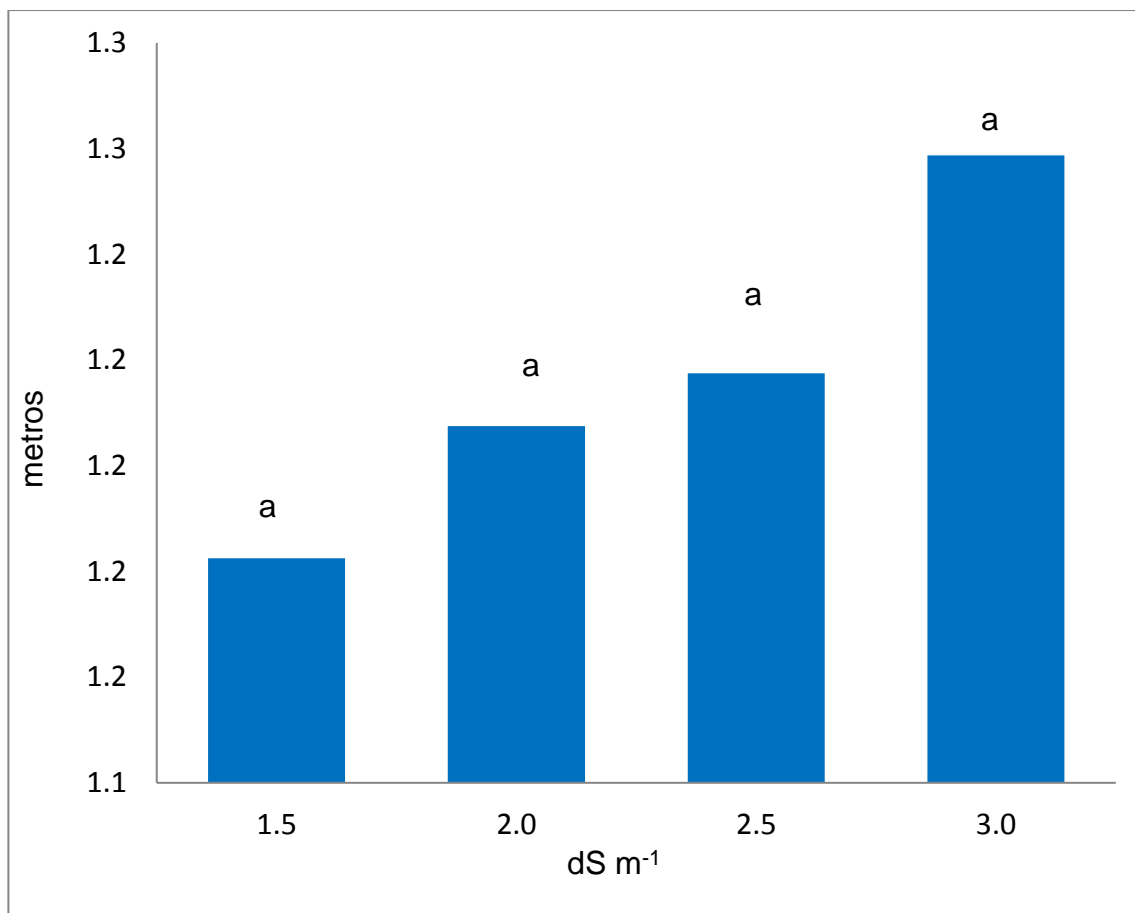


Figura 4. Valores promedio de la altura de las plantas en función de la CE de la solución Steiner. Letras diferentes representan diferencia significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.2. Materia seca.

La tasa de crecimiento y desarrollo de la planta bajo condiciones de crecimiento con diferente conductividad eléctrica, no indico diferencias significativas ( $P \leq 0.05$ ), en la producción de biomasa, fueron similares entre los tratamientos (Figura 5), obteniendo un promedio de 14.39 g de materia seca. Observándose una disminución al aumentar la CE de 1.5 a 3.0 dSm<sup>-1</sup>

Los resultados difieren a los encontrados por Flores González, (2011), al utilizar tres CE diferentes de 1.0, 2.0 y 3.0, en la evaluación de diferentes variedades de tomates. Pero concuerda con Marchese *et al.*, (2008) en donde experimento un decrecimiento lineal (biomasa) al pasar de una conductividad de 2.0 a 6 dS m<sup>-1</sup>

Esto indica que a mayor conductividad eléctrica en la solución nutritiva, las planta pudieron haber, detenido el crecimiento de las raíces afectando de forma adversa por la presencia de sales en el medio de cultivo, reduciendo el potencial hídrico del agua del suelo, y un desequilibrio iónico que conlleva a producir toxicidad y desbalance nutricional Goykovic Cortés y Saavedra del Real, (2007).

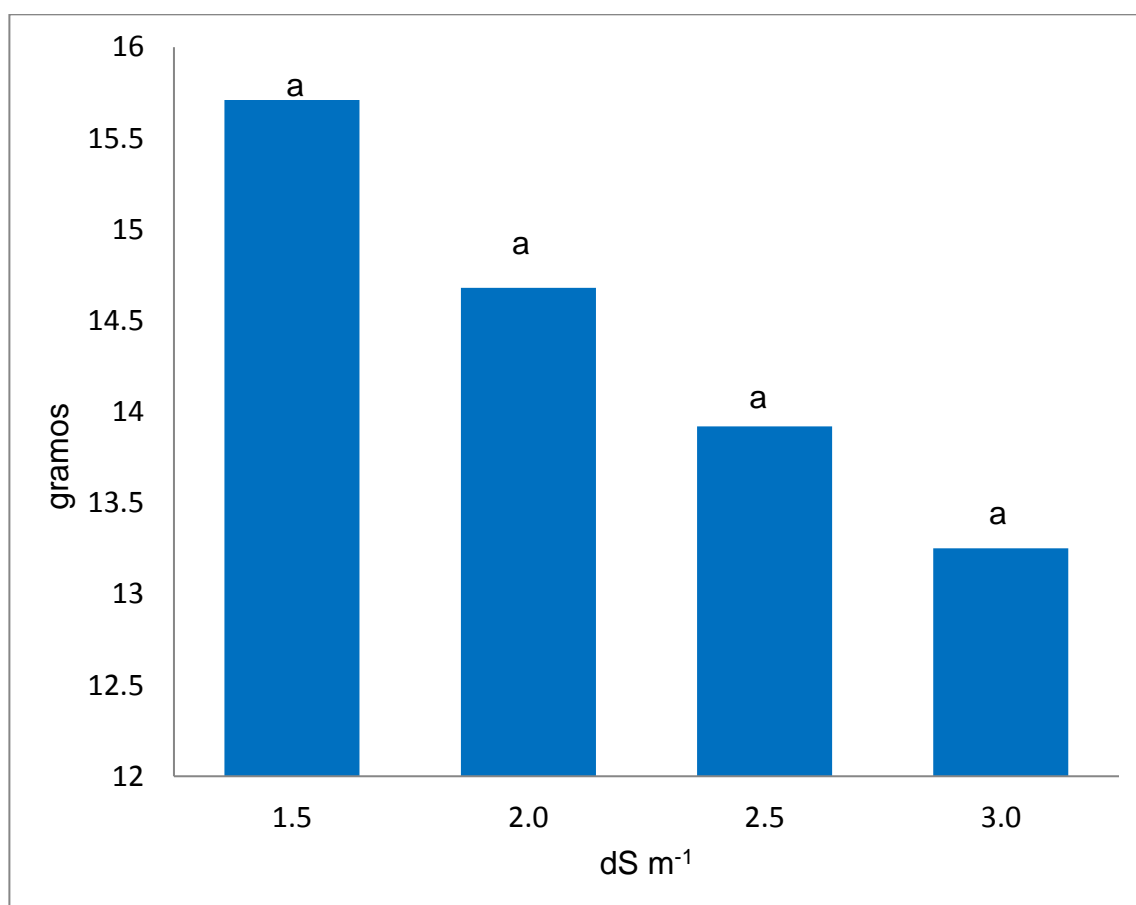


Figura 5. Valores promedio de materia seca de las plantas en función de la CE de la solución Steiner. Letras diferentes representan diferencia significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

### 4.3. Área Foliar.

El área foliar como indicador de la captación de la luz, las condiciones de crecimiento obligo a mostrar diferencias significativas (Figura 6), el tratamiento que mostro mayor área foliar fue el tratamiento con CE de  $3.0 \text{ dS m}^{-1}$  ( $596 \text{ cm}^2$ ), seguido del tratamiento de  $1.5 \text{ dS m}^{-1}$ , ( $558$ ) y el de  $2.5$  mostro un área foliar de ( $500 \text{ cm}^2$ ), mientras con una CE de  $2.0 \text{ dS m}^{-1}$  fue bajo ( $443 \text{ cm}^2$ ).

Resultados similar obtenido por Matsuda et al. (2011), al trabajar con diferentes concentración de fertilización, donde obtuvo una mayor área foliar debido un área de hojas superior, con concentraciones mayores de fertilizantes.

Idealmente, el crecimiento vegetativo debería ser justamente el suficiente para proporcionar la renovación de las partes vegetativas, con el fin de mantener un potencial de crecimiento adecuado. Una muy baja relación fuente/sumidero produce un crecimiento vegetativo inferior al óptimo, frutos pequeños Galvez, (2005).

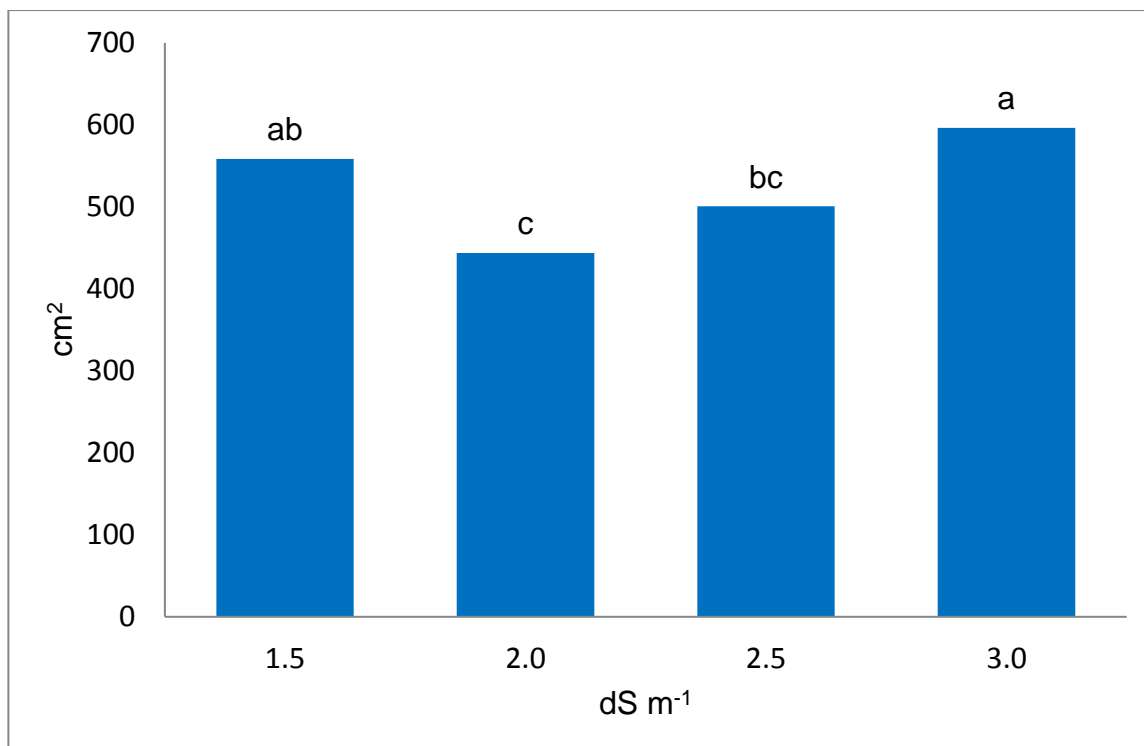


Figura 6. Valores promedio del área foliaren función de la CE de la solución Steiner. Letras diferentes representan diferencia significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 5. 4. Rendimiento y número de frutos por planta.

En respuesta al índice de la formación de biomasa es reflejado en la producción de los rendimientos (Figura 7) y números de frutos por planta (Figura 8), mostraron la diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ). El tratamiento con mayor rendimiento obtenido fue de la CE de 2.5 dS m<sup>-1</sup>, con una producción de 1594.2 gramos por planta, y un promedio de 17 frutos, seguido del tratamiento CE de 1.5 dS m<sup>-1</sup> con 1531.3 g/plant. y 15.8 frutos por planta, mientras que el tratamiento de la solución nutritiva de 3.0 dS m<sup>-1</sup>, hubo un decrecimiento en la producción (1481.2 g/plant.) equivalente a 11.8 frutos por planta, al igual con el tratamiento de 2.0 de CE, con 1047.2 g/plant. con 11 frutos.



En este trabajo se obtienen valores similares a los encontrados por López, (2011) en donde se compararon tres niveles de conductividades 1, 2, 3 dS m<sup>-1</sup>, en tomate bajo invernadero. La causa que interfirió posiblemente en el rendimiento y nmero de frutos, fue que se presentó una enfermedad en plena producción (*Clavibactermichiganensis*)

Con los resultados anteriores se observa que al trabajar 2.5 de CE, se da el óptimo crecimiento por parte de la planta en la trasformación y almacenamiento de masa en los frutos. Por otra parte al aumentar la CE a 3.0 dS m<sup>-1</sup> el rendimiento tiende a bajar (Maas, 1977).

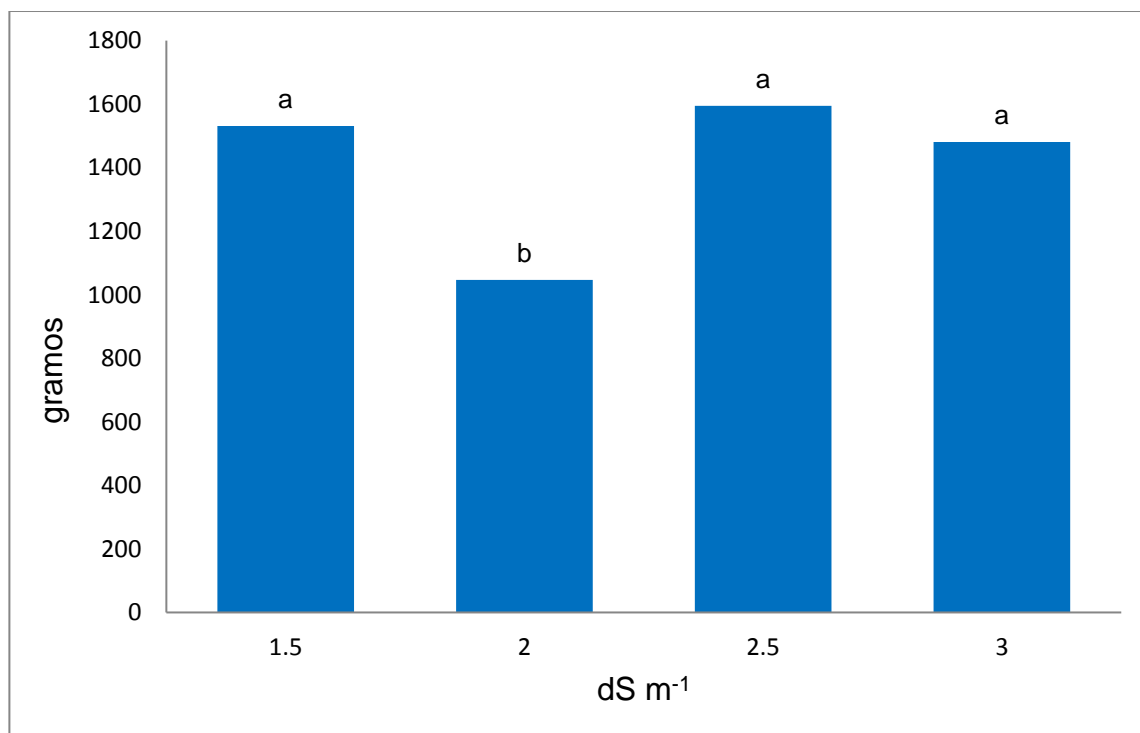


Figura 7. Valores promedio del rendimiento por planta, en función de la CE de la solución Steiner. Letras diferentes representan diferencia significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

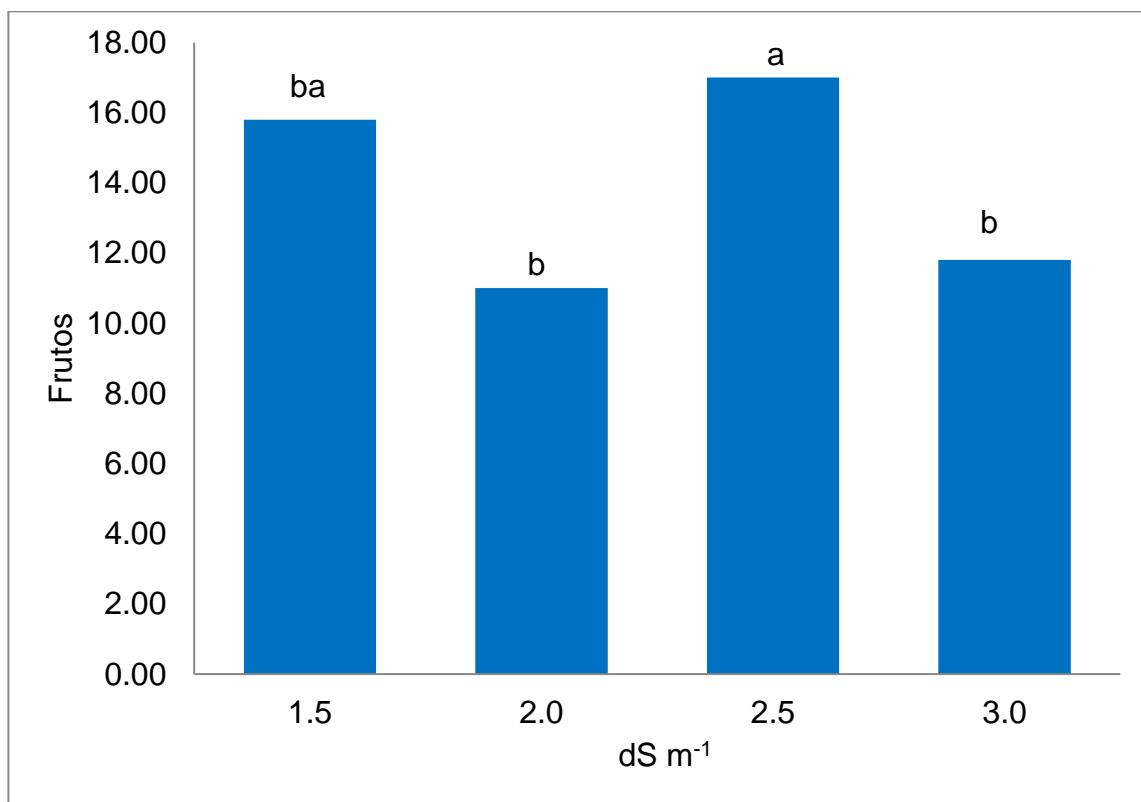


Figura 8. Valores promedio de número de frutos por planta en función de la CE de la solución Steiner. Letras diferentes representan diferencia significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).



Figura 9. Enfermedad cáncer bacteriano (*Clavibacter michiganensis*).



Figura 10. Representación de la maduración a la cual fueron cosechados los frutos (FM) y frutos inmaduros (FI).

### Diámetro ecuatorial y polar

Los diámetros ecuatorial y polar determinan el tamaño de los frutos de tomate, y en la actualidad el diámetro ecuatorial es un indicador de calidad para comercializar esta hortaliza Urrieta-Velázquez et al., (2012).

En diámetro ecuatorial y polar se observó diferencias significativas de ( $P \leq 0.05$ ). (Figura 11). Estadísticamente para el valor más alto para la variable diámetro polar lo presentó el tratamiento con CE de  $3.0 \text{ dS m}^{-1}$ . Con un valor de 6.07 cm, mientras que para la variable diámetro ecuatorial con valor más alto de 4.48 cm. Sin embargo los valores más bajos se obtuvieron con el tratamiento

con CE de 2.0  $\text{dS m}^{-1}$  para ambas variables. Obteniéndose un valor numérico para el diámetro polar de 5.52 y para la variable de diámetro ecuatorial de 4.09 cm.

Valores diferentes encontrados por Hernández et al., (2008), al trabajar con CE de 1 y 2 obtuvo frutos con mayor diámetro polar y ecuatorial. La causa que pudo haber influido en el crecimiento de los frutos es la acumulación de sales en el sustrato Matsuda et al. (2011) y las altas temperaturas Adams et al., (2001).

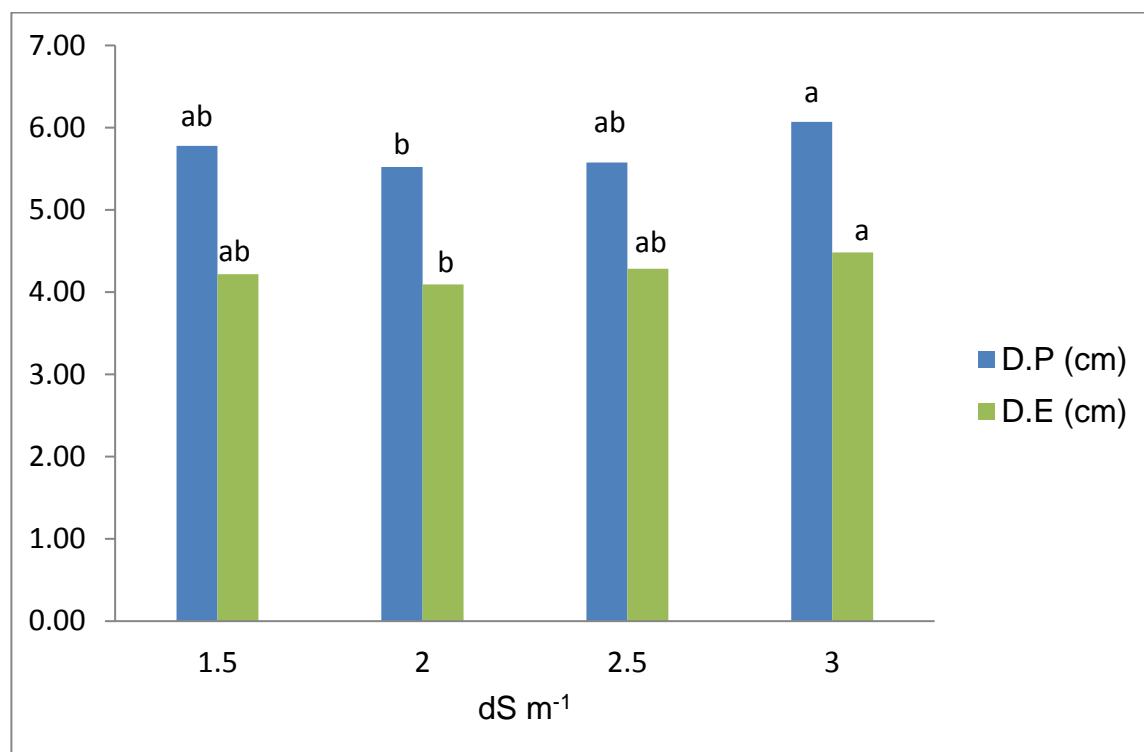


Figura 11. Valores promedio del diámetro polar y ecuatorial en función de la CE de la solución Steiner. Letras diferentes representan diferencia significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.5. Calidad del fruto

#### 4.5.1. Espesor del pericarpio.

En cuanto a calidad de fruto, se pudo observar diferencia significativa (Figura 12) en los cuatro tratamientos de ( $P \leq 0.05$ ), en el caso particular con espesor de pericarpio, el tratamiento con el valor más alto, lo presentó el tratamiento con CE de ( $2.5 \text{ dS m}^{-1}$ ) con  $0.599 \text{ cm}$ , seguido el tratamiento  $3.0$  de CE con valor de  $0.585 \text{ cm}$ , mientras que los tratamientos más bajos lo presentaron ( $0.518 - 0.497 \text{ cm}$ ) con CE de  $2.0$  y  $1.5 \text{ dS m}^{-1}$

Comparando con los valores que obtuvo Santana, (2014), al trabajar con cuatro tipos de fertilización, se considera valores bajos. Tomando como referencia a Castellanos, (2009), donde describe que los frutos con una calidad ideal deberán contener  $1 \text{ cm}$  de grosor de pericarpio.

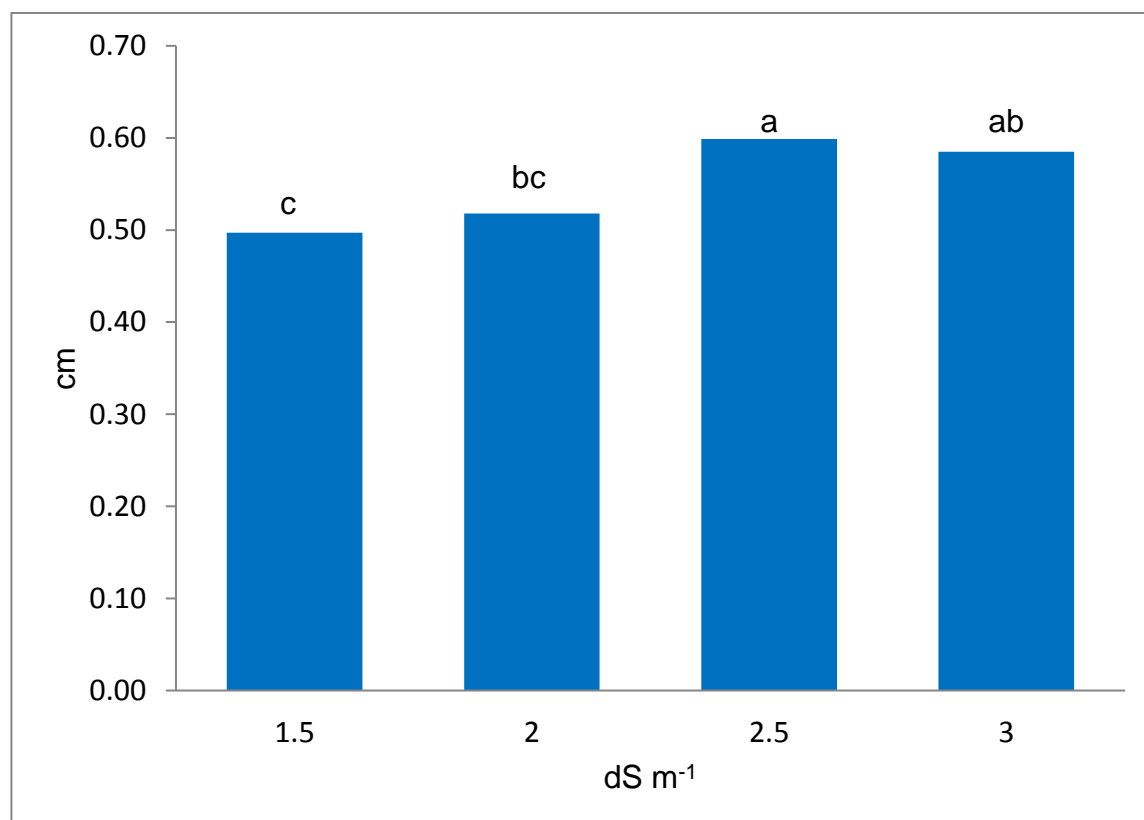


Figura 12. Valores promedio del espesor del pericarpio del fruto en función de la CE de la solución Steiner. Letras diferentes representan diferencia significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.5.2. Firmeza del fruto.

En la firmeza de los fruto se puede observar diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ ) (Figura 13). De la misma forma en cuanto firmeza se puede observar un aumento directamente proporción a la del espesor de pericarpio. El tratamiento con mayor firmeza fue de 1.01 N, con CE 2.5 dS m<sup>-1</sup> seguido de los tratamientos de 3.0 y 2.0 dS m<sup>-1</sup> con (0.53 - 0.43 N), que estadísticamente fueron iguales entre sí, y por último el tratamiento más baja 0.18 N. con una CE, de 1.5 dS m<sup>-1</sup>.

Diferentes investigaciones han mostrado ser contradictorias, en el caso de Albornoz et al., (2007), expone, cuando se manejan altas concentraciones de sales en la solución nutritiva la resistencia de los frutos disminuye. Lo que podría coincidir con esta investigación, al observar una disminución de la resistencia del pericarpio a partir de la CE 3.0 dS m<sup>-1</sup>. Por lo contrario Navarro-López et al. (2012), dice que al manejar conductividades de 3 a 4 dS m<sup>-1</sup> se obtiene un incremento de la firmeza de los frutos.

El pericarpio forma parte importante del fruto porque lo protege contra varias amenazas, como son los daños causados por la presencia de plagas en el cultivo u otros agentes del medio ambiente. En cuanto a la sal y el estrés hídrico, se minimiza la transpiración y la pérdida de agua del fruto, al mantener una densidad más alta de células. Por lo tanto por haber una presión osmótica

más elevada en los frutos, se acumulan mayor cantidad de sólidos solubles y con esto la firmeza se incrementa Krauss et al., (2006).

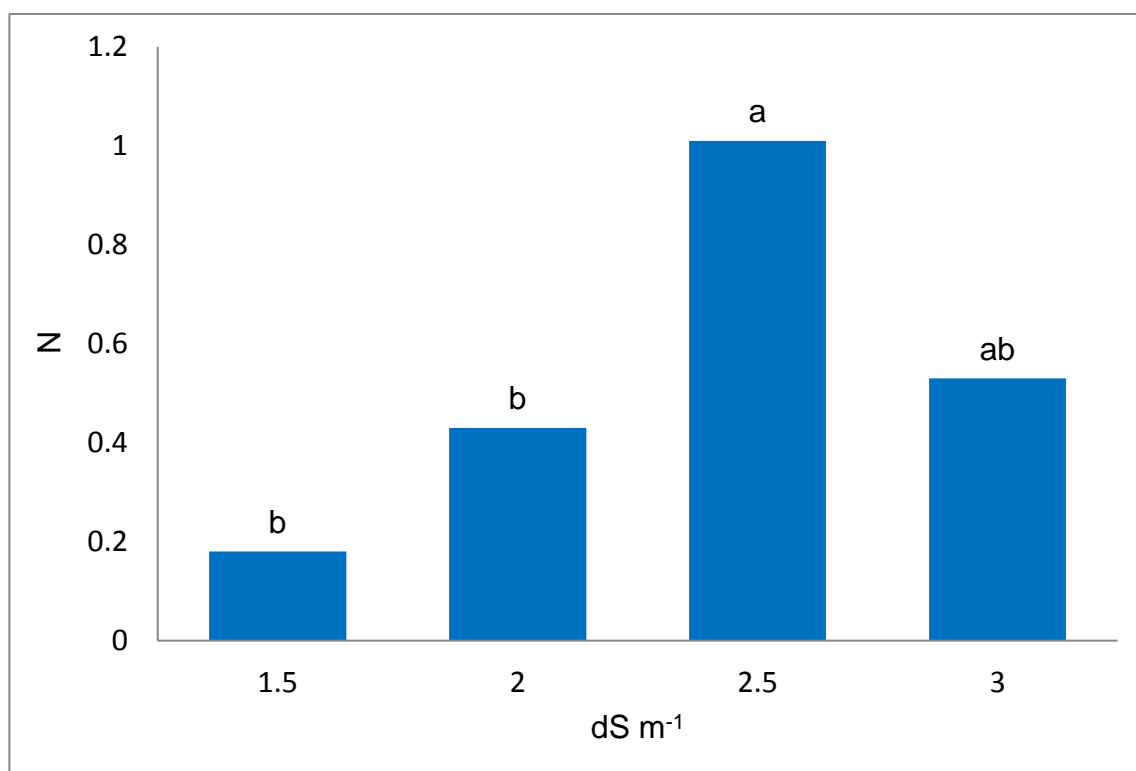


Figura 13. Valores promedio de firmeza de fruto en función de la CE de la solución Steiner. Letras diferentes representan diferencia significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

#### 4.5.3. Grados Brix.

En cuanto grados brix se observó diferencia significativa ( $P \leq 0.05$ , Figura 14). El valor más alto fue de 7.13 °Brix con CE de 3.0 dS m<sup>-1</sup>, le siguió el tratamiento con CE de 2.0 de 6.90 °Brix, este mismo le siguió el tratamiento de 2.5 dS m<sup>-1</sup> con 6.02 °Brix, y el ultimo valor y el más bajo fue de 5.80 con su CE de 1.5 dS m<sup>-1</sup>



Estudios realizados por Navarro-López et al., (2012), encontraron que al regar con agua con CE de 3 a 4 dS m<sup>-1</sup> se incrementa el porcentaje de SST en los frutos, lo que concuerda con los estudios de esta investigación.

Estudios realizados en tomate, en donde aplicaciones de nutrientes a la solución nutritiva apenas suficiente para mantener un rendimiento alto, es posible, sin embargo, el resultado en cuanto calidad de fruta, es baja Coutinho Edson et al., (2014).

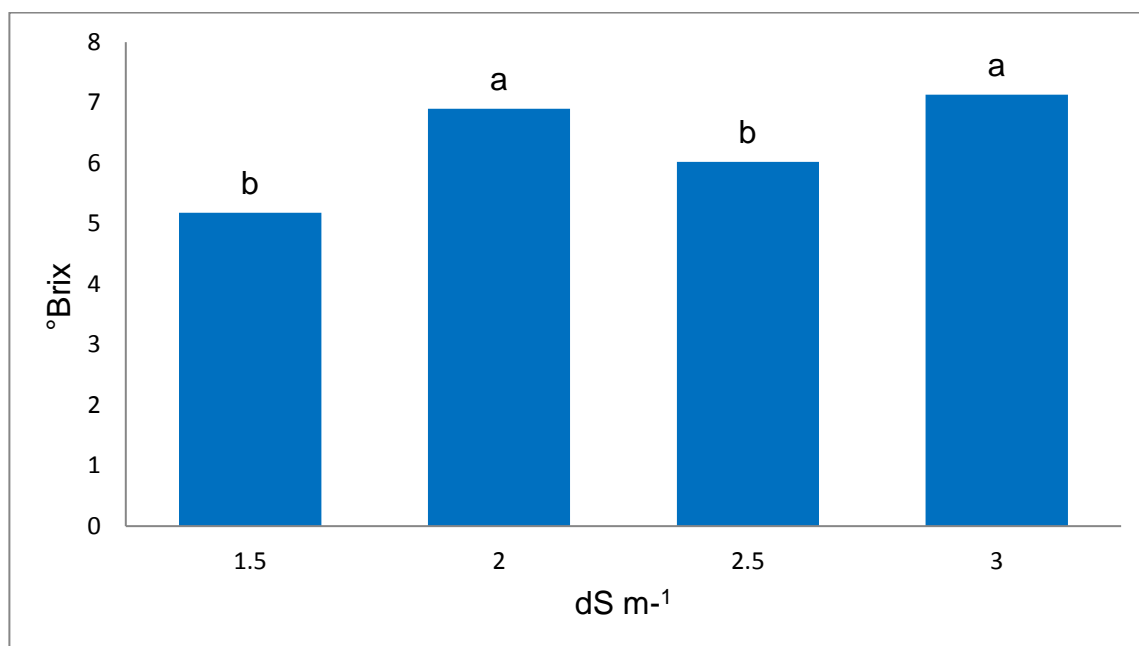


Figura 14. Valores promedio del ° Brix de los frutos en función de la CE de la solución Steiner. Letras diferentes representan diferencia significativa (Tukey  $P \leq 0.05$ ).

## 5. CONCLUSIONES.

La conductividad eléctrica de la solución nutritiva afecta el rendimiento y la calidad de los frutos. Con una conductividad de 3.0 y 2.5 dS m<sup>-1</sup> se obtienen frutos con mejores características, firmeza, espesor del pericarpio, diámetro ecuatorial y polar, que son parte importante de la calidad de los frutos, aun que en el tratamiento de 2.5 mostro una disminución en grados brix,perose mantuvo por arriba de lo que marca un fruto con calidad, igualmente en estos tratamiento mostro un mayor rendimiento y numero de frutos a diferencia de los tratamientos con CE de 1.5 y 2.0 dS m<sup>-1</sup>, que presentaron un menor rendimiento y menor calidad de los frutos.

Las CE de 2.5 y 3.0 pueden mejorar el rendimiento y calidad de los frutos de tomate

## 6. LITERATURA CITADA.

- Adams, S., Cockshull, K., and Cave, C. (2001). Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Annals of Botany* 88, 869-877.
- Ahmad, P., Jaleel, C., and Sharma, S. (2010). Antioxidant defense system, lipid peroxidation, proline-metabolizing enzymes, and biochemical activities in two *Morus alba* genotypes subjected to NaCl stress. *Russian Journal of Plant Physiology* 57, 509-517.
- Ahmad, P., and Sharma, S. (2010). Physio-biochemical attributes in two cultivars of mulberry (*Morus alba* L.) under NaHCO<sub>3</sub> stress. *International Journal of Plant Production* 4, 79-86.
- Alam, M., Rahman, M. H., Mamun, M., Ahmad, I., and Islam, K. (2006). Enzyme activities in relation to sugar accumulation in tomato. *Proceedings-pakistan academy of sciences* 43, 241.
- Albornoz, F., Torres, A., Tapia, M. L., and Acevedo, E. (2007). Cultivo de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) hidropónico con agua desalinizada y desborficada en el valle de Lluta. *Idesia (Arica)* 25, 73-80.
- Battilani, A. (2008). Manipulating quality of horticultural crops with fertigation. In "V International Symposium on Irrigation of Horticultural Crops 792", pp. 47-59.
- Bautista Cruz, M. T. (2010). Potencial osmótico en la absorción nutrimental y calidad de fruto en chile manzano (*Capsicum pubescens* R. y P.). Colegio de posgraduados. Montesillo, texcoco, México. pp 54.
- Betancourt, P., and Pierre, F. (2013). Extracción de macronutrientes por el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill. Var. Alba) en casas de cultivo en Quíbor, Estado Lara. *Bioagro* 25, 181-188.
- Bieto, J. A., Cubillo, M. T., Mangas, I. B., and Ormaechea, A. G. (2008). "Fundamentos de fisiología vegetal," McGraw-Hill Interamericana de España.
- Borkovich, K., Farrelly, F., Finkelstein, D., Taulien, J., and Lindquist, S. (1989). hsp82 is an essential protein that is required in higher concentrations for growth of cells at higher temperatures. *Molecular and Cellular Biology* 9, 3919-3930.
- Bouzo, C., Favaro, J., and Astegionado, E. (2001). Estimación del área foliar en distintos cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizando medidas foliares lineales. *Investigación Agraria. Producción y Protección Vegetales* 16, 249-256.

- Bugarín-Montoya, R., Galvis-Spinola, A., Sánchez-García, P., and García-Paredes, D. (2002a). Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra* 20, 391-399.
- Bugarín-Montoya, R., Glavis Spinola, A., Sánchez Garcia, P., and García Paredes, D. (2002b). Acumulación diaria de materia seca y de potasio en la biomasa aérea total de tomate. *Terra* 20, 401-409.
- Carrasco, G.; Izquierdo, J. 1996. La empresa hidropónica de mediana escala: La técnica de la solución nutritiva recirculante ("NFT"). Chile. Universidad de Talca. Editorial de Talca. p 105.
- Castellanos, J. Z. (2011). "Manual de producción de tomate en invernadero." Editado por INTAGRI. Segunda edición. México. Pp 6,7.
- Ceballos-Aguirre, N., Vallejo-Cabrera, F. A., and Arango-Arango, N. (2012). Evaluación del contenido de antioxidantes en introducciones de tomate tipo cereza (*Solanum* spp.). *Acta Agronómica* 61, 230-238.
- Cjuno, J. A. (2005). Diseño y Armado de un conductímetro de baja frecuencia con electrodos de carbón amorfo. *Revista Peruana de Química e Ingeniería Química* 8, 23-28.
- Coutinho Edson, L., Orioli Júnior, V., da Silva, E. J., Coutinho Neto, A. M., and Cardoso, S. S. (2014). Nutrición, producción y calidad de frutos de tomate para procesamiento en función de la fertilización con fósforo y potasio. *Agrociencia Uruguay* 18, 40-46.
- Cruz Lagunas, B. (2007). Calidad de semilla de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) por efecto de potenciales osmóticos, calcio y podas bajo condiciones de invernadero. Montecillo Texcoco, Edo. México. pp 177.
- De Pascale, S., y Maggio, A. (2003). Effect of salt stress on water relations and antioxidant activity in tomato. *Acta horticulturae*, 39-46.
- Díaz, M. I. H., Graverán, M. M., Laffita, M. C., Placeres, V. M., Velóz, A. O., Quivicán, L. H., and Independencia, G. E. F. A. (2011). Caracterización del crecimiento y la absorción de macronutrientes en el cultivo protegido del tomate (Hibrido ha 3019). *Centro Agrícola* 38, 35-44.
- Díaz, M. I. H., Laffita, M. C., Placeres, V. M., Veloz, A. O., Pulido, J. M. S., and Guerrero, O. B. (2009). Relaciones nitrogeno potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate en suelo Ferralítico Rojo. *Pesquisa Agropecuária Brasileira* 44, 429-436.

- Dorais, M., Dorval, R., Demers, D., Micevic, D., Turcotte, G., XiuMing, H., Papadopoulos, A., Ehret, D., Gosselin, A., and Sonneveld, C. (2000). Improving tomato fruit quality by increasing salinity: effects on ion uptake, growth and yield. *In* "Proceedings of the XXV International Horticultural Congress. Part 1. Culture techniques with special emphasis on environmental implications, nutrient management, Brussels, Belgium, 2-7 August, 1998.", pp. 185-195.
- Duarte Díaz, C., Ajete Gil, M., González Robaina, F., Bonet Pérez, C., and Sierra Castellanos, L. O. (2010). Dosificación de fertilizante para el fertirriego del tomate protegido en Ciego de Ávila. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* 19, 12-16.
- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., and Grolier, P. (2003). Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, 369-382.
- Enfissi, E. M., Barneche, F., Ahmed, I., Lichtlé, C., Gerrish, C., McQuinn, R. P., Giovannoni, J. J., Lopez-Juez, E., Bowler, C., and Bramley, P. M. (2010). Integrative transcript and metabolite analysis of nutritionally enhanced De-Etiolated1 downregulated tomato fruit. *The Plant Cell* 22, 1190-1215.
- Fabela, E., Preciado, P., and Benavides, A. (2006). Manual para la preparación de soluciones nutritivas. *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*, 31-40.
- Fayad, J. A., Fontes, P. C. R., Cardoso, A. A., Finger, F. L., and Ferreira, F. A. (2002). Absorção de nutrientes pelo tomateiro cultivado sob condições de campo e de ambiente protegido. *Horticultura brasileira* 20, 90-94.
- Feng, G., Zhang, F., Li, X., Tian, C., Tang, C., and Rengel, Z. (2002). Improved tolerance of maize plants to salt stress by arbuscular mycorrhiza is related to higher accumulation of soluble sugars in roots. *Mycorrhiza* 12, 185-190.
- Flores González, D. (2011). Conductividad eléctrica de la solución nutritiva en el rendimiento y calidad de tomates (*Lycopersicon esculentum* Mill.) nativos cultivados en invernadero.
- FAOSTAT. FAO, 2015 <http://faostat3.fao.org/browse/Q/QC/S> (29 de mayo del 2016).
- Fraser, P. D., Truesdale, M. R., Bird, C. R., Schuch, W., and Bramley, P. M. (1994). Carotenoid biosynthesis during tomato fruit development (evidence for tissue-specific gene expression). *Plant physiology* 105, 405-413.

- Galvez, J. (2004). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Current Agricultural Science and Technology* 10.
- Galvez, J. (2005). Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *Current Agricultural Science and Technology* 11.
- Goykovic Cortés, V., and Saavedra del Real, G. (2007). Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo. *Idesia (Arica)* 25, 47-58.
- Hasegawa, P. M., Bressan, R. A., Zhu, J.-K., and Bohnert, H. J. (2000). Plant cellular and molecular responses to high salinity. *Annual review of plant biology* 51, 463-499.
- Hernández, J., de Jesús, M., Baca Castillo, G., Aceves Navarro, L., Tirado Torres, J. L., Sahagún Castellanos, J., Colinas de León, M. T., and Sánchez García, P. (2006). Propuesta para la formulación de soluciones nutritivas en estudios de nutrición vegetal. *Interciencia* 31, 246-253.
- Hernández Díaz, M. I., Chailloux Laffita, M., Moreno Placeres, V., Mojena Graverán, M., and Salgado Pulido, J. M. (2014a). Relaciones nitrógeno-potasio en fertirriego para el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en la época de primavera-verano. *Cultivos Tropicales* 35, 106-115.
- Hernández Díaz, M. I., Chailloux Laffita, M., Moreno Placeres, V., Igarza Sánchez, A., and Ojeda Veloz, A. (2014b). Niveles referenciales de nutrientes en la solución del suelo para el diagnóstico nutricional en el cultivo protegido del tomate. *Idesia (Arica)* 32, 79-88.
- Hernández, M., Salgado, J. M., Chailloux, M., and Nasarova, L. (2008). Evaluación agronómica de fertilizantes líquidos cubanos en el cultivo protegido del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) híbrido HA 3019. *Cultivos Tropicales* 29, 73-81.
- Herrera, A. L. (1999). Manejo de la solución nutritiva en la producción de tomate en hidroponía. *Terra* 17.
- Krauss, S., Schnitzler, W. H., Grassmann, J., and Voitke, M. (2006). The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54, 441-448.
- Lesur L. 2006. Manual del cultivo de tomate. Editorial trillas, México. 2006, p.15.

- Lopez Lopez, A. (2014). Produccion de tomate tipo bola (*Lycopersicon esculentum* Mill) en invernadero con diferentes conductividades electricas. Universidad autónoma agraria antonio narro unidad laguna. Torreon, Cuahila. p 54.
- Maas, E., and Hoffman, G. (1977). Crop Salt Tolerance—Current Assessment. *Journal of the Irrigation and Drainage Division* 103, 115-134.
- Marschner, H. 2002. Mineral nutrition of higher plants. 2nd ed. Academic Press. p. 889.
- Marchese, M., Tuttobene, R., Restuccia, A., Longo, A., Mauromicale, G., and Restuccia, G. (2008). Effects of electrical conductivity of irrigation water on the growth and production of *Solanum lycopersicum* L. var. cerasiforme grown in greenhouse. *Options Méditerranéennes* 84, 311-315.
- Marín-Rodríguez, M. C., Orchard, J., and Seymour, G. B. (2002). Pectate lyases, cell wall degradation and fruit softening. *Journal of Experimental Botany* 53, 2115-2119.
- Marshall, J., Knapp, S., Davey, M., Power, J., Cocking, E., Bennett, M., and Cox, A. (2001). Molecular systematics of *Solanum* section *Lycopersicum* (*Lycopersicon*) using the nuclear ITS rDNA region. *Theoretical and Applied Genetics* 103, 1216-1222.
- Mathias, X. (2013). "Tratado de variedades de hortalizas," Omega. Edicion España. pp 380-391,392.
- Matsuda, R., Suzuki, K., Nakano, Y., Sasaki, H., and Takaichi, M. (2011). Nutrient supply and fruit yields in tomato rockwool hydroponics under daily quantitative nutrient management: analysis and evaluation based on leaf area index. *agricultural Meteorology* 67, 117-126.
- Mirta Salgado, J., Marti, S., Méndez, M., Hernández, M. I., and Bruzón, O. (2005). Comportamiento poscosecha del tomate vyta en anaquel. *Alimentaria*, 118-121.
- Monardes, H. (2009). 2. *Manual de cultivo de tomate (Lycopersicon esculentum Mill.), Características botánicas*. Universidad de Chile. pp 9-10,11.
- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, cell & environment* 25, 239-250.
- Munns, R. (2005). Genes and salt tolerance: bringing them together. *New phytologist* 167, 645-663.

- Navarro-López, E. R., Nieto-Ángel, R., Corrales-García, J., García-Mateos, M. d. R., and Ramírez-Arias, A. (2012). Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. *Revista Chapingo. Serie horticultura* 18, 263-277.
- Nuez, F. (2001). Situación taxonómica, domesticación y difusión del tomate; anatomía y fisiología de la planta. *En: El cultivo del tomate. Grafo SA, Bilbao, España*, 1-87, 101, 102, 103.
- Omaña, H. G., and Peña, H. (2015). Acumulación de materia seca y balance de nutrientes en tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cultivado en ambiente protegido. *Bioagro* 27, 111-120.
- Peralta, I. E., and Spooner, D. M. (2001). Granule-bound starch synthase (GBSSI) gene phylogeny of wild tomatoes (*Solanum* L. section *Lycopersicon* [Mill.] Wettst. subsection *Lycopersicon*). *American Journal of Botany* 88, 1888-1902.
- Peralta, I. E., and Spooner, D. M. (2006). History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). *Genetic improvement of Solanaceous crops* 2, 1-27.
- Posada, F. C., and Cardozo, M. C. (2009). Análisis básico del crecimiento en frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill, cv. 'Quindío') cultivados a campo abierto. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 62, 4815-4822.
- Ramírez-Canales, J. 1974. Características generales de las series de suelos en la región lagunera Coahuila y Durango. Secretaria de Recursos Hidráulicos. Distrito de Riego No. 17. 62 p.
- Reche, J. (2010). Cultivo de tomate en invernadero. Publicado por: Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino.
- Salazar, (2005). Efectos del TLCAN sobre las exportaciones de tomate de México a los Estados Unidos. *Revista Fitotecnia Mexicana* 28, 299-309.
- Salisbury, F., and Ross, C. (2000). Fisiología de las plantas 1. Células: agua, soluciones y superficies. *International Thomson Editores. Madrid, España*. p 320.
- Sánchez-Peña, P., Oyama, K., Núñez-Farfán, J., Fornoni, J., Hernández-Verdugo, S., Márquez-Guzmán, J., and Garzón-Tiznado, J. A. (2006). Sources of resistance to whitefly (*Bemisia* spp.) in wild populations of *Solanum lycopersicum* var. *cerasiforme* (Dunal) spooner GJ Anderson et RK Jansen in Northwestern Mexico. *Genetic Resources and Crop Evolution* 53, 711-719.



- Sánchez, G., P., C. Molinos da Silva., G. Alcántar G. y M. Sandoval V. 2009. Diagnóstico nutrimental en plantas *In*: Alcántar G. y L. I. Trejo T. (eds.). Nutrición de cultivos. Mundi- Prensa. pp. 202-247.
- Santana De Avila, E. A. (2014). Producción de tomate tipo bola (*Lycopersicon esculentum* mill). En invernadero con soluciones nutritivas inorgánicas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro ul. Torreon Cuahila. pp 54.
- Sevilla, R. (2006). Manual para caracterización in situ de cultivos nativos: conceptos y procedimientos: definiciones conceptuales básicas. *Lima, PE, INIEA*, 17-25.
- SIAP. SAGARPA, 2013. [http://www.siap.gob.mx/produce-39-toneladas-jitomate/\(10 mayo de 2016\)](http://www.siap.gob.mx/produce-39-toneladas-jitomate/(10%20mayo%20de%202016)).
- Sonneveld, C., and Voogt, W. (2009). "Nutrient management in substrate systems," Springer. New York. pp: 277-312.
- Spooner, D. M., Anderson, G. J., and Jansen, R. K. (1993). Chloroplast DNA evidence for the interrelationships of tomatoes, potatoes, and pepinos (*Solanaceae*). *American Journal of Botany*, 676-688.
- Steiner, A. (1984). The universal nutrient solution. *In* "6. International Congress on Soilless Culture, Lunteren (Netherlands), 29 Apr-5 May 1984". ISOSC.
- Steiner, A. (1961). A universal method for preparing nutrient solutions of a certain desired composition. *Plant and Soil* 15, 134-154.
- Steiner, A. 1966. The influence of chemical composition of a nutrient solution on the production of tomato plants. *Plant Soil*. 24: 454-466.
- Urrieta-Velázquez, J. A., Rodríguez-Mendoza, M. d. I. N., Ramírez-Vallejo, P., Baca-Castillo, G. A., Ruiz-Posada, L. d. M., and Cueto-Wong, J. A. (2012). Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Chapingo. Serie horticultura* 18, 371-381.
- Villa, C., Inzunza, I., and Catalán, V. (2001). Zonificación agroecológica de hortalizas involucrando grados de riesgo. *Terra* 19, 1-7.
- Wallender, W. W., K. K. Tanji. 2011. Agricultural salinity assessment and management. American Society of Engineer. New York, USA. p. 1094.
- Wei, M. Y., and Giovannucci, E. L. (2012). Lycopene, tomato products, and prostate cancer incidence: a review and reassessment in the PSA screening era. *Journal of oncology* 2012.

- White, P. J. (2002). Recent advances in fruit development and ripening: an overview. *Journal of Experimental Botany* 53, 1995-2000.
- Yilmaz, E. (2001). The chemistry of fresh tomato flavor. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry* 25, 149-155.
- Zafra, J. (2013). La agricultura y ganadería ecológicas siguen creciendo en España y el mundo: El valor de mercado de la alimentación ecológica en España se aproxima ya a 1.000 millones de euros. *Distribución y Consumo* 23, 48-53.