

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y LA
ETAPA DE FRUCTIFICACIÓN EN TOMATE EN UN SISTEMA DE
SUBIRRIGACIÓN

Tesis

Que presenta ERICK ALONSO RODRÍGUEZ ÁLVAREZ

Como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA

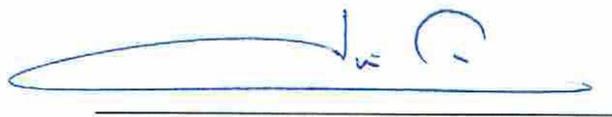
Saltillo, Coahuila

Diciembre 2017

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y LA
ETAPA DE FRUCTIFICACIÓN EN TOMATE EN UN SISTEMA DE
SUBIRRIGACIÓN

Tesis

Elaborada por ERICK ALONSO RODRÍGUEZ ÁLVAREZ como requisito parcial
para obtener el grado de MAESTRO EN CIENCIAS EN HORTICULTURA con la
supervisión y aprobación del Comité de Asesoría.



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



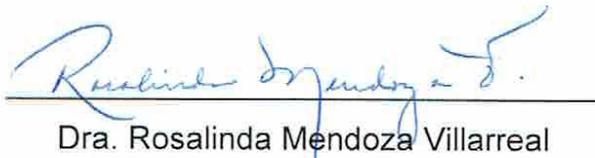
Dr. Armando Hernández Pérez
Asesor



Dra. Juana Cruz García Santiago
Asesor



Dr. Karim de Alba Romenus
Asesor



Dra. Rosalinda Mendoza Villarreal
Subdirectora de Postgrado
UAAAN

AGRADECIMIENTOS

A **Dios, la Virgen de Guadalupe y San Judas Tadeo**, por tener la dicha de estar con vida junto a mi familia y dejarme concluir una meta más en mis estudios, además que me han guiado por el buen camino y me han ayudado a ser mejor persona cada día.

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por darme la oportunidad de realizar mis estudios de posgrado y por todos sus servicios que me brindó durante mi estancia.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT)** por otorgar la beca para cursar la maestría y darme la oportunidad de realizar la estancia en el extranjero.

Al **Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar** por haberme ofrecido un proyecto para la elaboración de mi tesis, por su apoyo durante su realización y su dedicación para la revisión del trabajo. Además por todos sus conocimientos que me compartió durante todo este periodo.

Al **Dr. Armando Hernández Pérez** por su colaboración para establecer el experimento y su disponibilidad para la revisión del trabajo.

Al **Dr. Karim de Alba Romenus** por su colaboración y disponibilidad para la revisión del trabajo.

A la **Dra. Juana Cruz García Santiago** por su colaboración y disponibilidad para la revisión del trabajo.

A mis amigos de generación **Ramiro Salas, Elsy López y Rafael Paredes** gracias por su amistad durante este periodo.

A mis amigos **Ricardo Baeza, Fernando Camarillo, Julio Manzano, Miguel Manzano, Salvador Cruz, Juan de Dios, Oscar, Yahir Terraza, Leonel Espinosa, Gamaliel Manzano, Eneida, Octavio Zavala, Daniel Vargas, Iván Rojas, Santos, José Luis Fernández**, gracias por su amista

DEDICATORIAS

Con todo el cariño y amor a mis padres: Cecilia Álvarez Mendoza y J. Carmen Rodríguez Ortega gracias al apoyo incondicional que me han brindado durante este largo camino, hoy cumplí una meta más.

A mis hermanos María del Carmen Vianey, Martha Guadalupe, Cecilia Montserrat y José Carmen por su cariño y apoyo que me dan día con día.

A mis abuelos, tíos y primos que siempre me han motivado, estoy muy agradecido por sus buenos consejos y todo lo que me han dado.

“No hay secretos para el éxito. Éste se alcanza preparándose,
trabajando arduamente y aprendiendo del fracaso.”

COLIN POWELL

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
AGRADECIMIENTOS.....	iii
DEDICATORIAS.....	iv
RESUMEN.....	viii
ABSTRACT.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
Objetivo General.....	3
Objetivos Específicos.....	3
Hipótesis.....	3
REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
El tomate en Invernadero.....	4
Hidropónia.....	4
Manejo de la Solución Nutritiva.....	5
Problemas de Contaminación y uso del Agua en la Agricultura.....	6
Sistema de Subirrigación.....	7
MATERIALES Y MÉTODOS.....	13
Sitio Experimental.....	13
Material Vegetal.....	13
Siembra y Trasplante.....	13
Sistema de Riego y Fertilización.....	13
Condiciones Climáticas en el Invernadero.....	14
Diseño del Experimento.....	15
Tratamientos Evaluados.....	16
Variables Evaluadas.....	16
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	18
CONCLUSIONES.....	29
REFERENCIAS.....	30

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el rendimiento total en las tres etapas de fructificación de tomate cv. Clermon	19
Figura 2. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en los sólidos solubles totales (SST) en la etapa 3 de los frutos de tomate cv. Clermon.....	20
Figura 3. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la firmeza de los frutos de tomate cv. Clermon en la etapa 2.....	22
Figura 4. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la acumulación de la biomasa seca total en las plantas de tomate cv. Clermon.....	23
Figura 5. Correlación entre el promedio de la conductividad eléctrica de los tres estratos (NS, NM, NI) del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon en la etapa 1 de fructificación.....	27
Figura 6. Correlación entre el promedio de la conductividad eléctrica de los tres estratos (NS, NM, NI) del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon en la etapa 2 de fructificación.....	27
Figura 7. Correlación entre el promedio de la conductividad eléctrica de los tres estratos (NS, NM, NI) del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon en la etapa 3 de fructificación.....	28

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Solución nutritiva empleada para el cultivo de tomate, en el sistema de subirrigación y riego superficial.....	14
Cuadro 2. Temperatura mínima y máxima promedio durante el ciclo del tomate.....	14
Cuadro 3. Humedad relativa mínima y máxima durante el ciclo del tomate.....	15
Cuadro 4. Radiación PAR diurna promedio y a las 2 pm durante el ciclo del tomate.....	15
Cuadro 5. Concentraciones de la solución nutritiva (%) en las etapas del cultivo de tomate.....	16
Cuadro 6. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el rendimiento de las tres etapas de fructificación de tomate cv. Clermon.....	18
Cuadro 7. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en los sólidos solubles totales (SST) en la etapa 1 y 2 (E1, E2), la firmeza en la etapa 1 y 3 (E1, E3) de los frutos de tomate cv. Clermon.....	21
Cuadro 8. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la conductividad eléctrica del sustrato del nivel superior (NS), nivel medio (NM) y nivel inferior (NI) en la etapa de fructificación 1.....	25
Cuadro 9. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la conductividad eléctrica del sustrato del nivel superior (NS), nivel medio (NM) y nivel inferior (NI) en la etapa de fructificación 2.....	25
Cuadro 10. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la conductividad eléctrica del sustrato del nivel superior (NS), nivel medio (NM) y nivel inferior (NI) en la etapa de fructificación 3.....	26

RESUMEN

EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE LA SOLUCIÓN NUTRITIVA Y LA
ETAPA DE FRUCTIFICACIÓN EN TOMATE EN UN SISTEMA DE
SUBIRRIGACIÓN

POR

ERICK ALONSO RODRÍGUEZ ÁLVAREZ

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN HORTICULTURA
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

ASESOR

DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR

SALTILLO, COAHUILA

DICIEMBRE 2017

La subirrigación es una técnica de riego que aporta agua y nutrientes a las raíces de las plantas desde el fondo de los contenedores por acción capilar. La acumulación de sales en la parte superior del medio de crecimiento representa un inconveniente para los cultivos de ciclo largo. El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento en la producción de tomate, utilizando distintas concentraciones de la solución nutritiva (SN) por etapa de fructificación en un sistema de subirrigación. Se aplicaron 7 tratamientos, teniendo como testigo un riego por goteo con el 100% de la SN durante todo el ciclo, para los demás tratamientos se aplicaron concentraciones más altas o más bajas (120%, 100%, 90%, 70%, 50%), en tres etapas de fructificación, cada una comprendida por cuatro racimos. El diseño que se utilizó fue bloques completamente al azar con cuatro repeticiones de cada tratamiento y dos plantas por repetición. El rendimiento total se mantuvo constante al disminuir gradualmente la concentración de la solución nutritiva en subirrigación en comparación con el riego por goteo, donde se aplicó el 100% de la solución durante todo el ciclo. Los sólidos solubles totales y la firmeza del fruto incrementaron cuando la concentración de la SN fue más alta durante todo el ciclo del cultivo. Al reducir la concentración de la SN hubo un efecto positivo en el incremento de la biomasa seca total de las plantas. Para cultivos de ciclo largo como el tomate en subirrigación, se recomienda iniciar con concentraciones altas al inicio y reducirla gradualmente durante el ciclo del cultivo para obtener los mismos rendimientos que en riego por goteo, con lo que se obtiene, además del ahorro de agua, un ahorro en fertilizantes.

Palabras clave: Cultivos sin suelo; Cultivos de invernadero; Conductividad eléctrica; Salinidad

ABSTRACT

EFFECT OF THE CONCENTRATION OF THE NUTRITIVE SOLUTION AND
THE TOMATO FRUIT STAGE IN A SUBIRRIGATION SYSTEM

BY

ERICK ALONSO RODRÍGUEZ ÁLVAREZ

MASTER OF SCIENCE IN HORTICULTURE

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

ADVISOR

DR. LUIS ALONSO VALDEZ AGUILAR

SALTILLO, COAHUILA

DECEMBER 2017

Subirrigation is an irrigation technique that provides water and nutrients to the roots of the plants from the bottom of the containers by capillary action. Accumulation of salts at the top of the growth medium represents a drawback for long cycle cultures. The objective of the study was to evaluate the response in tomato production, using different concentrations of the nutrient solution (NS) per fruiting stage in a subirrigation system. Seven treatments were applied, with drip irrigation with 100% of the NS during the whole cycle. For the other treatments, higher or lower concentrations were applied (120%, 100%, 90%, 70% 50%), in three stages of fructification, each one consisting of four clusters. The experimental design was completely randomized blocks with four replicates of each treatment and two plants per replicate. The total fruit yield was maintained by lowering the concentration of the NS in subirrigation compared to drip irrigation, where 100% of the solution was applied throughout the cycle. Total soluble solids and fruit firmness increased when the concentration of the NS was highest throughout the crop cycle. By reducing the concentration of the nutrient solution there was a positive effect on the increase of the total dry biomass of the plants. For long-cycle crops, such as tomato in subirrigation, it is recommended to start with high concentrations at the beginning and gradually reduce it during the crop cycle to obtain the same yields as in drip irrigation, thus obtaining, in addition to saving water, a saving in fertilizers.

Keywords: Crops without soil; greenhouse crops; electric conductivity; salinity

INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum*) es una de las hortalizas más importantes en varios países, debido principalmente a su alto valor económico reflejado en su alta demanda, con mercados para consumo en fresco o industrializado (Rodríguez, 2006). La siembra de este cultivo es una de las más importantes, avanzadas e innovadoras de la industria hortícola (Costa y Heuvelink, 2006), además que junto con el cultivo de la papa representan aproximadamente 50% de la producción de hortalizas en todo el mundo (Barrón *et al.*, 2002). Aunque el tomate se cultiva en muchos países del mundo, sólo son cinco quienes producen más de 50% del total mundial. De acuerdo a las estadísticas realizadas en el año 2009 se muestra que China produjo 29.66%, Estados Unidos 9.25%, India 7.29%, Turquía el 7.03% y Egipto el 6.54% (FAO, 2011).

En los últimos años, los sistemas hidropónicos se han vuelto cada vez más utilizados entre productores hortícolas ya que se mejora la producción y la calidad de los cultivos (Van Os *et al.*, 2002). Gracias a la tecnología de producción en invernadero se puede incrementar el rendimiento por unidad de superficie.

Sin embargo, para lograr estos rendimientos los productores aplican altas cantidades de fertilizantes y productos químicos, lo que ha originado un uso inadecuado del agua y a su vez se liberan nutrimentos como nitratos y fosfatos a las aguas subterráneas (Klock-Moore y Broschat, 2001). Además que el riego frecuente y la fertilización pueden causar contaminación del suelo y de los recursos hídricos, si no se utiliza un programa de nutrición balanceado (Van Os, 1999).

Para resolver estos problemas los productores tienen que utilizar la recirculación de la solución nutritiva (Reed, 1996). Se han implementado varios tipos de sistemas cerrados para cultivos sin suelo en contenedores. Los sistemas más utilizados son el riego superficial (riego por goteo) y el sistema de subirrigación (bancos de flujo y reflujos, colcha capilar y pisos inundados) (Reed, 1996).

Sin embargo, los sistemas de subirrigación tienen mayores ventajas (Treder *et al.*, 1999) en comparación con los sistemas de riego por goteo, por ejemplo:

reducción de los costos laborales, aumento de la superficie de producción si se combina con bancos móviles (Hanan, 1998) y se reduce la difusión de patógenos en sistemas cerrados sin suelo (Wohanka, 2000). Se ha observado mayor eficiencia de la fertilización y uso del agua y aumento en el rendimiento, lo cual es debido a que disminuye la pérdida de nutrientes por la reducción de los volúmenes drenados totales (Fouss *et al.*, 2004; Sharma y Minhas, 2005; Weestrom y Messing, 2007). A diferencia del sistema de riego por goteo, los nutrientes que no son absorbidos por la planta no se acumulan en la solución nutritiva, sino en el sustrato, especialmente en la parte superior donde las raíces están menos presentes (Reed, 1996; Santamaria *et al.*, 2003).

La acumulación de sal en la parte superior del sustrato es el mayor inconveniente de esta técnica (Argo y Biernbaum, 1996, Morvant *et al.*, 1997; Roupheal y Colla, 2005; Roupheal *et al.*, 2006). Para solucionar este problema algunos investigadores sugieren reducir la concentración de la solución nutritiva, ya que muchos de los nutrientes acumulados en el sustrato pueden ser utilizados por las plantas, por ejemplo, Siddiqi *et al.*, (1998) demostraron que las concentraciones de macronutrientes en tomate de invernadero, se pueden reducir en un 75% sin tener ningún efecto adverso sobre el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la fruta. Un efecto similar resultó para la producción de gerbera en maceta, (Zheng *et al.*, 2004). En otros estudios observaron la eficacia en la reducción de la concentración de SN en sistemas de subirrigación con recirculación, los resultados obtenidos demostraron que la SN puede reducirse hasta en 50% sin tener efectos perjudiciales sobre el crecimiento y la calidad de las plantas en varias especies ornamentales (Zheng *et al.*, 2004; Roupheal *et al.*, 2008). Montesano *et al.*, (2010) también trabajaron con riego por goteo en ciclo abierto y subirrigación, encontraron que el tomate puede crecer exitosamente en el sistema de subirrigación con recirculación, usando agua salina, reduciendo la concentración de la solución nutritiva en un 30%. Por el contrario, Roupheal y Colla (2009) encontraron una reducción del rendimiento comercializable del 58% para el calabacín cultivado en subirrigación utilizando una SN con baja concentración. Similarmente, El Youssfi *et al.*, (2012) encontraron que el 50% en

la concentración de la SN fue una reducción excesiva para el frijol verde en subirrigación.

En estudios anteriores (García *et al.*, 2017), las concentraciones de las soluciones nutritivas se aplicaron muy diluidas cuando las plantas fueron trasplantadas. Sin embargo, esta dilución temprana puede ser perjudicial para el crecimiento o la producción de la planta, ya que durante los primeros meses de la temporada de crecimiento, la cantidad de nutrientes acumulados en el medio de cultivo no es lo suficiente para satisfacer las demandas de la planta. Esto es respaldado por los resultados reportados por García *et al.* (2017), lo que demuestra que en las plantas de tomate con soluciones de un 50% de concentración menor, se redujo en un 19% el rendimiento de la fruta durante el primer mes de cosecha. El presente estudio fue diseñado para determinar una reducción progresiva de la concentración de la solución de nutrientes en el rendimiento y crecimiento de las plantas de tomate en subirrigación.

Objetivo General

Evaluar el comportamiento en la producción de tomate utilizando distintas concentraciones en la solución nutritiva por etapa de fructificación del cultivo, en un sistema de subirrigación.

Objetivos Específicos

- Determinar el efecto en crecimiento y rendimiento de plantas de tomate.
- Cuantificar el impacto en parámetros de calidad comercial del fruto como sólidos solubles totales y firmeza.

Hipótesis

La producción, crecimiento y calidad de tomate en subirrigación será afectado por la concentración de la solución nutritiva y estará en función de la etapa de fructificación del cultivo.

REVISIÓN DE LITERATURA

El Tomate en Invernadero

La producción de tomate en invernadero tiene un mayor costo a diferencia de los producidos en campo abierto, puesto que están protegidos de la intemperie y de otras condiciones que afectan la producción en campo abierto (Calvin *et al.*, 2005). La alta demanda en los mercados y su valor comercial, además de la posibilidad de sembrar en épocas con condiciones climáticas desfavorables, justifican la importante inversión para el desarrollo de proyectos con ambiente protegido y automatización (Cook y Calvin 2005). En los sistemas de producción en ambientes protegidos se pueden lograr altas tasas de crecimiento de cultivos, rendimiento y calidad de la producción (David *et al.*, 2003), ya que se le dan a las plantas las mejores condiciones ambientales para su crecimiento.

Los principales estados donde se concentra la mayor cantidad de invernaderos en México son: Sinaloa (22 %), Baja California (14 %), Baja California Sur (12 %) y Jalisco (10 %); estas cuatro entidades aportan más del 50 % de la producción total de cultivos protegidos (Perea, 2011).

Hidropónia

La hidropónia es una técnica que permite producir plantas sin emplear suelo y ha alcanzado un alto grado de sofisticación en países desarrollados, porque requiere de poco espacio y una mínima cantidad de agua en la producción (Rodríguez, 2003). Esta técnica es altamente productiva, conservadora de agua, tierra y protectora del medio ambiente. Se utiliza para el crecimiento de plantas con soluciones nutritivas (agua y fertilizantes) con o sin el uso de un medio artificial (arena, grava, vermiculita, roca volcánica, musgo de turba, aserrín) para el crecimiento radicular. Se utilizan los invernaderos para el control de temperatura, reducción de la pérdida de agua por evaporación, reducción de las enfermedades e infestaciones de plagas y protección del cultivo contra el viento y la lluvia (Jensen, 2002).

Utilizar sistemas de producción como la hidropónia para la producción de hortalizas en invernadero es ideal, pues tiene un alto grado de eficiencia en el uso de agua, ya que se reducen las pérdidas por evaporación y se evita la percolación; además es poco el terreno que se debe aplicar el riego, porque las raíces no necesitan crecer en exceso para buscar los nutrientes, este método les permite llegar directamente a la raíz en las cantidades necesarias para el óptimo desarrollo de la planta, ya que ésta se encuentra en bolsas de plástico utilizadas como contenedores (Espinoza, 2004).

Manejo de la Solución Nutritiva

El buen manejo de la nutrición mineral es fundamental, pues determina en gran medida la capacidad productiva de las plantas de tomate (Snyder, 2006). Por lo general, muchos de los híbridos sembrados comercialmente en el país presentan buena adaptación, un excelente comportamiento y un alto potencial de rendimiento. Éstos son muy demandantes de nutrimentos, por lo que un buen diseño y ajuste de la fertilización en tomate es necesario para lograr altas tasas de producción (Vallejo, 1999).

Se debe garantizar un suministro de nutrimentos directamente en el bulbo de humedecimiento, sitio donde se encuentra el mayor volumen de raíces absorbentes (Imas, 2009). Esto favorece la eficiencia en el uso del agua y los fertilizantes, lo que mejora su distribución y localización. Si se emplea este recurso en forma adecuada, con el aporte de los nutrimentos que la planta demanda en el tiempo y la cantidad precisa para cada etapa fenológica, la mejora en el rendimiento alcanzado y en parámetros de calidad de la fruta (tamaño, firmeza, sanidad, sólidos solubles) es notable durante todo el ciclo del cultivo (Alcántar *et al.*, 1999).

La relación entre los diferentes nutrientes dentro de la solución nutritiva, incide en la productividad de los cultivos debido a que interaccionan tanto aniones como cationes, puesto que la absorción de nutrientes efectuada por las raíces de las plantas es selectiva, y depende de factores climáticos, así como de la etapa de crecimiento en que el cultivo se encuentre, además de las concentraciones

disponibles de los nutrientes (Papadopoulos, 2004). La concentración de nutrientes y la salinidad del agua también influyen en el rendimiento y calidad del fruto de tomate (Dorais y Papadopoulos, 2000). Al irrigar las plantas con bajas concentraciones de la SN puede haber una reducción el rendimiento de las plantas y a mayores concentraciones se pueden producir algunos desbalances nutricionales debido a la interacción entre nutrientes y así inhibir el rendimiento (Grattan y Grieve, 1999).

Problemas de Contaminación y uso del Agua en la Agricultura

El uso intensivo de fertilizantes inorgánicos en la agricultura, ha causado problemas de contaminación ambiental (Ersin *et al.*, 2010; Durdane *et al.*, 2011); siendo más graves al ser aplicados en dosis superiores a los requerimientos de los cultivos (Peña *et al.*, 2001). La escasez de agua se está convirtiendo en una amenaza para la sostenibilidad de la agricultura de riego (Mojid *et al.*, 2012). Debido a que la agricultura es el mayor consumidor de agua dulce, se debe poner mayor atención en el aumento de la eficiencia de este recurso (Jacobsen *et al.*, 2012).

La nutrición balanceada permite manejar la demanda y el suministro de nutrimentos, lo que ayuda a optimizar el uso de fertilizantes y evita la contaminación de mantos acuíferos y la salinización de los suelos (Villarreal *et al.*, 2006). Esto ha llevado a la necesidad de aplicar elementos nutritivos en forma racional. Con el paso de los años se han hecho evidentes los riesgos que implica el uso excesivo de fertilizantes y plaguicidas sobre la salud humana (Rodríguez *et al.*, 2007). Para disminuir los problemas de contaminación, los sistemas de producción han sido modificados al combinar fertilización orgánica con mineral (Rinaldi *et al.*, 2007).

Los invernaderos pueden tener una baja sostenibilidad ambiental, debido a su uso intensivo de agua, agroquímicos, materiales contaminantes (plásticos) (Gallardo *et al.*, 2009; Massa *et al.*, 2011). Una alternativa para reducir los problemas de contaminación de mantos acuíferos y la escasez de agua es cambiar el sistema de riego convencional abierto por un sistema por subirrigación

o superficial con recirculación, es decir; capturando y usando de nuevo la solución nutritiva (James y Van Iersel, 2001). Como es ciclo cerrado se necesita menos agua y fertilizantes, lo que puede ayudar a reducir los costos de producción (Van Os, 2001).

Sistema de Subirrigación

La subirrigación es una técnica de riego que proporciona agua y nutrientes a las raíces de las plantas desde el fondo de los contenedores, el agua es absorbida por el sustrato a través de agujeros en el fondo del contenedor, por acción capilar del mismo. Las plantas cultivadas en contenedores se inundan dentro de un sistema cerrado, la cantidad de agua absorbida depende de la sequedad del sustrato y los requerimientos de las plantas (Ferrarezi *et al.*, 2015c). La solución nutritiva que no es absorbida por la planta se recircula a los tanques de almacenamiento y es reutilizada para el siguiente riego, reduciendo los costos de fertilizantes para el productor (Bauerle, 1990; Bumgarner *et al.*, 2008; Kang *et al.*, 2004; Kang y van Iersel, 2004; Majsztrik *et al.*, 2011; Zheng *et al.*, 2004).

Este sistema se comenzó a utilizar desde 1895, cuando fue descrito por investigadores de la Estación Experimental de Ohio (Green y Green, 1895). También se utilizó en New Jersey y la Universidad de Purdue en un experimento agrícola durante los años treinta (Withrow y Biebel, 1937). La subirrigación con contenedores fue descrita por primera vez en 1950, como una alternativa mejorada y simplificada al cultivo de arena y como técnica de nutrición (Johnstone, 1950). Los sistemas de flujo y reflujo, posteriormente se hicieron populares (Bauerle, 1990; Biernbaum, 1988, 1990; Elliott, 1990, 1992) y son los tipos de subirrigación más utilizados en invernadero (Uva *et al.*, 1998). Los sistemas de subirrigación se clasifican como banco de flujo y reflujo, suelo de inundación, bandeja, bandejas holandesas y estera capilar (Elia *et al.*, 2003; Roeber, 2010). Se realizó un estudio donde se evaluó el uso de subirrigación en 50 invernaderos y se menciona que el de flujo y reflujo es utilizado por 58% de los productores, suelos de inundación en un 13%, y sistemas de bandejas en un

8%, con un 21% de los entrevistados emplean dos o más sistemas de subirrigación (Uva *et al.*, 1998).

El sistema de flujo y reflujo consiste en un banco elevado y hermético donde las plantas son cultivadas, un depósito de solución nutritiva y una bomba (Schmal *et al.*, 2011). El banco es periódicamente inundado con solución nutritiva bombeada desde el depósito, después la solución nutritiva eventualmente regresa a través de un drenaje por gravedad a velocidad lenta para permitir la absorción (Elliott, 1990). La frecuencia de riego puede ser controlado usando temporizadores (Elliott, 1992). Las bandejas holandesas, también conocidas como bandejas móviles, son bancos móviles independientes de flujo y reflujo que se pueden mover fácilmente a través de un invernadero (Barreto *et al.*, 2015). Estas bandejas se fabrican específicamente para uso en cultivos altamente automatizados (Uva *et al.*, 2000). Las técnicas de subirrigación para cultivos en contenedores adecuados para el cultivo de hortalizas, son el sistema de banco de vasijas. También se han encontrado resultados interesantes con esta técnica en tomate (Santamaria *et al.*, 2003).

El riego por inundación es un método similar en el que se colocan las plantas directamente sobre el suelo del invernadero y todo el espacio se inunda a través de agujeros en el piso. El suelo tiene un suave pendiente para permitir el drenaje del agua al tanque de la solución nutritiva (Ferrarezi *et al.*, 2015c). La película de agua en el suelo permite a los productores más control sobre cuánta agua absorbe el sustrato (Beytes, 2011; Elmer *et al.*, 2012; Gent y McAvoy, 2011). Comparado con inundaciones, subirrigación utiliza menos agua y fertilizantes, y se producen plantas más pequeñas (Gent y McAvoy, 2011). Los recipientes relativamente pequeños ocupan menos espacio en comparación con el sistema de flujo y reflujo, ya que los bancos deben estar separados. Sin embargo, las bandejas también permiten una mejor circulación de aire a través del dosel debido al espaciamiento (Nelson, 2003). Las alfombras capilares absorbentes también son métodos utilizados para proporcionar humedad a las plantas en macetas por debajo de los contenedores para minimizar fluctuaciones en el

contenido de agua del sustrato (Morvant *et al.*, 1997; Payne y Adam, 1980; van Iersel y Nemali, 2004).

Se debe tener en cuenta qué sustrato se va utilizar para subirrigación, ya que las propiedades físicas pueden afectar la eficiencia de la acción capilar (Ferrarezi *et al.*, 2015c). El agua y nutrientes son entregados a las plantas por el movimiento pasivo de agua a través del sustrato debido a capilaridad (Uva *et al.*, 2001). Las características como densidad, tamaño de partícula y capacidad de retención de agua son necesarios para permitir el movimiento del agua dentro de los contenedores (Elia *et al.*, 2003; Oh *et al.*, 2007). Los sustratos con grandes partículas tienen grandes espacios de poros, reduciendo la acción capilar. Sustratos sin suelo son más utilizados y adecuados para uso con subirrigación (Caron *et al.*, 2005; James y van Iersel, 2001; Oh *et al.*, 2007), se pueden mezclar sustratos con características particulares (Martínez y Silva Filho, 2006), para que la subirrigación sea más uniforme. La altura del contenedor es otro factor que también puede afectar la eficacia de la subirrigación, porque el agua debe avanzar hasta alcanzar la parte superior en contenedores más altos (Bailey *et al.*, 2002). En un estudio realizado, los contenedores de 15 cm de diámetro por 12 cm de alto llenos con un sustrato de turba y perlita, el agua alcanzó la parte superior del sustrato hasta 20 horas después en plantas de Hibisco Rojo (*Hibiscus acetosella*) (Ferrarezi *et al.*, 2015a). Koeser *et al.*, (2013) compararon subirrigación y riego por goteo usando coleus (*Solenostemon scutellarioides*) cultivado en varios tipos de contenedores, subirrigation mejoró el crecimiento en todos los tratamientos y este efecto fue por el aumento de la fertilización debido a la ausencia de lixiviación.

En comparación con el riego superficial, los sistemas de subirrigación han demostrado reducir el uso del agua, principalmente porque el exceso de agua se recoge y se reutiliza (Davis *et al.*, 2008, 2011; Dumroese *et al.*, 2007; Elliott, 1990). Dumroese *et al.*, (2006) encontraron que la subirrigación requiere un 56% menos de agua en los gastos totales por irrigación. Roeber (2010) indicó diferentes gastos del agua para la producción de plantas en maceta, mostrando que flujo y reflujos en bancos utilizan de 0.4 a 0.8 m³/m² de agua al año, riego por

goteo utilizan 0.8 a 1.6 m³/m² de agua por año y con riego por aspersión de 1.2 a 2.4 m³/m² por año.

La subirrigación puede reducir los efectos de estrés osmótico que puede ser inducido por aplicación de agua salina (Ferrarezi *et al.*, 2015c). El tomate (*Solanum Lycopersicum*) con solución nutritiva preparada con agua salina ha tenido rendimientos de frutas iguales a las plantas con riego por goteo irrigado con la misma solución (Incrocci *et al.*, 2006). En otro estudio demostraron que, el tomate subirrigado, los rendimientos fueron más altos y la acumulación de sal fue mínima cuando el contenido de nutrientes de la solución de riego fue reducido en un 30% (Montesano *et al.*, 2010). La acumulación de sales se encuentra principalmente en la capa superior del sustrato (Incrocci *et al.*, 2006; Montesano *et al.*, 2010).

El sistema modifica la distribución de las sales solubles en el sustrato, ya que en subirrigación el flujo de agua y nutrimentos en los contenedores de las plantas es de la parte inferior hacia la parte superior, la falta de lixiviación en el sistema favorece la retención de iones en el medio de crecimiento, estimulándose la formación de sales (Cox, 2001). Dado que no se produce lixiviación en los contenedores de subirrigado, la acumulación de sal en particular en la superficie del sustrato es un inconveniente importante de esta técnica cultural (Elia *et al.*, 2003; Roupael y Colla, 2005). Los excesos de nutrimentos no removidos por lixiviación modifican el ambiente de crecimiento de los cultivos, incrementando la CE en la solución, y las sales pueden dañar la planta (James y van Iersel, 2001). Por lo tanto, muchos autores sugieren reducir la concentración de fertilizantes en la subirrigación en comparación con los sistemas tradicionales de riego por goteo (Cox, 2001; Yeh *et al.*, 2004; Montesano *et al.*, 2010). Las tasas óptimas de fertilización para los sistemas de riego son bien conocidos, pero hay menos información aplicada sobre las concentraciones ideales de solución nutritiva para subirrigación (Kang y van Iersel, 2001). En subirrigación las concentraciones deben ser inferiores que el riego por goteo (Elliott, 1990, Kent y Reed, 1996; van Iersel, 1999). Las plantas subirrigadas generalmente se ven afectadas por alta salinidad en la parte superior del sustrato (Cox, 2001; Incrocci *et al.*, 2006). El

crecimiento de las raíces ocurre principalmente en las partes inferiores del contenedor donde hay más agua disponible (Kent y Reed, 1996; Montesano *et al.*, 2010; Morvant *et al.*, 1997).

La subirrigación requiere un buen manejo de la solución nutritiva para tener alta calidad de cultivos en invernadero (Rouphael y Colla, 2005; Zheng *et al.*, 2004). El manejo eficaz de nutrientes para subirrigación minimiza el riesgo de estrés osmótico, al mismo tiempo proporciona a las plantas nutrición adecuada (James y van Iersel, 2001; Zheng *et al.*, 2004). Las concentraciones óptimas de la solución nutritiva varían entre especies y puede depender de los requerimientos nutricionales y tolerancia a las sales (Kang y van Iersel, 2002).

La subirrigación también permite la aplicación de pesticidas y reguladores de crecimiento, asegura aplicación uniforme, impide la liberación de estos productos químicos al medio ambiente, puede reducir los costos laborales, así como exposición de los trabajadores a los plaguicidas (Million *et al.*, 1999, 2002; Van Iersel *et al.*, 2000, 2001). Un problema con la aplicación agroquímicos a través de la subirrigación es que el exceso de solución drena de nuevo al tanque de retención (Ferrarezi *et al.*, 2015c). Sin embargo, se demostró que los residuos de *paclobutrazol* y *uniconazol* en la solución nutritiva eran muy bajos después de la aplicación mediante la subirrigación (Adriansen y Odgaard, 1997; Million *et al.*, 1999). El *imidacloprid* (Marathon 60 WP) aplicado vía subirrigación fue más eficaz en el control de moscas blancas (*Bemisia argentifolii*) que en aplicación drench (Van Iersel *et al.*, 2000).

La infestación de raíces por patógenos en los contenedores mediante la recirculación del agua de riego es un inconveniente potencial en subirrigación (Sanogo y Moorman, 1993; Stanghellini *et al.*, 2000; van der Gaag *et al.*, 2001; Watanabe *et al.*, 2008). Los Oomicetos de los géneros *pythium* y *phytophthora* son particularmente problemáticos, ya que producen gran número de zoosporas acuáticas y afectan seriamente el crecimiento y calidad de las plantas (Sanogo y Moorman, 1993; Stanghellini *et al.*, 2000; Thinggaard y Middelboe, 1989). El filtrado de la solución nutritiva también puede prevenir la contaminación, eliminando microbios existentes y prevenir futuras infecciones (Atmatjidou *et al.*,

1991; Garibaldi *et al.*, 2003; Martínez *et al.*, 2010; Runia, 1995; Stewart-Wade, 2011). Los filtros de membrana eliminan eficazmente patógenos, pero son caros y requieren reemplazo frecuente (Runia, 1995; Stewart-Wade, 2011). La solución recirculada también puede ser tratada con ozono o radiación ultravioleta para eliminar patógenos (Martínez *et al.*, 2010; Runia, 1995; Stewart-Wade, 2011).

La subirrigación ha sido automatizada con éxito durante los últimos años utilizando tensiómetros (Montesano *et al.*, 2010; Rouphael y Colla, 2009; Rouphael *et al.*, 2006, 2008), lisímetros (Melo *et al.*, 2013), y sensores de humedad (Ferrarezi *et al.*, 2013, 2014, 2015a, 2015b). Los interruptores electrónicos conectados a tensiómetros para iniciar y terminar eventos de riego a 5 y 1 kPa⁻ de potencial matricial (valores de tensión altos y bajos respectivamente) fueron probados en varios estudios para el riego en contenedores (Rouphael *et al.*, 2008; Rouphael y Colla, 2009). Otro estudio utilizó esta automatización con agua no alcalina y mostró que la subirrigación controlada por tensiómetros dio como resultado el rendimiento de la calabaza igual al riego por goteo. Sin embargo, el uso de fertilizantes se reduce más con subirrigación que con riego por goteo (Rouphael y Colla, 2009). Montesano *et al.* (2010) encontraron que en riego por goteo las plantas usaban más agua y eran más grandes que las plantas en bandejas cuando el riego era activado a 7 kPa⁻. Sin embargo, cuando las concentraciones relativamente bajas de fertilizantes fueron utilizadas, la subirrigación resultó en rendimiento igual como riego por goteo en ciclo abierto. La activación del riego basado en niveles específicos de humedad del sustrato no solo reduce el uso de agua, también se utiliza para controlar el vigor de las plantas, reduciendo potencialmente la necesidad de aplicaciones retardas (Ferrarezi *et al.*, 2015a, 2015b).

Los beneficios económicos de la subirrigación es que facilita la automatización y reduce el costo de la mano de obra que es el mayor gasto para muchos productores (Biernbaum, 1990; USDA, 2009; Uva *et al.*, 1998, 2000, 2001). La incidencia y propagación de la enfermedad se reduce porque las hojas no se humedecen durante el riego (Rouphael *et al.*, 2006, Zheng *et al.*, 2004).

MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio Experimental

El experimento se realizó de marzo a noviembre del 2016 en Saltillo Coahuila, dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro en el área de invernaderos del Departamento de Horticultura, cuyas coordenadas son: 25°21'23.55" latitud N, 101° 2'5.16" longitud O y 1763 msnm.

Material Vegetal

Las semillas que se utilizaron para establecer el experimento fueron de tomate bola cv. *Clermon*, comercializadas por la compañía Syngenta. Es una variedad de crecimiento indeterminado ideal para cultivarse en invernadero y con calidad de exportación.

Siembra y Trasplante

Las semillas fueron sembradas el día 18 de marzo de 2016, en charolas de 200 cavidades, como sustrato de germinación se utilizó peat moss y perlita a una relación de 85:15 v/v. El trasplante se realizó el día 22 de abril de 2016, en bolsas de vivero negras de 10 litros de volumen. Como sustrato se utilizó una mezcla de peat moss, polvo de coco y perlita en una relación 40%:40%:20% v/v.

Sistema de Riego y Fertilización

El sistema de riego que se utilizó fue un sistema de subirrigación con recirculación de la solución nutritiva, donde se aplicó una lámina de riego de 15 cm durante 30 minutos a cada tratamiento, después del tiempo de riego la solución sobrante fue recolectada en los contenedores de la solución nutritiva para el siguiente riego. Para el tratamiento testigo se utilizó un riego superficial (riego por goteo), se establecieron dos goteros por contenedor con un gasto de 4 litros por hora cada uno. En los dos sistemas de riego se colocaron tensiómetros para medir la humedad del sustrato, cuando el manómetro del tensiómetro marcaba 10 centibares se aplicaba el riego en cada sistema de riego. Los tensiómetros

utilizados fueron de la compañía IRROMETER modelo LT y mini LT, los dos modelos están especializados para medir bajas tensiones en los sustratos.

Para la nutrición de las plantas se utilizó una solución nutritiva balanceada, obtenida en otro experimento utilizando la misma variedad de tomate (Cuadro 1), para los microelementos se utilizó el Ultrasol Mix.

Cuadro 1. Solución nutritiva empleada para el cultivo de tomate, en el sistema de subirrigación y riego superficial.

meq L ⁻¹	NO ₃ ⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	SO ₄ ²⁻	Ca ²⁺	K ⁺	Mg ²⁺
	14	2	8	11	9	4

Condiciones Climáticas en el Invernadero

Para monitorear las condiciones ambientales dentro del invernadero se instaló un sensor, el cual midió la temperatura, humedad relativa y radiación cada media hora durante el ciclo del cultivo. De los datos recolectados se obtuvo el promedio de la temperatura mínima y máxima (Cuadro 2), el promedio de la humedad relativa mínima y máxima (Cuadro 3), la radiación PAR diurna promedio y la radiación PAR a las 2 pm (Cuadro 4), esto se realizó para cada mes.

Cuadro 2. Temperatura mínima y máxima promedio durante el ciclo del tomate.

MES	Temperatura mínima promedio (°C)	Temperatura máxima promedio (°C)
Abril	13.5	39.3
Mayo	14.7	36.4
Junio	14.3	35.2
Julio	16.2	33.4
Agosto	16.7	28.0
Septiembre	15.3	27.6
Octubre	11.6	28.2
Noviembre	12.0	27.9
Promedio	14.3	32.0

Cuadro 3. Humedad relativa mínima y máxima durante el ciclo del tomate.

MES	Humedad Relativa mínima promedio (%)	Humedad Relativa máxima promedio (%)
Abril	9.9	73.5
Mayo	28.4	92.6
Junio	41.6	94.5
Julio	52.4	91.2
Agosto	68.8	97.2
Septiembre	60.7	96.7
Octubre	41.8	88.0
Noviembre	46.0	90.6
Promedio del ciclo	43.7	90.5

Cuadro 4. Radiación PAR diurna promedio y a las 2 pm durante el ciclo del tomate.

MES	Radiación PAR Diurna promedio ($\mu\text{M m}^2\text{s}^{-1}$)	Radiación PAR a las 2 pm promedio ($\mu\text{M m}^2\text{s}^{-1}$)
Abril	353.6	454.0
Mayo	262.1	360.9
Junio	226.2	282.9
Julio	94.6	118.3
Agosto	500.3	453.3
Septiembre	480.0	530.0
Octubre	481.4	555.4
Noviembre	369.0	533.0
Promedio del ciclo	345.9	411.0

Diseño del Experimento

El experimento fue distribuido en un diseño de bloques completamente al azar, con cuatro repeticiones por tratamiento y dos plantas por repetición. El análisis de datos se realizó mediante un análisis de varianza y comparación de medias

de acuerdo a la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$) utilizando el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) v 9.0.

Tratamientos Evaluados

Se evaluaron 7 tratamientos con distintas concentraciones de la solución nutritiva aplicada durante todo el ciclo del cultivo, en tres etapas de fructificación:

- Etapa 1 del racimo 1 al 4
- Etapa 2 del racimo 5 al 8
- Etapa 3 del racimo 9 al 12

Cuadro 5. Concentraciones de la solución nutritiva (%) en las etapas del cultivo de tomate.

Tratamiento	Crecimiento Vegetativo	Etapa de Fructificación		
		Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3
1 (goteo)	100	100	100	100
2	120	100	100	100
3	120	100	90	70
4	120	100	70	50
5	120	120	120	120
6	120	120	90	70
7	120	120	70	50

Variables Evaluadas

Durante el ciclo del cultivo se evaluó el rendimiento en cada etapa de fructificación y rendimiento total por planta. Al concluir el experimento las plantas se separaron en raíz, tallo y hojas, los órganos se introdujeron en un horno de secado a 70 °C durante 72 h y posteriormente se registró el peso de la materia seca de los diferentes órganos utilizando una balanza analítica RHINO® (BAPRE3). La firmeza de los frutos se determinó con un penetrometro McCormick® (FT327) utilizando una puntilla de 8 mm de diámetro. Para la

cuantificación de sólidos solubles totales (SST) se utilizó con un refractómetro digital de la marca HANNA® (HI 96801). Además, se determinó la CE del sustrato en tres estratos: nivel superior (NS), nivel medio (NM) y nivel inferior (NI) del contenedor. Se extrajo una muestra representativa de cada estrato y se colocó en bolsas de polietileno transparente para su posterior exposición a la radiación solar por 5 días; posteriormente se preparó una mezcla del sustrato con agua destilada (1:2 v/v) la cual se dejó en reposo por 30 min para después medir las propiedades antes mencionada con la ayuda de un ionómetro portátil Horiba® (LAQUA Twin).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La concentración de la solución nutritiva afectó el rendimiento de tomate en las tres etapas de fructificación, teniendo diferencias significativas (Cuadro 6). En la etapa 1 se obtuvo el mayor rendimiento en las plantas subirrigadas con una solución nutritiva al 100% y 120%, para la etapa 2 fue en aquéllas subirrigadas con 120%-70%, 120%-90% y 100%-100%, mientras que en la etapa 3 resultó mejor al aplicar la soluciones 100%-70%-50%, en aquéllas plantas subirrigadas durante todo el ciclo a una concentración al 120% de la solución, presentan una disminución en el rendimiento (Cuadro 6).

Cuadro 6. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el rendimiento de las tres etapas de fructificación de tomate cv. Clermon.

	Concentración de la SN (%)			Rendimiento	Rendimiento	Rendimiento
	Etap 1	Etap 2	Etap 3	Etap 1 (Kg)	Etap 2 (Kg)	Etap 3 (Kg)
Goteo	100	100	100	3.55 a	3.20 a	3.35 ab
	100	100	100	3.22 b	2.75 bc	2.90 c
Subirrigación	100	90	70	3.55 a	2.62 c	3.12 bc
	100	70	50	3.65 a	3.02 ab	3.42 a
	120	120	120	3.17 b	2.50 c	2.45 d
	120	90	70	3.52 a	3.07 a	3.37 ab
	120	70	50	3.55 a	3.25 a	3.37 ab
		ANOVA			$P<0.0001$	$P<0.0004$
	CV (%)			2.80	6.79	5.05

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Duncan con $p \leq 0.05$. ANOVA: Análisis de varianza. CV: Coeficiente de variación.

El rendimiento total de las plantas irrigadas con riego por goteo y subirrigación fueron similares, sin embargo, esta similitud depende de las concentraciones de las soluciones nutritivas en subirrigación (Figura 1), pues se obtuvieron mayor rendimiento en aquéllas plantas subirrigadas con soluciones de 100-70-50%,

120-70-50% y 120-90-70% respectivamente (Etapa1-Etapa2-Etapa3). Mientras que las plantas subirrigadas con 120-120-120% (Etapa1-Etapa2-Etapa3) registran una disminución en el rendimiento en comparación con aquellas plantas que fueron subirrigadas con soluciones de menor concentración en la Etapa 2 y 3 (Figura 1).

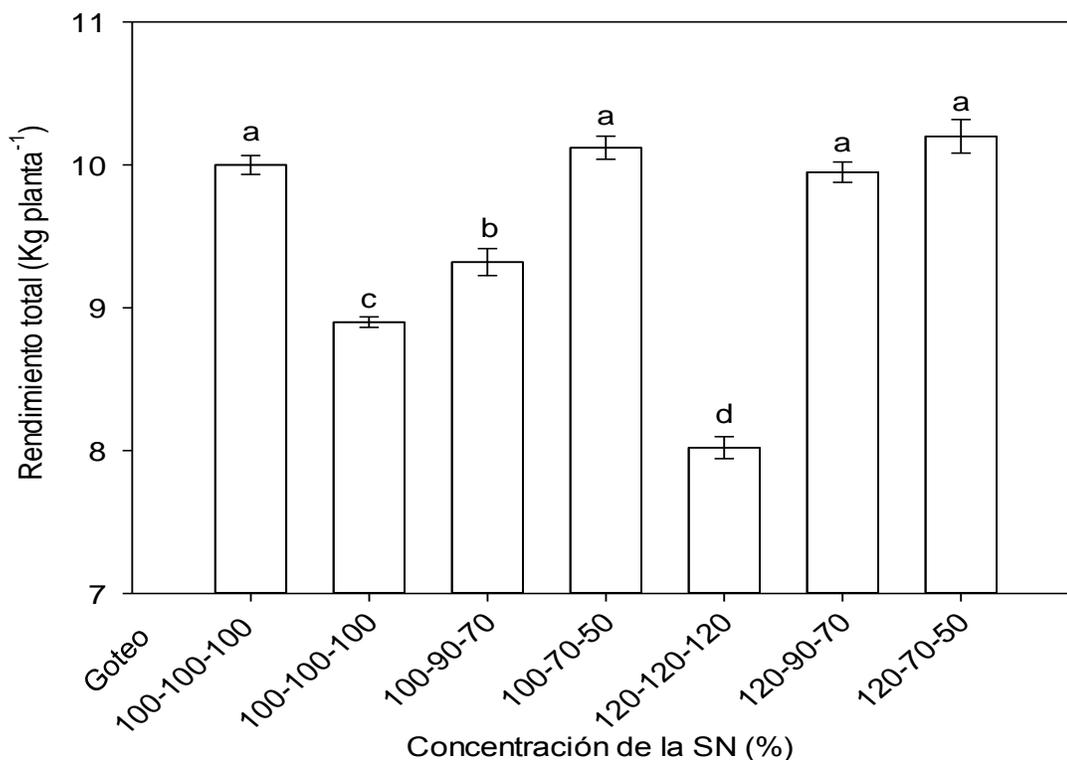


Figura 1. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el rendimiento total en las tres etapas de fructificación de tomate cv. Clermon.

Esto concuerda con otro estudio, donde se encontró que, el tomate subirrigado, los rendimientos fueron más altos y la acumulación de sal en el sustrato fue mínima cuando el contenido de nutrientes de la solución de riego fue reducido en un 30% (Montesano *et al.*, 2010). Además, la acumulación de sales se localiza principalmente en la capa superior del sustrato y no causa estrés por salinidad en tomate sometido a subirrigación (Incrocchi *et al.*, 2006; Montesano *et al.*, 2010). Siddiqi *et al.*, (1998) demostraron que las concentraciones de macronutrientes en tomate de invernadero, se pueden reducir en un 75% sin tener ningún efecto adverso sobre el crecimiento, el rendimiento y la calidad de la fruta. Un efecto

similar resultado para la producción de gerbera en maceta (Zheng *et al.*, 2004). La investigación de Chen *et al.*, (2006) menciona que la subirrigación puede mejorar el rendimiento y calidad del tomate en comparación con otros sistemas de riego. Las plantas subirrigadas generalmente no se ven afectadas por alta salinidad en la parte superior del sustrato (Cox, 2001; Incrocci *et al.*, 2006), debido a que el crecimiento de las raíces ocurre principalmente en las partes inferiores del contenedor donde hay más agua disponible (Kent y Reed, 1996; Montesano *et al.*, 2010; Morvant *et al.*, 1997).

La concentración de sólidos solubles totales (SST) en la etapa 1 no fue afectado por los sistemas de riego, ni por la concentración de la SN, mientras que en la etapa 2 (Cuadro 7) y etapa 3 (Figura 2) hubo diferencias significativas. Las plantas que se irrigaron con la SN al 120% registraron mayor concentración sólidos solubles totales. Al reducir la concentración de la SN en subirrigación y aquellas plantas irrigadas por riego por goteo, hay una disminución en la concentración de los SST en el fruto.

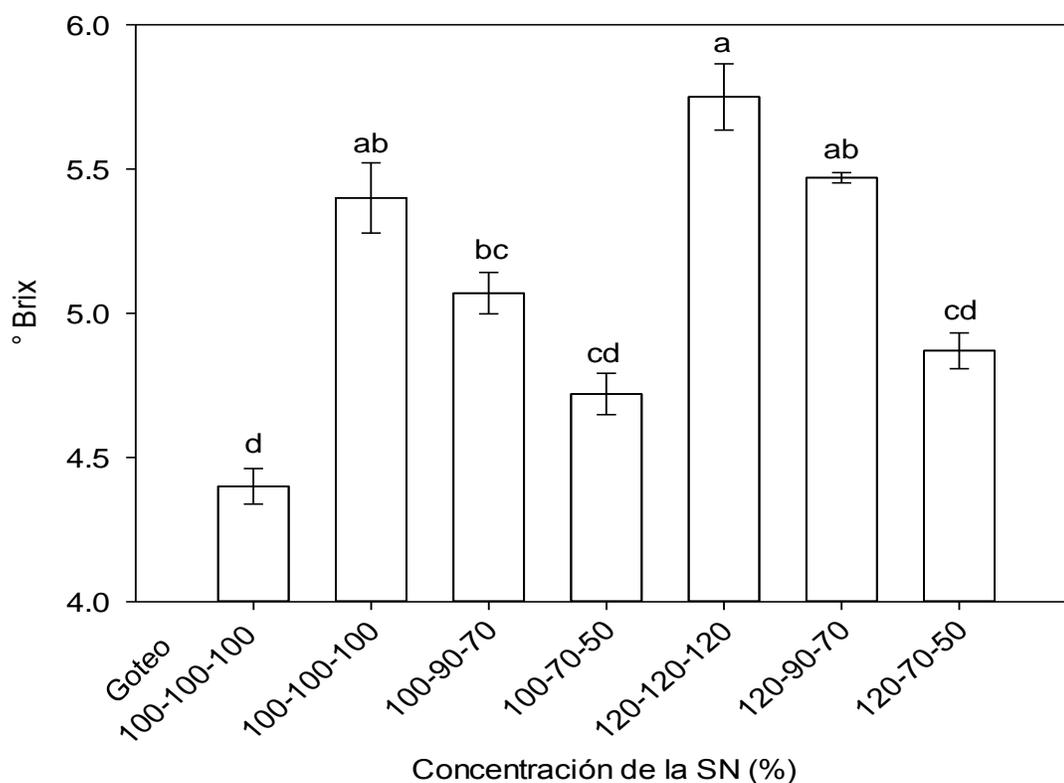


Figura 2. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en los sólidos solubles totales (SST) en la etapa 3 de los frutos de tomate cv. Clermon.

Cuadro 7. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en los sólidos solubles totales (SST) en la etapa 1 y 2 (E1, E2), la firmeza en la etapa 1 y 3 (E1, E3) de los frutos de tomate cv. Clermon.

	Concentración de la SN			SST E1 (°Brix)	SST E2 (°Brix)	Firmeza E1 (Kg/cm ²)	Firmeza E3 (Kg/cm ²)
	(%)						
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3				
Goteo	100	100	100	4.95	3.60 b	8.70 ab	10.22
	100	100	100	5.12	4.27 ab	9.80 ab	11.17
Subirrigación	100	90	70	4.70	4.17 ab	6.40 b	9.82
	100	70	50	4.37	4.07 ab	6.92 b	10.60
	120	120	120	5.27	4.87 a	11.97 a	10.82
	120	90	70	4.97	3.92 ab	8.40 ab	10.05
	120	70	50	4.65	3.85 b	6.22 b	9.50
		ANOVA			<i>P</i> <0.259	<i>P</i> <0.033	<i>P</i> <0.020
	CV (%)			10.27	14.32	29.25	12.70

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Duncan con $p \leq 0.05$. ANOVA: análisis de varianza. CV: Coeficiente de variación.

En la etapa 1 (Cuadro 7) y la etapa 2 (Figura 3) la concentración de la SN afectó la firmeza de los frutos de tomate, teniendo los mejores resultados cuando se aplicó la SN a una concentración de 120% en las tres etapas de fructificación. Cuando se aplicaron las concentraciones bajas en subirrigación, se disminuyó la firmeza de los frutos de tomate.

En los sólidos solubles totales de la etapa 1 y la firmeza de la etapa 3, no se presentó ningún efecto positivo a causa de la concentración de la SN en estas etapas de fructificación (Cuadro 7).

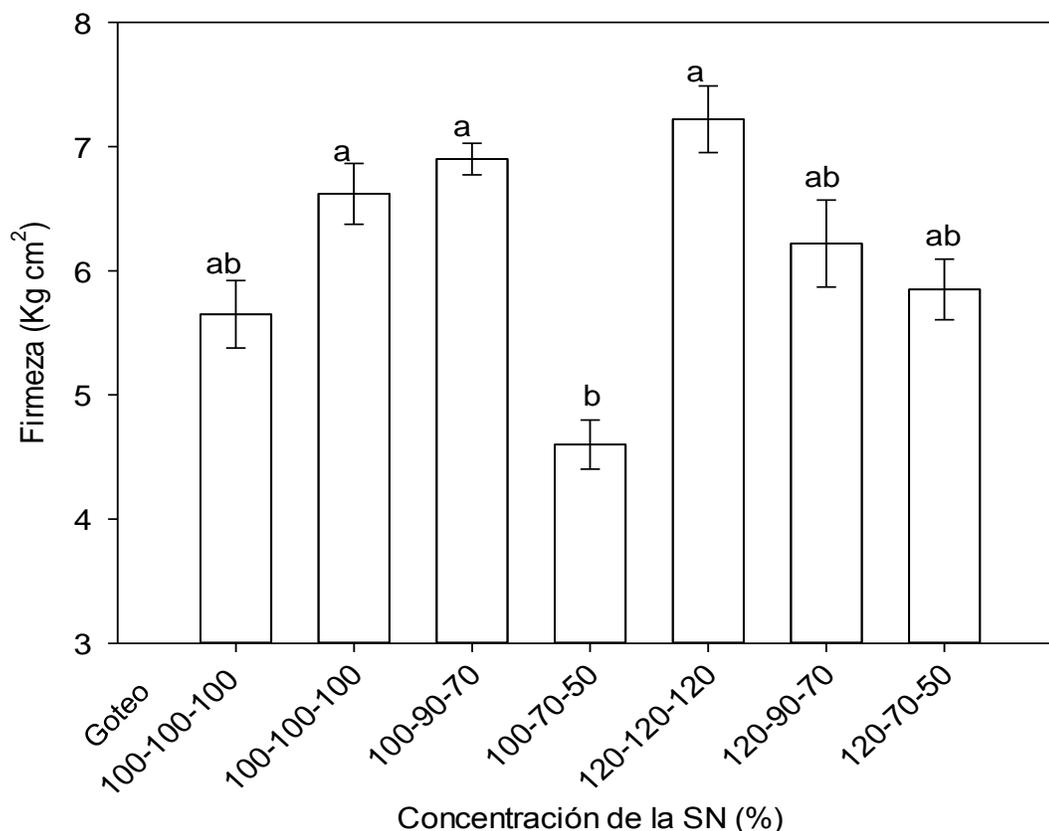


Figura 3. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la firmeza de los frutos de tomate cv. Clermon en la etapa 2.

En el trabajo de Mitchell *et al.* (1991), mencionan que una mayor concentración de sales trae consigo mayor acumulación de sólidos solubles. Satti *et al.* (1996) reportaron que al aumentar la CE de la solución nutritiva se obtiene un menor rendimiento, pero un incremento en la calidad de los frutos: firmeza, contenido de sólidos solubles totales y acidez titulable. Algunos frutos se ven afectados en su rendimiento (Pérez-Alfocea *et al.*, 1996; Grainferberg *et al.*, 2000; Faiz-SMA *et al.*, 1994; Carvajal *et al.*, 2006), pero positivamente en cuanto a algunos atributos organolépticos y de interés para la agroindustria, puesto que presentan un mayor contenido de compuestos solubles, sólidos totales, acidez titulable y carotenoides.

Cuando se riegan las plantas de tomate con aguas que tienen alto contenido de sales, se ha observado que mejoran algunos atributos en la calidad de los frutos,

presentando un mayor contenido de sólidos solubles (Del Amor *et al.*, 2001; Fernández-García *et al.*, 2004; Serio *et al.*, 2004; Satti-SME y López, 1994). En un estudio sobre la respuesta de las plantas al estrés osmótico (Nichols-MA *et al.*, 1995) muestran que a mayores niveles de estrés se mejora la calidad de los frutos, por lo que el índice refractométrico ($^{\circ}$ Brix) registrado fue superior a los controles. Otro experimento en el cual se sometieron plantas de tomates cv Tombolino a riegos con aguas salinizadas con NaCl y CaCl, ajustando la CE de 0.5, 4.0, 8.0 y 12 dS m⁻¹, en cada una de las cuatro cosechas que se realizaron se presentaron diferencias significativas en los sólidos solubles totales (Cucci *et al.*, 2000). Sin embargo, Mitchell *et al.*, (1991) indicaron que el estrés salino influía en el potencial osmótico y el contenido de solutos de la fruta del tomate porque redujo la acumulación de agua, mientras que la síntesis de solutos orgánicos se mantuvo.

La acumulación de biomasa seca fue mayor cuando se aplicaron las concentraciones (120%-90%-70%) de la SN en cada etapa de fructificación (Etapa1, Etapa 2, Etapa 3), además se observa un efecto negativo cuando se utilizó la concentración de 50% de la SN en la última etapa de fructificación (Figura 4).

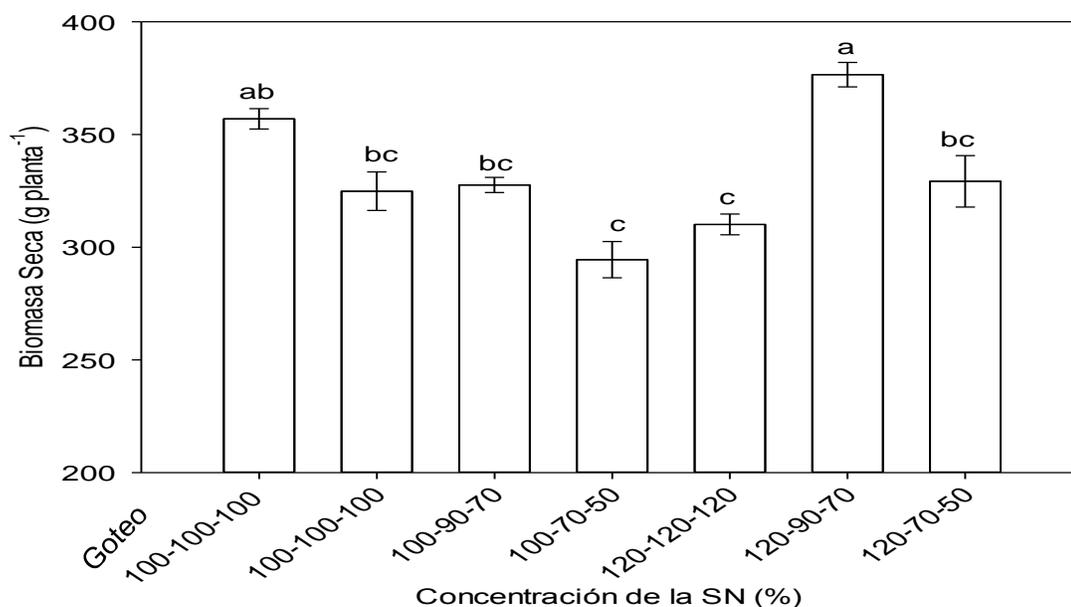


Figura 4. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la acumulación de la biomasa seca total en las plantas de tomate cv. Clermon.

En este estudio se obtuvo un efecto positivo en la acumulación de biomasa seca en el sistema de subirrigación. Lo anterior concuerda con el experimento de Santamaria *et al.* (2003) donde observaron un aumento de la materia seca de los tomates con subirrigación en comparación con el riego por goteo. Asimismo, Scholberg y Locascio (1999) observaron que el peso seco total, la fruta total, rendimiento de frutos comercializables y el peso promedio de los frutos del tomate fueron mejorados con subirrigación. El estudio de Youssef *et al.* (2005) menciona que al aumentar la CE en la solución nutritiva de 2.0 a 4.1 dS m⁻¹ mejora la calidad de la fruta especialmente con el sistema de subirrigación (mayor peso seco, azúcares solubles, almidón, carbohidratos totales y vitamina C) como resultado de la alta CE en la zona de raíces. Un efecto positivo similar en la acumulación de materia seca y los azúcares se encontró también en el tomate (Petersen *et al.*, 1998), pimiento (Navarro *et al.*, 2002) y el pepino (Sonneveld y Van der Burg, 1991).

En la CE del sustrato para las tres etapas de fructificación, se observa que hay diferencias significativas en los tres estratos: nivel superior (NS), nivel medio (NM) y nivel inferior (NI). En las tres etapas los resultados obtenidos fueron muy parecidos (Cuadro 8, Cuadro 9, Cuadro 10) al irrigar las plantas con una concentración del 120% se tienen los valores más altos de la CE del sustrato, mientras que la acumulación de sales fue menor cuando se utilizaron las concentraciones de 70% y 50% en el riego. Estos resultados concuerdan con muchos autores que mencionan que la mayor acumulación de sales es en la parte superior del sustrato. Los excesos de nutrientes no removidos por lixiviación modifican el ambiente de crecimiento de los cultivos, incrementando la CE en la solución (James y van Iersel, 2001). La acumulación de sales se encuentra principalmente en la capa superior del sustrato (Incrocci *et al.*, 2006; Montesano *et al.*, 2010). Ya que en subirrigación el flujo de agua y nutrientes en los contenedores de las plantas es de la parte inferior hacia la parte superior, la falta de lixiviación en el sistema favorece la retención de iones en el medio de crecimiento, estimulándose la formación de sales (Cox, 2001).

Cuadro 8. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la conductividad eléctrica del sustrato del nivel superior (NS), nivel medio (NM) y nivel inferior (NI) en la etapa de fructificación 1.

Sistema	Concentración de la SN (%)			Conductividad Eléctrica (dS m ⁻¹)		
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	NS	NM	NI
Goteo	100	100	100	1.3 bc	1.3 abc	1.3 bcd
Subirrigación	100	100	100	1.8 ab	1.4 ab	1.3 bc
	100	90	70	1.2 bc	1.0 bcd	0.9 cde
	100	70	50	0.9 c	0.7 d	0.7 e
	120	120	120	2.3 a	1.8 a	2.0 a
	120	90	70	1.3 bc	1.1 bcd	1.1 bcde
	120	70	50	1.6 ab	0.8 cd	0.8 de
			ANOVA		<i>P</i> <0.0257	<i>P</i> <0.0002
		CV (%)		20.98	16.16	15.52

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Duncan con $p \leq 0.05$. ANOVA: análisis de varianza. CV: Coeficiente de variación.

Cuadro 9. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la conductividad eléctrica del sustrato del nivel superior (NS), nivel medio (NM) y nivel inferior (NI) en la etapa de fructificación 2.

Sistema	Concentración de la SN (%)			Conductividad Eléctrica (dS m ⁻¹)		
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	NS	NM	NI
Goteo	100	100	100	0.9 c	1.0 bc	1.3 abc
Subirrigación	100	100	100	2.0 ab	1.8 a	1.5 ab
	100	90	70	1.5 abc	1.0 bc	1.4 ab
	100	70	50	1.2 bc	0.7 c	0.7 d
	120	120	120	2.0 ab	2.0 a	1.8 a
	120	90	70	2.4 a	1.1 bc	1.0 bcd
	120	70	50	2.5 a	0.8 bc	0.8 cd
			ANOVA		<i>P</i> <0.0257	<i>P</i> <0.0002
		CV (%)		20.98	16.16	15.52

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Duncan con $p \leq 0.05$. ANOVA: análisis de varianza. CV: Coeficiente de variación.

Cuadro 10. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la conductividad eléctrica del sustrato del nivel superior (NS), nivel medio (NM) y nivel inferior (NI) en la etapa de fructificación 3.

Sistema	Concentración de la SN (%)			Conductividad Eléctrica (dS m ⁻¹)		
	Etapa 1	Etapa 2	Etapa 3	NS	NM	NI
Goteo	100	100	100	1.4 ef	1.3 ab	1.2 bc
	100	100	100	2.7 bc	1.5 ab	1.5 b
Subirrigación	100	90	70	2.6 bcd	1.2 ab	0.7 d
	100	70	50	1.4 ef	0.7 cd	0.9 cd
	120	120	120	4.8 a	1.7 a	2.1 a
	120	90	70	2.0 cde	1.1 bc	1.1 bc
	120	70	50	1.9 cde	0.7 d	0.7 d
			ANOVA		<i>P</i> <0.0001	<i>P</i> <0.0001
		CV (%)		15.8	13.11	10.44

Medias con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de comparación múltiple de Duncan con $p \leq 0.05$. ANOVA: análisis de varianza. CV: Coeficiente de variación.

Se encontró correlación entre la CE y el rendimiento fruta en las tres etapas de fructificación (Figura 5, Figura 6, Figura 7), se observa que la CE es un factor importante que se debe considerar para obtener altos rendimientos y así mismo evitar la intoxicación de las plantas, causadas por la acumulación de sales en el sustrato tanto en subirrigación como en riego por goteo.

En la etapa 1 se puede apreciar que el rendimiento más alto se obtuvo cuando la solución nutritiva se aplicó con una CE de 0.75 dS m⁻¹ (Figura 5), en la etapa 2 a una CE de 0.8 dS m⁻¹ (Figura 6) y para la etapa 3 a una CE de 1.0 dS m⁻¹, cuando aumentan estos valores tiende a disminuir el rendimiento.

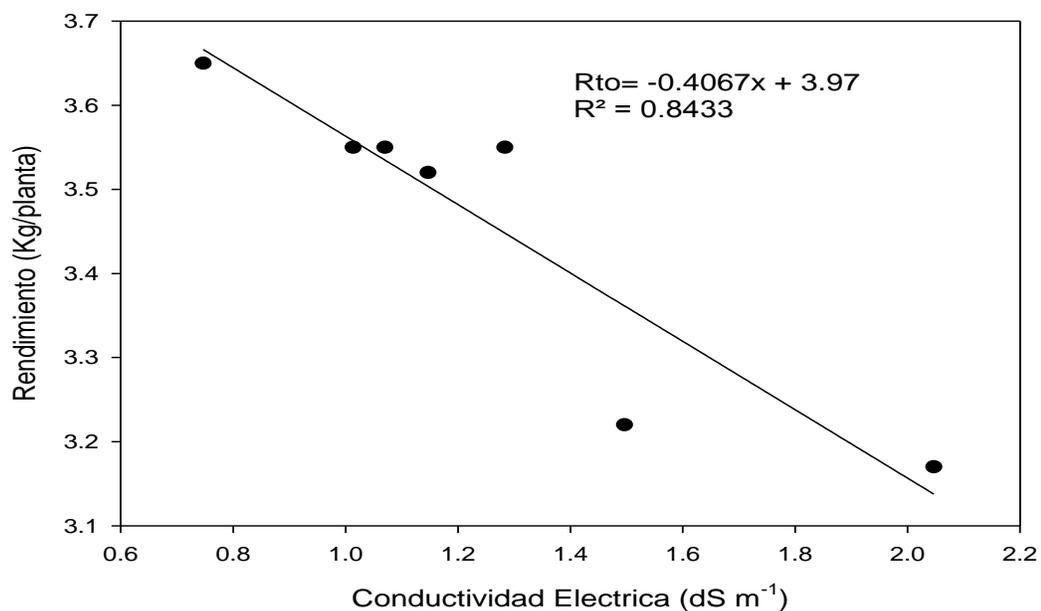


Figura 5. Correlación entre el promedio de la conductividad eléctrica de los tres estratos (NS, NM, NI) del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon en la etapa 1 de fructificación.

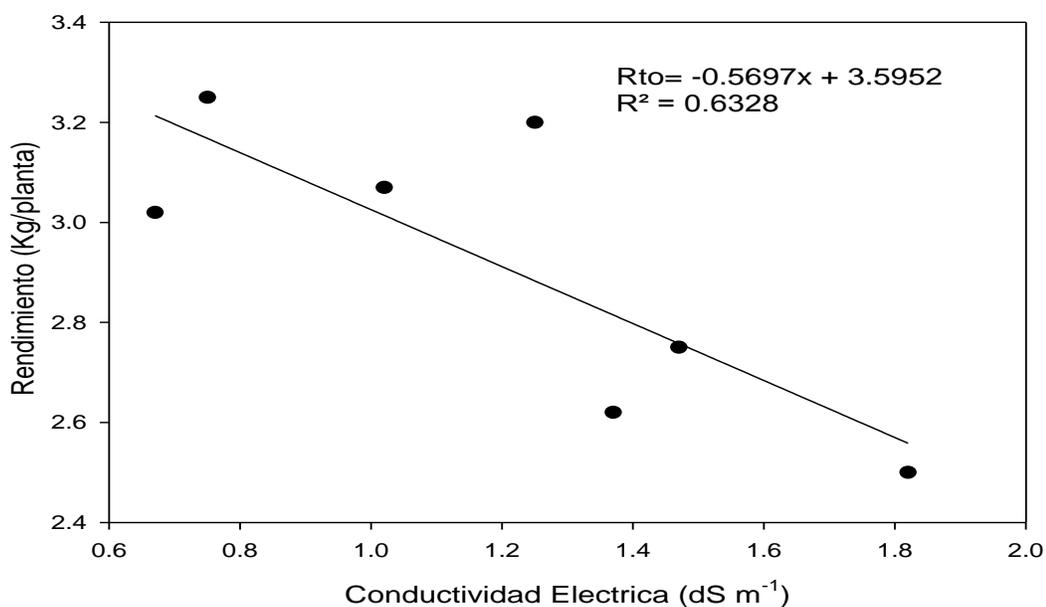


Figura 6. Correlación entre el promedio de la conductividad eléctrica de los tres estratos (NS, NM, NI) del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon en la etapa 2 de fructificación.

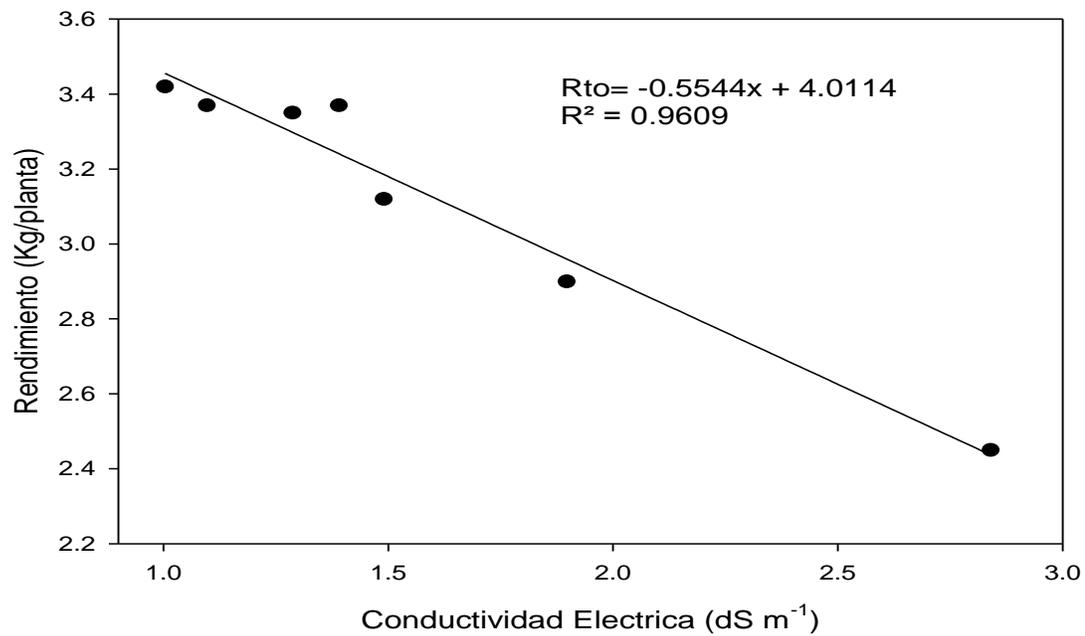


Figura 7. Correlación entre el promedio de la conductividad eléctrica de los tres estratos (NS, NM, NI) del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon en la etapa 3 de fructificación.

CONCLUSIONES

La concentración de la solución nutritiva afectó el rendimiento, biomasa y calidad de los frutos de tomate. Teniendo los mejores resultados con las soluciones de 120%-70%-50% en cada etapa de fructificación.

Con el sistema de subirrigación se obtienen los mismos rendimientos que en riego por goteo, además que tiene otras ventajas como el ahorro de agua y fertilizantes.

Si se quiere mayor calidad del fruto de tomate como mayor firmeza y sólidos solubles totales, se deben irrigar las plantas con una concentración alta de la solución nutritiva de 120% durante todo el ciclo del cultivo en subirrigación.

De acuerdo a los resultados obtenidos, es rentable cultivar tomate bajo invernadero utilizando el sistema de subirrigación. Cuando se utilice subirrigación se debe de iniciar con una concentración alta de la SN y reducirla gradualmente durante el ciclo del cultivo.

REFERENCIAS

- Adriansen, E. and P. Odgaard. 1997. Residues of paclobutrazol and uniconazole in nutrient solutions from ebb and flood irrigation of pot plants. *Sci. Hort.* 69:73–83.
- Alcántar, G; Villarreal, M; Aguilar, A. 1999. Tomato growth (*Lycopersicon esculentum* Mill), programs. Proc. Int. and nutrient utilization in response to varying fertigation. Sym. Growing Media and Hydroponics. *Acta Horticulturae* 481:385-391.
- Argo, R.W., Biernbaum, A.J., 1996. Availability and persistence of macronutrients from lime and per plant nutrient charge fertilizers in peat based root media. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 121, 453–460.
- Atmatjidou, V.P., R.P. Fynn, and H.A.J. Hoitink. 1991. Dissemination and transmission of *Xanthomonas campestris* pv. *begoniae* in an ebb and flow irrigation system. *Plant Dis.* 75:1261–1265.
- Bailey, D.A., W.C. Fonteno, and P.V. Nelson. 2002. Undated. Greenhouse Substrates and Fertilization. 4 Dec. <www.ces.ncsu.edu/depts/hort/floriculture/plugs/ghsubfert.pdf>.
- Barreto, C.V.G., R.S. Ferrarezi, F.B. Arruda, and R. Testezlaf. 2015. Growth and physiological responses of rang pur lime seedlings irrigated by a prototype subirrigation tray. *HortScience* 50:123–129.
- Barrón, A.; Sifuentes O., E. L.; Hernández T., J. M. 2002. Apertura económica en las frutas y hortalizas de exportación en México: un acercamiento al estudio de la segmentación de los mercados de fuerza de trabajo. Universidad Autónoma de Nayarit. Nayarit, México. 232 p.
- Bauerle, B. 1990. Keep an open mind about closed loop. *Greenhouse Grower* 8:53–58.
- Beytes, C. 2011. A New Slant on Subirrigation. 24 July 2011. <<http://www.ballpublishing.com/growertalks/ViewArticle.aspx?articleid=18504>>.
- Biernbaum, J.A. 1988. Evaluation of subirrigation systems for interior plants. *HortScience* 23:752.
- Biernbaum, J.A. 1990. Get ready for subirrigation. *Greenhouse Grower* 8:130–133.

- Bumgarner, M.L., K.F. Salifu, and D.F. Jacobs. 2008. Subirrigation of *Quercus rubra* seedlings: Nursery stock quality, media chemistry, and early field performance. *HortScience* 43:2179–2185.
- Calvin L., R Cook, and W Amber. 2005. North America greenhouse tomatoes emerge as a major make. USDA. Economic Research Service 1(3):20-27.
- Caron, J.E. D. E. Beeson, and R. Boudreau. 2005. Defining critical capillary rise properties for growing media in nurseries. *Soil Sci. Soc. Amer. J.* 69:794–806.
- Carvajal, M.; Cerda, A.; Martínez, V. 2006. Modification of the response of saline stress tomato plants by the correction of cations disorders. *Plant-Growth-Regul.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers. 30(1): 37- 47.
- Chen X M, Cai H J, Wang J. 2006. Yield and quality of tomato and cucumber under non-pressure subsurface drip irrigation at crop root zone. *Acta Pedologica Sinica*, 43, 486-492. (In Chinese).
- Cook, R; Calvin, L. 2005. Greenhouse tomatoes change the dynamics of the North American Fresh Tomato Industry. USDA. Economic Research Report N°2. 81 p.
- Costa, M; Heuvelink, E. 2006. Today's world wide tomato production. *Fruit & Veg Tech: International Suppliers Guide 2007*. Amsterdam. p. 14-16.
- Cox, A. D. 2001. Growth, nutrient content and growth medium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigated or from overhead. *J. Plant Nutr.* 24 (3): 523-533.
- Cucci, G.; Cantore, V.; Boari, F.; De Caro, A. 2000. Water salinity and influence of SAR on yield and quality parameters in tomato. *Acta Hort.* 537: 663-670.
- David H, Both A J, Catalin M, Logan L, Tom G, Tug-Ching L, Harry J, James C. 2003. Manipulation of tomato fruit quality through temperature perturbations in controlled environments. *American Society of Agricultural Engineers*, Paper number: 03412.
- Davis, A.S., D.F. Jacobs, R.P. Overton, and R.K. Dumroese. 2008. Influence of irrigation method and container type on northern red oak seedling growth and media electrical conductivity. *Native Plants J.* 9:4–12.
- Davis, A.S., J.R. Pinto, and D.F. Jacobs. 2011. Early field performance of *Acacia koa* seedlings grown under subirrigation and overhead irrigation. *Native Plants J.* 12:94–99.

- Del Amor, F. M.; Martínez, V.; Cerda, A. 2001. Salt tolerance of tomato plants as affected by stage of plant development. *HortScience*. 36 (7):1260-1263.
- Dorais, M. y Papadopoulos, A.P. 2000. Greenhouse tomato fruit quality. *Hort. Reviews* 29: 239-319.
- Dumroese, R.K., D.F. Jacobs, A.S. Davis, J.R. Pinto, and T.D. Landis. 2007. An Introduction to Subirrigation in Forest and Conservation Nurseries and Some Preliminary Results of Demonstrations. U.S. Dept. Agr. For. Serv. Proc. RMRSP- 50:20–26.
- Dumroese, R.K., J.R. Pinto, D.F. Jacobs, A.S. Davis, and B. Horiuchi. 2006. Subirrigation reduces water use, nitrogen loss, and moss growth in a container nursery. *Native Plants J.* 7:253.
- Durdane, Y.; Naif, G.; Yusuf, Y.; Mine, A. and Perihan, C. 2011. Effect of different organic fertilizers on yield and fruit quality of indeterminate tomato (*Lycopersicon esculentum*). *Scientific Research and Essays* 6(17):3623-3628. Available online at <http://www.academicjournals.org/SRE>. (Consultado mayo, 2013).
- El Youssfi, L., Choukr-Allah, R., Santamaria, P., Montesano, F., 2012. Soilless closed cycle production of green bean (*Phaseolus vulgaris L.*) using subirrigation: effects on yield, fruit quality, substrate and nutrient solution parameters. *Acta Hort.*938, 383–390.
- Elia, A., Santamaria, P., Parente, A., Serio, F., 2003. Some aspects of the trough bench system and its performance in cherry tomato production. *Acta Hort.* 614,161–166.
- Elliott, G.C. 1990. Reduce water and fertilizer with ebb and flow. *Greenhouse Grower* 8:70–73.
- Elliott, G.C. 1992. A pulsed subirrigation system for small plots. *HortScience* 27:71– 72.
- Elmer, W.H., M.P.N. Gent, and R.J. McAvoy. 2012. Partial saturation under ebb and flow irrigation suppresses pythium root rot of ornamentals. *Crop*
- Ersin, P. Halil, D. and Fedai, E. 2010. Yield and quality criteria in organically and conventionally grown tomatoes in Turkey. *Sci. Agric.* 67(4):424-429.
- Espinoza, C. 2004. Memorias del IV Simposio Nacional de Horticultura. Invernaderos: Diseño, Manejo y Producción. Torreón, Coah. México. Octubre 13,14 y 15 del 2004 http://www.uaaan.mx/academic/Horticultura/Memhort04/03Prod_tomate_invernadero.pdf. Página visitada el 10 diciembre 2009.

- Faiz-Sma; Ullah-Sm; Hussain-Akma; Kamalattmm; Ardus-Sattar. 1994. Yield, mineral contents and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum*) under salt stress in a saline soil. *Current-Agriculture*. 18 (1-2): 9-12.
- FAO. 2011. Final 2009 Data [en línea]. México [fecha de consulta: 6 de noviembre del 2011]. <http://faostat.fao.org>
- Fernández-García, N.; Martínez, V.; Cerda, A.; Carvajal, M. 2004. Fruit quality of grafted tomato plants grown under saline conditions. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 79 (6): 995-1001.
- Ferrarezi, R.S., G. M. Weaver, M.W. van Iersel, and R. Testezlaf. 2015c. Subirrigation: Historical Overview, Challenges, and Future Prospects. *HorTechnology* 25:262– 276.
- Ferrarezi, R.S., M.D. Ribeiro, M.W. van Iersel, and R. Testezlaf. 2013. Subirrigation controlled by capacitance sensors for citrus rootstock production. *HortScience* 48:S142 (abstr.).
- Ferrarezi, R.S., M.W. van Iersel, and R. Testezlaf. 2014. Subirrigation automated by capacitance sensors for salvia production. *Horticultura Brasileira* 32:314–320.
- Ferrarezi, R.S., M.W. van Iersel, and R. Testezlaf. 2015a. Monitoring and controlling ebb-and-flow subirrigation with soil moisture sensors. *HortScience* 50:447– 453.
- Ferrarezi, R.S., M.W. van Iersel, and R. Testezlaf. 2015b. Plant growth response of subirrigated salvia 'Vista Red' to increasing water heights at two substrates. *Horticultura Brasileira*.
- Fouss, J.L., Skaggs, R.W., Fausey, N.R., Pitts, D.J., 2004. Implementing controlled drainage technology to reduce nitrate loss in drainage water. In: Cooke, R.A. (Ed.), *Drainage VIII, Proceedings of the 8th International Drainage Symposium*. Sacramento, CA, U.S.A., 21–24 March, pp. 14–16.
- Gallardo, M., Thompson, R.B., Rodríguez, J.S., Rodríguez, F., Fernandez, M.D., Sánchez, J.A., Magán, J.J., 2009. Simulation of transpiration, drainage, N uptake, nitrate leaching, and N uptake concentration in tomato grown in open substrate. *Agric.Water Manag.* 96, 1773–1784.
- García-Santiago, J.C, L.A. Valdez-Aguilar, A. Hernández-Pérez, A.D. Cartmill, J. Valenzuela-García. 2017. Depth and Duration of Flooding Affect Growth, Yield and Mineral Nutrition of Subirrigated Bell Pepper. *HortScience*. 52:295-300.

- Garibaldi, A., A. Minuto, V. Grasso, and M.L. Gullino. 2003. Application of selected antagonistic strains against *Phytophthora cryptogea* on gerbera in closed soilless systems with disinfection by slow sand filtration. *Crop Prot.* 22:1053–1061.
- Gent, M.P.N. and R.J. McAvoy. 2011. Water and nutrient uptake and use efficiency with partial saturation ebb and flow watering. *HortScience* 46:791–798.
- Grainferberg, A; Giustiniani, L; Barsanti, L; Botrini, L. 2000. Effect of salt-stress on tomato fruit quality. *Colture-Protette.* 29 (6): 71-80.
- Grattan, S.R. y Grieve, C.M. 1999. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Scientia Hort.* 78: 127-157.
- Green, W.J. and E. Green. 1895. Subirrigation in the greenhouse. Ohio Agr. Expt. Sta. Wooster, OH, Bul. 61.
- Hanan, J. J., 1998. Water. In: Greenhouses Advanced Technology for Protected Horticulture, CRC press, LLC, USA, pp. 271–385.
- Imas, P. 2009. Manejo de nutrientes por fertiriego en sistemas frutihortícolas (en línea). Consultado 16 jul. 2009. Disponible en <http://www.itescam.edu.mx/principal/sylabus/fpdb/recursos/r16614.DOC>.
- Incrocci, L., F. Malorgio, A. Della Bartola, and A. Pardossi. 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Sci. Hort.* 107:365–372.
- Jacobsen, S.E., Jensen, C.R., Liu, F., 2012. Improving crop production in the arid Mediterranean climate. *Field Crops Res.* 128, 34–47.
- James, E. C., and M. W. Van Iersel. 2001. Fertilizer concentration affects growth and flowering of subirrigated petunias and begonias. *HortScience.* 36(1): 40-44.
- Jensen, M. 2002. Agricultura en ambiente controlado en desiertos, trópicos y regiones templadas-una revisión mundial, curso internacional de invernaderos 2002, Universidad Autónoma Chapingo.
- Johnstone, G.R. 1950. Simplified equipment for subirrigation experiments in plant nutrition. *Plant Physiol.* 25:185–186.
- Kang, J.G. and M.W. van Iersel. 2001. Interactions between temperature and fertilizer concentration affect growth of subirrigated petunias. *J. Plant Nutr.* 24: 753–765.

- Kang, J.G. and M.W. van Iersel. 2002. Nutrient solution concentration affects growth of subirrigated bedding plants. *J. Plant Nutr.* 25:387–403.
- Kang, J.G. and M.W. van Iersel. 2004. Nutrient solution concentration affects shoot: root ratio, leaf area ratio, and growth of subirrigated salvia (*Salvia splendens*). *HortScience* 39:49–54.
- Kang, J.G., M.W. van Iersel, and K.S. Nemali. 2004. Fertilizer concentration and irrigation method affect growth and fruiting of ornamental pepper. *J. Plant Nutr.* 27:867–884.
- Kent, M.W. and D.W. Reed. 1996. Nitrogen nutrition of New Guinea impatiens 'Barbados' and spathiphyllum 'Petite' in a subirrigation system. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121:816–819.
- Klock-Moore, K. A., and T. K. Broschat. 2001. Effect of four growing substrates on growth of ornamental plants in two irrigation system. *HortTechnology*: 11(3): 456-460.
- Koeser, A., G. Kling, C. Miller, and D. Warnock. 2013. Compatibility of biocontainers in commercial greenhouse production. *HortTechnology* 23:173–176.
- Majsztrik, J.C., A.G. Ristvey, and J.D. Lea-Cox. 2011. Water and nutrient management in the production of container grown ornamentals. *Hort. Rev.* 38: 253–296.
- Martínez, F., S. Castillo, E. Carmona, and M. Aviles. 2010. Dissemination of *Phytophthora cactorum*, cause of crown rot in strawberry, in open and closed soilless growing systems and the potential for control using slow sand filtration. *Sci. Hort.* 125:756–760.
- Martinez, H. and J. Silva Filho. 2006. Introduction to hydroponics plant cultivation. 3rd ed. Univ. Vicxosa, Vicxosa, Brazil.
- Massa, D., Incrocci, L., Maggini, R., Bibbiani, C., Carmassi, G., Malorgio, F., Pardossi, A., 2011. Simulation of crop water and mineral relations in greenhouse soil less culture. *Environ. Model. Softw.* 26, 711–722.
- Melo, J.C.F., E.S. Gervasio, and R.A. Armindo. 2013. Automation system for the subirrigation management in greenhouse. *Irriga Brazilian J. Irr. Drainage* 18:337–350.
- Million, J.B., J.E. Barrett, T.A. Nell, and D.G. Clark. 1999. Inhibiting growth of flowering crops with ancymidol and paclobutrazol in subirrigation water. *HortScience* 34:1103–1105.

- Million, J.B., J.E. Barrett, T.A. Nell, and D.G. Clark. 2002. One-time vs. continuous application of paclobutrazol in subirrigation water for the production of bedding plants. *HortScience* 37:345–347.
- Mitchell, J. P.; Shennan, C.; Grattan, R. S.; May, M. D. 1991. Tomato fruit yield and quality under water deficit and salinity. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116: 215-221.
- Mojid, M.A., Biswas, S.K., Wyseure, G.C.L., 2012. Interaction effects of irrigation by municipal wastewater and inorganic fertilizers on wheat cultivation in Bangladesh. *Field Crops Res.* 134, 200–207.
- Montesano, F., Parente, A., Santamaria, P., 2010. Closed cycle subirrigation with low concentration nutrient solution can be used for soilless tomato production in saline conditions. *Sci. Hortic.* 124 (3), 338–344.
- Morvant, J.K., J.M. Dole, and E. Allen. 1997. Irrigation systems alter distribution of roots, soluble salts, nitrogen, and pH in the root medium. *HortTechnology* 7: 156–160.
- Navarro, J.M., Garrido, C., Carvajal, M., Martinez, V., 2002. Yield and fruit quality of pepper plants under sulphate and chloride salinity. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 77 (1), 52–57.
- Nelson, P.V. 2003. *Greenhouse operation and management*. 6th ed. Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ.
- Nichols, Ma; Fadallan, Ef; Fisher, Kj; Morganlm; Gerasopoulos, D (Ed.); Olympios-Ch (Ed.); Passam-H. 1995. The effect of osmotic stress on the yield and quality of tomatoes. *Acta- Horticulturae.* 379: 105-111.
- Oh, M.M., Y.Y. Cho, K.S. Kim, and J.E. Son. 2007. Comparisons of water content of growing media and growth of potted kalanchoe among nutrient-flow wick culture and other irrigation systems. *HortTechnology* 17:62–66.
- Papadopoulos, T. 2004. “Manejo del ambiente y los factores nutricionales para la producción de tomate de alta calidad en invernaderos”. *Memorias del Congreso Internacional de Hidroponía 2004*. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chih. México.
- Payne, R.N. and S.M. Adam. 1980. Influence of rate and placement of slow release fertilizer on pot plants of African violet grown with capillary mat watering. *HortScience* 15:607–609.
- Peña C., J. J.; Grajeda Cabrera, O. A. y Vera Núñez, J. A. 2001. Manejo de los fertilizantes nitrogenados en México: uso de las técnicas isotópicas (15N). *Terra Latinoamericana* 20:51-56.

- Perea E. 2011. Alto crecimiento de agricultura protegida; hay desorden y abandono regional. <http://imagenagropecuaria.com/articulos>. (Consultado octubre 11, 2012). Prot. 33:29–33.
- Pérez A. F., Balibrea-Me; Santa-Cruz-A; Estan-Mt. 1996. Agronomical and physiological characterization of salinity tolerance in a commercial tomato hybrid. *Plant-and-Soil*. 180 (2): 251-257.
- Petersen, K.K., Willumsen, J., Kaack, K., 1998. Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 73 (2), 205–215.
- Reed, D.W., 1996. Closed production systems for containerized crops. In: Reed, D.W. (Ed.), *Water, Media and Nutrition for Greenhouse Crops*. Ball Publishing, Inc, Batavia Ill, pp. 221–245.
- Rinaldi, M.; Convertini, G.; and Elia, A. 2007. Organic and mineral nitrogen fertilization for processing tomato in Southern Italy. *Acta Horticulturae* 758:241-248.
- Rodríguez, D. N.; Cano, R. P.; Favela, Ch. E.; Palomino, G. A. y De Paúl, A. V. 2007. Vermicomposta como alternativa orgánica en la producción de tomate en invernadero. *Revista Chapingo. Serie Horticultura* 13(2):185-192.
- Rodríguez, G.A. 2006. Injerto y composta para la producción intensiva de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) en condiciones de suelo y cultivo sin suelo en invernadero. Tesis de doctor en ciencias. Colegio de postgraduados. Montecillos, México.
- Rodríguez, S. 2003. Forraje verde hidropónico. Memorias del Congreso Internacional de Hidroponía 2003. Universidad Autónoma de Chihuahua. Chihuahua, México.
- Roeber, R. U. 2010. Environmentally sound plant production by means of soilless cultivation. *Comunicata Scientiae* 1:1–8.
- Rouphael, Y. and G. Colla. 2009. The influence of drip irrigation or subirrigation on zucchini squash grown in closed-loop substrate culture with high and low nutrient solution concentrations. *HortScience* 44:306–311.
- Rouphael, Y., Colla, G., 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Sci. Hortic.* 105 (2), 177–195.
- Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea, A. Battistelli, and G. Colla. 2006. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini

- squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agr. Water Mgt.* 82:99– 117.
- Rouphael, Y., M. Cardarelli, E. Rea, and G. Colla. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production under various conditions of radiation and temperature. *Sci. Hort.* 118:328–337.
- Runia, W.T. 1995. A review of possibilities for disinfection of recirculation water from soilless cultures. *Acta Hort.* 382:221–229.
- Sanogo, S. and G.W. Moorman. 1993. Transmission and control of *Pythium aphanidermatum* in an ebb-and-flow subirrigation system. *Plant Dis.* 77:287– 290.
- Santamaria, P., Campanile, G., Parente, A., Elia, A., 2003. Subirrigation vs drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. *J. Hortic.Sci. Biotechnol.* 78 (3), 290–296.
- Satti-Sme; López, M. 1994. Effect of increasing potassium levels for alleviating sodium chloride stress on the growth and yield of tomato. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 25 (15-16): 2807-2823.
- Schmal, J.L., R.K. Dumroese, A.S. Davis, J.R. Pinto, and D.F. Jacobs. 2011. Subirrigation for production of native plants in nurseries concepts, current knowledge, and implementation. *Native Plants J.* 12:81–93.
- Scholberg, J.M.S., Locascio, S.J., 1999. Growth response of snap bean and tomato as affected by salinity and irrigation method. *HortScience* 34 (2), 259–264.
- Serio, F. G, L. Caretto, S. L. Lucía, S. Pietro. 2004. Influence of an increased NaCl concentration on yield and quality of cherry tomato grown in posidona (*Posidonia oceanica* L) Delile). 14: 1885-1890.
- Sharma, B.R., Minhas, P.S., 2005. Strategies for managing saline/alkali waters for sustainable agricultural production in South Asia. *Agric. Water Manage.* 78 (1-2), 136–151.
- Siddiqi, M.Y., Kronzucker, H.J., Britto, D.T., Glass, A.D.M., 1998. Growth of a tomato crop at reduced nutrient concentrations as a strategy to limit eutrophication. *J. Plant Nutr.* 21, 1879–1895.
- Snyder, RG. 2006. Guía del cultivo del tomate en invernaderos. Mississippi, US. Servicio de Extensión de la Universidad Estatal de Mississippi. USA. Publicación N° 2419. 24 p.

- Sonneveld, C., Van der Burg, M.M., 1991. Sodium chloride salinity in fruit vegetable crops in soilless culture. *Neth. J. Agric. Sci.* 39, 115–122.
- Stanghellini, M.E., C.J. Nielsen, D.H. Kim, S.L. Rasmussen, and P.A. Rorbaugh. 2000. Influence of sub-versus top-irrigation and surfactants in a recirculating system on disease incidence caused by *Phytophthora* • June 2015 25(3) 275 spp. in potted pepper plants. *Plant Dis.* 84:1147–1150.
- Stewart-Wade, S.M. 2011. Plant pathogens in recycled irrigation water in commercial plant nurseries and greenhouses: Their detection and management. *Irrig. Sci.* 29:267–297.
- Thinggaard, K. and A.L. Middelboe. 1989. *Phytophthora* and *Pythium* in pot plant cultures grown on ebb and flow bench with recirculating nutrient solution. *J. Phytopathol.* 125:343–352.
- Treder, J., Matysiak, B., Nowak, J.S., Nowak, J., 1999. The effects of potting media and concentration of nutrient solution on growth and nutrient content of three *Ficus* species cultivated on Ebb-and-flow benches. *Acta Hort.* 481, 433–439.
- U.S. Department of Agriculture. 2009. Census of horticultural specialties. U.S. Dept. Agr. Natl. Agr. Stat. Serv., Washington, DC.
- Uva, W.F.L., T.C. Weiler, R.A. Milligan, L.D. Albright, and D.A. Haith. 2000. Risk analysis of adopting zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations: A Monte Carlo simulation approach. *Agr. Resource Econ. Rev.* 29:229–239.
- Uva, W.F.L., T.C. Weiler, and R.A. Milligan. 1998. A survey on the planning and adoption of zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations. *HortScience* 36:167–173.
- Uva, W.F.L., T.C. Weiler, and R.A. Milligan. 2001. Economic analysis of adopting zero runoff subirrigation in greenhouse operations in the northeast and north central United States. *HortScience* 36:167–173.
- Vallejo, FA. 1999. Mejoramiento genético y producción de tomate en Colombia. Universidad Nacional de Colombia. Cali, Colombia. 216 p.
- van der Gaag, D.J., A. Keressies, and C. Lanser. 2001. Spread of *phytophthora* root and crown rot in saintpaulia, gerbera and spathiphyllum pot plants in ebb-and-flow systems. *Eur. J. Plant Pathol.* 107:535– 542.
- van Iersel, M.W. 1999. Fertilizer concentration affects growth and nutrient composition of subirrigated pansies. *HortScience* 34:660–663.

- van Iersel, M.W. and K.S. Nemali. 2004. Drought stress can produce small but not compact marigolds. *HortScience* 39:1298– 1301.
- van Iersel, M.W., R.D. Oetting, and D.B. Hall. 2000. Imidacloprid applications by subirrigation for control of silver leaf whitefly (Homoptera: Aleyrodidae) on poinsettia. *J. Econ. Entomol.* 93:813–819.
- van Iersel, M.W., R.D. Oetting, D.B. Hall, and J.G. Kang. 2001. Application technique and irrigation method affect imidacloprid control of silver leaf whiteflies (Homoptera: Aleyrodidae) on poinsettias. *J. Econ. Entomol.* 94:666–672.
- Van Os, E.A., 1999. Closed soilless growing systems: a sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. *Water Sci. Technol.* 39, 105–112.
- Van Os, E.A., 2001. New developments in recirculation systems and disinfection methods for greenhouse crops. *Hortic. Eng.* 16 (2), 2–5.
- Van Os, E.A., Gieling, Th.H. Ruijs, M.N.A., 2002. Equipment for hydroponic installations. In: Savvas, D., Passam, H.C. (Eds.), *Hydroponic Production of Vegetables and Ornamentals*. Embryo Publications, Athens, Greece, pp. 103–141.
- Villarreal, R. M.; Hernández, V. S.; Sánchez, P. P.; García, E. R.; Osuna, E. T.; Parra, T. S. y Armenta, B. A. D. 2006. Efecto de la cobertura del suelo con leguminosas en rendimiento y calidad del tomate. *Terra Latinoamericana.* 24(4):549-556.
- Watanabe, H., K. Kageyama, Y. Taguchi, H. Horinouchi, and M. Hyakumachi. 2008. Bait method to detect pythium species that grow at high temperatures in hydroponic solutions. *J. Gen. Plant Pathol.* 74:417–424.
- Weestrom, I., Messing, I., 2007. Effects of controlled drainage on N and P losses and N dynamics in a loamy sand with spring crops. *Agric. Water Manage.* 87 (3), 229–240.
- Withrow, R.B. and J.P. Biebel. 1937. Nutrient solution methods of greenhouse crop production. *Purdue Univ. Agr. Expt. Sta. Circ.* 232.
- Wohanka, W., 2000. Preventing disease in closed irrigation system. *Flower Technol.* 3, 17–20.
- Yeh, D.M., Hsu, P.H., Atherton, J.G., 2004. Growth and flowering response of *Canna generalis* to nitrogen supplied to the growing medium via top- or sub-irrigation. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 79 (4), 511–514.

- Youssef R., Mariateresa C., Elvira R., Alberto B., Giuseppe C., 2005. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and non-saline nutrient solutions. *Agricultural Water Management* 82, 99–117.
- Zheng, Y., T.H. Graham, S. Richard, and M. Dixon. 2004. Potted gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions. *HortScience* 39:1283–1286.