

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA



Respuesta del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la Concentración de la Solución Nutritiva en un Sistema de Subirrigación

Por:

SANTOS DOMINGO ATILANO ATILANO

TESIS

Presentada como requisito parcial para obtener el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Saltillo, Coahuila, México

Octubre 2019

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

DIVISIÓN DE AGRONOMÍA

DEPARTAMENTO DE HORTICULTURA

Respuesta del Tomate (*Solanum lycopersicum* L.) a la Concentración de la Solución Nutritiva en un Sistema de Subirrigación

Por:


SANTOS DOMINGO ATILANO ATILANO

TESIS


Presentada como requisito parcial para obtener el título de

INGENIERO AGRÓNOMO EN HORTICULTURA

Aprobada por el Comité de Asesoría:



Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar
Asesor Principal



Dr. José Alfredo Hernández Maruri
Coasesor

Dra. Daniela Alvarado Camarillo
Coasesor

Dr. José Antonio González Fuentes
Coordinador de la División de Agronomía

Saltillo, Coahuila, México

Octubre 2019

AGRADECIMIENTOS

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

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** por darme la oportunidad de realizar mis estudios de licenciatura, por todos los conocimientos adquiridos, por acogerme y cuidarme durante mi estancia en la universidad, y por todos sus servicios que me brindo durante mi estancia. **Buitres por siempre.**

Al **Dr. Luis Alonso Valdez Aguilar** por haber confiado en mí y haberme aceptado en su proyecto para la elaboración de mi tesis, por su apoyo durante su realización así como también su tiempo, dedicación y paciencia para la revisión del trabajo.

A la **Dra. Daniela Alvarado Camarillo** por su colaboración y disponibilidad para la revisión del trabajo.

Al **Dr. José Alfredo Hernández Maruri** por su colaboración y disponibilidad para la revisión del trabajo.

Al **M.c. Erick Alonso Rodríguez Álvarez** por su apoyo y colaboración en el establecimiento del experimento.

A mis amigos **Ricardo Baeza, José Gonzales, José Eduardo Duarte, Fernando Camarillo, Iván Rojas, Magdalena Cervantes, Guadalupe Ana García, Magdaleno Montalvo** gracias por su amistad.

DEDICATORIAS

Con todo el cariño y amor a mis padres: *Crecencia Atilano Atilano y Silvestre Atilano Osorio* por darme la vida, por su inmenso amor y cariño, su apoyo incondicional, por cuidarme y protegerme, por enseñarme lo bueno y lo malo de la vida, por enseñarme a ser mejor persona cada día con sus grandes y sabios consejos, por estar siempre ahí cuando los necesito, a ustedes que siempre confiaron en mí, que me enseñaron que para tener algo en esta vida siempre hay que pelear por ello, hoy cumplí una meta más, este logro es de ustedes y gracias a ustedes, los amo tanto y les estaré eternamente agradecido.

A mis hermanos *Cipriano, Maricela, Abelardo, Ramulfa* por su cariño y apoyo que me han brindado 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.

A mi Novia. *Vianey Montalvo Anselmo* por haberme motivado y apoyado en todo momento desde que llegaste a mi vida fuiste eres y serás una persona muy importante en mi vida gracias por estar conmigo en todo momento te amo.

INDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS	I
DEDICATORIAS	II
INDICE GENERAL	III
INDICE DE FIGURAS	VI
INDICE DE CUADROS	VII
RESUMEN	VIII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Justificación	3
1.2. Objetivos	3
1.2.1. Objetivo general	3
1.2.2. Objetivos específicos.....	3
1.3. Hipótesis	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. El Tomate y su Origen	4
2.2. Agricultura Protegida.....	4
2.3. Producción de Tomate Bajo Invernadero.....	5
2.4. Hidroponía	5
2.5. Importancia del Nitrógeno.....	6
2.6. Importancia del Calcio.....	7
2.7. Solución Nutritiva	7
2.7.1. pH en la Solución Nutritiva	8
2.7.2. Conductividad Eléctrica en la Solución Nutritiva	8
2.8. Problemas de Contaminación y Uso del Agua en la Agricultura	9

2.9.	Subirrigacion	10
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	12
3.1.	Localización del sitio experimental.....	12
3.2.	Material Vegetal	12
3.3.	Establecimiento y Conducción del Experimento.	12
3.3.1.	Siembra	12
3.3.2.	Trasplante	12
3.3.3.	Riego y Fertilización	12
3.3.4.	Tutoreo	13
3.3.5.	Podas	13
3.4.	Descripción de los Tratamientos.....	14
3.5.	Variables Evaluadas.	15
3.6.	Diseño del Experimento	16
IV.	RESULTADOS	17
4.1.	Rendimiento.....	17
4.2.	SST y Firmeza	18
4.3.	Peso fresco	19
4.4.	Propiedades químicas del sustrato.	21
4.4.1.	pH.....	21
4.4.2.	Conductividad eléctrica	21
4.4.3.	Sodio	24
4.4.4.	Calcio	24
4.4.5.	Nitratos	25
V.	DISCUSIÓN	28

VI.	CONCLUSIONES.....	32
VII.	LITERATURA CITADA.....	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el rendimiento del tomate cv. Clermon.	18
Figura 2. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la acumulación del peso fresco total en las plantas de tomate cv. Clermon.	21
Figura 3. Correlación entre pH del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon.	23
Figura 4. Correlación entre la conductividad eléctrica del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon.	24
Figura 5. Correlación entre el Calcio total del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon.	26
Figura 6. Correlación entre el Nitrato total del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon.	27

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Solución nutritiva basada en solución de Steiner empleada para el cultivo de tomate, en el sistema de cultivo sin suelo para subirrigación y riego por goteo.	13
Cuadro 2. Concentración de la Solución nutritiva (%) Steiner, en crecimiento vegetativo y las etapas de fructificación del cultivo de tomate.	14
Cuadro 3. Efecto de la concentración de la solución SN nutritiva en el rendimiento del tomate cv. Clermon.	17
Cuadro 4. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en los sólidos solubles totales (SST) y la firmeza de los frutos de tomate cv. Clermon.	19
Cuadro 5. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el peso fresco de la raíz, peso fresco del tallo y peso fresco de la hoja del tomate cv. Clermon.	20
Cuadro 6. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la CE y pH del sustrato al final del ciclo del cultivo de tomate cv. Clermon.....	22
Cuadro 7. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la concentración total de Na, Ca y NO ₃ al final del ciclo del cultivo de tomate cv. Clermon.	25

RESUMEN

Los sistemas de recirculación en cultivo sin suelo están cobrando fuerza debido al ahorro de agua y fertilizantes. La subirrigación es una técnica de riego poco conocida en cultivos sin suelo, es uno de los sistemas hidropónicos cerrados en donde la solución nutritiva (SN) se aplica en contenedores y por acción capilar la planta toma los requerimientos necesarios para su desarrollo. De igual manera la SN es recuperada para usarse nuevamente con lo que éste sistema se convierte en uno de recirculación de la SN. Sin embargo, la característica de esta técnica es la acumulación de sales o fertilizantes en la parte superior del contenedor siendo esto un asunto de importancia sobre todo para los cultivos de ciclo largo como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Por lo que el objetivo de éste estudio fue evaluar el desarrollo de la planta de tomate y su producción aplicando diferentes niveles de concentración en la SN a diferentes etapas de fructificación en éste sistema de subirrigación. Se aplicaron 10 tratamientos, teniendo como testigo a la solución nutritiva Steiner al 100%, mientras que los tratamientos fueron la SN a diferentes concentraciones y en tres etapas diferentes. El diseño que se utilizó para el análisis de los datos fue bloques al azar con 4 repeticiones en cada tratamiento y 2 plantas por repetición. El rendimiento para éste cultivo y su producción bajo el sistema de subirrigación se recomienda iniciar con concentraciones altas (120%) 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, sistemas de recirculación, hortalizas de invernadero, hidroponía.

I. INTRODUCCIÓN

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) representa la segunda hortaliza más cultivada a nivel mundial, con una producción aproximada de 150 millones de toneladas en 2009 (FAO, 2011), lo cual es resultado de su alta demanda para la preparación de distintos tipos de alimentos en casi todos los países del mundo. La producción y el consumo mundial de tomate, así como el consumo promedio per cápita, registran una tendencia al alza durante la década reciente. China es el más importante productor y consumidor mundial, Estados Unidos es el principal importador, y México el principal exportador de esta hortaliza (FIRA, 2017).

La producción de esta hortaliza en México se realiza en casi todos sus estados, pero sólo en cinco (Sinaloa, San Luis Potosí, Michoacán, Jalisco y Zacatecas) se concentra el 56 % de la producción total, donde destaca Sinaloa como el principal productor. En el año 2017 la producción nacional fue de 3,469,707.28 t, con una superficie cosechada de 50,225.83 ha y rendimiento promedio de 69.08 t ha⁻¹ (SIAP, 2018).

En México, la producción de tomate creció a una tasa promedio anual de 4.8% entre 2006 y 2016, para ubicarse en un máximo histórico de 3.3 millones de toneladas. Durante ese período, la superficie total destinada a este cultivo disminuyó a una tasa promedio anual de 2.5%. En el cultivo a campo abierto la superficie sembrada se redujo a una tasa promedio anual de 5.6% entre 2006 y 2016, al pasar de 65,431 a 36,855 ha. Por el contrario, la superficie establecida con agricultura protegida (malla sombra e invernadero) pasó de 1,078 a 15,006 ha en el período mencionado, es decir, creció a una tasa promedio anual de 30.1%. Así, el volumen de tomate obtenido con el uso de estas últimas tecnologías pasó del 6.5% del total en 2006 a 32.2% en 2010, y hasta 60.7 por ciento del volumen total en 2016 (FIRA, 2017).

La tecnología de producción en invernadero ha incrementado el rendimiento por unidad de superficie. Sin embargo, para maximizar la producción, se aplican altas cantidades de fertilizantes y productos químicos, los cuales, por falta de un

esquema de irrigación, originan un uso inadecuado del agua y liberan nutrientes como nitratos y fosfatos a las aguas subterráneas (Klock-Moore y Broschat, 2001).

Debido al encarecimiento de los fertilizantes (Huang, 2009) y al daño en el medio ambiente (Páez et al., 2007; Giuffrida y Leonardi, 2009; Nakano et al., 2010; Massa et al., 2010), en hidroponía se buscan cada día sistemas más eficientes, para su uso racional. Por ello los sistemas hidropónicos sin recirculación, donde la solución drenada no se reutiliza y se permite la infiltración en el sitio o se conduce fuera del invernadero, empiezan a ser sustituidos por los sistemas con recirculación, donde se recoge la SN drenada para volverse a usar en el cultivo, con previa esterilización, ajustes de pH, conductividad eléctrica (CE) y nutrientes. 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 SN (James y Van Iersel, 2001). Este sistema cerrado funciona permitiendo que el agua se mueva a partir de un depósito de reserva a una bandeja de aplicaciones, donde el agua se mueve a través del medio de crecimiento por acción capilar (Coggeshall y Van Sambeek, 2001). Una vez que la irrigación se ha completado, cualquier drenaje de agua no utilizada es regresado al depósito de retención para la recirculación más tarde a través del sistema. Dumroese et al., (1995) demostraron un ahorro del 56% de agua sobre el riego por aspersión convencional para *Metrosideros polymorpha*.

El cambio del sistema modifica la distribución de las sales solubles en el sustrato, en el sistema de subirrigación el flujo de agua y nutrientes en los contenedores de las plantas, es de la parte inferior hacia la parte superior; luego, la falta de lixiviación en el sistema favorece la retención de iones en el medio de crecimiento (Cox, 2001). Los excesos de nutrientes no removidos por lixiviación modifican el ambiente de crecimiento de los cultivos, incrementando la CE en la solución, y las sales pueden dañar a la planta (James y Van Iersel, 2001).

1.1. Justificación

Ésta investigación pretende definir una concentración óptima de la SN para las diferentes etapas del desarrollo del cultivo en un sistema de recirculación.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

Determinar la concentración óptima de la SN para la producción y desarrollo del tomate en un sistema de subirrigación.

1.2.2. Objetivos específicos

Determinar el efecto de la concentración de la SN en el rendimiento en fruto a diferentes racimos de la planta así como su calidad bajo el sistema de subirrigación.

1.3. Hipótesis

El crecimiento y desarrollo del tomate a diferentes etapas o racimos se ve favorecido por la concentración adecuada de la SN en un sistema de subirrigación.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. El Tomate y su Origen

El tomate, de nombre científico *Solanum Lycopersicum* L. (Peralta et al., 2008) pertenece a la familia de las solanáceas. Esta especie es originaria de Sudamérica, entre los países de Chile, Colombia, Bolivia y Perú. Desde ahí emigró hacia Centroamérica y Norteamérica, siendo México donde se inició su domesticación; de aquí fue introducido a Europa. Su nombre en lengua náhuatl es “tomatl” derivado de allí el vocablo castellanizado de “tomate” (Ramírez y Sáinz, 2006). Actualmente se cultivan variedades con dos tipos de hábitos de crecimiento, determinadas é indeterminadas. El primer grupo de variedades, es utilizado principalmente para agroindustria y se cultiva al aire libre; posee un período limitado de floración, seguido por un desarrollo frutal sincrónico. El segundo grupo, es utilizado generalmente para consumo fresco, especialmente en invernaderos, cuando las temperaturas son una limitante. Se caracteriza por producir inflorescencias de forma continua durante el desarrollo de la planta (Kinet y Peet, 1997).

2.2. Agricultura Protegida

La producción de cultivos en invernaderos es de suma importancia ya que nos da una ventaja sobre la producción a cielo abierto porque se establece una barrera entre el ambiente externo y el cultivo, creando un microclima interno que permite proteger el cultivo de condiciones adversas (viento, granizo, plagas, etc.) y controlar factores como la temperatura, radiación, concentración de CO₂, humedad relativa, etc. En México, el uso de invernaderos para la producción de hortalizas ha aumentado rápidamente, de 721 ha en 1999 a 3 200 ha en 2005 (Ocaña-Romo, 2008), la cual en 2009 se extendió a una superficie de 10 000 ha (Perea, 2009). Los datos más recientes muestran que en 2012 se llegó a 12 000 ha de invernaderos, esto sin incluir otras 8 000 has que corresponden a malla sombra y macrotúnel (SAGARPA, 2012).

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, 2009).

2.3. Producción de Tomate Bajo Invernadero

En México el cultivo del tomate es sumamente importante, ya que de los principales cultivos que se producen en condiciones protegidas este ocupa 70%, seguido por pimiento (16%) y pepino (10%) (SAGARPA, 2012). Aunado a esto, México es el principal exportador a nivel internacional, enviando el producto a Estados Unidos de América, Canadá y El Salvador, en 2017 se produjeron 3,469,707.28 toneladas (SIAP, 2018).

2.4. Hidroponía

La palabra hidroponía es usado sólo para describir sistemas basados en agua, pero en el sentido más amplio, el término es el de cultivo sin suelo. Durante años la hidroponía ha sido muy usada para la investigación en el campo de la nutrición mineral de las plantas. Hoy en día la hidroponía es el método más intensivo de producción hortícola; generalmente es de alta tecnología y de fuerte capital, y viene siendo aplicada exitosamente con fines comerciales en países desarrollados (Chávez et al., 2006). En un cultivo hidropónico se busca proporcionar todos los elementos esenciales a la planta por medio de soluciones nutritivas que los contengan en forma de aniones y cationes disueltos, que junto con una buena iluminación y suministro de CO₂ y O₂, permiten que los vegetales se desarrollen bien (Rodríguez, 2004).

Los sistemas de cultivos hidropónicos se dividen en dos grandes grupos: 1) cerrados y 2) abiertos. Los cerrados, son aquellos en los que la solución nutritiva se recircula aportando de forma más o menos continua los nutrimentos que la planta va consumiendo, y los abiertos o a solución perdida, en la que la solución nutritiva se desecha (Mosse, 2004; Alarcón, 2005). A nivel mundial los sistemas

cerrados son los más extendidos, mientras que, en México la mayoría de las explotaciones comerciales emplean sistemas abiertos y adoptan el riego por goteo (Alarcón, 2005).

El interés por el sistema hidropónico a nivel mundial obedece a los altos rendimientos y a la calidad de productos que por unidad de superficie se puede obtener (1000% más que el cultivo en suelo en el cual se obtienen de 20 a 30 t ha⁻¹ cosechada) (González, 2006), lo que significa mejor mercado y precio de venta. Como ventajas adicionales se puede mencionar mayor precocidad de la producción, eficiencia en el uso de agua y fertilizantes, posibilidad de usar aguas de menor calidad y, cuando el clima lo permite o con el uso de invernaderos se puede obtener varias cosechas por año (Sánchez et al., 1999).

2.5. Importancia del Nitrógeno

El nitrógeno es un elemento esencial para el crecimiento y el metabolismo de las plantas; puede suministrarse en tres diferentes formas: nítrica, amoniacal y ureica (Parra et al., 2010). La forma nítrica es absorbida preferentemente por la mayoría de las plantas (Mengel y Kirkby, 2000; Miller y Cramer, 2004), por lo que es la más utilizada en los cultivos hidropónicos. La respuesta a la nutrición amoniacal varía entre especies y las condiciones ambientales (Kotsiras et al., 2005), en ciertas concentraciones puede resultar tóxica para muchas especies vegetales (Salsac et al., 1987), por lo que generalmente se recomienda aplicar el amonio en pequeñas concentraciones, discrepando los investigadores en las concentraciones a usar (Steiner, 1984; Sandoval et al., 1995; Portree, 1997).

El tomate está considerado como una especie sensible al amonio (Gerendas et al., 1997), por lo que la concentración de N amoniacal debe ser entre tres y diez por ciento del total de nitrógeno suministrado (Portree, 1997; Steiner, 1984). La absorción de amonio está influenciada por la presencia de nitratos (Britto y Kronzucker, 2002) y potasio (Szczerba et al., 2006) en la solución, los cuales pueden reducir la toxicidad del amonio. La absorción de nitratos incrementa la concentración de algunas hormonas del crecimiento en el xilema (Rahayu et al.,

2005), regulando la división y la expansión celular (Francis y Sorell, 2001), mientras que el potasio tiene similitudes con el amonio, en cuanto a la valencia, el diámetro del ion hidratado y su efecto sobre el potencial eléctrico de la membrana (Wang et al., 1996; Xu et al., 2002) por lo que hay interacción entre estos dos iones.

2.6. Importancia del Calcio

Las raíces de las plantas toman el Ca desde la solución del suelo en forma iónica (Mengel y Kirkby, 2000). El Ca es el nutriente de carácter básico más abundante en las plantas después del K (Navarro y Navarro, 2003).

(Larcher, 2003) menciona que el Ca en la planta: regula la hidratación (antagonistas K y Mg); activa enzimas (Amilasa, ATPasa): regula la elongación y crecimiento. (Marschner, 1995) resalta el hecho que, a diferencia de los otros macronutrientes, una alta proporción de Ca total en el tejido de las plantas se localiza en las paredes celulares (apoplasto), razón por la cual su presencia es vital en la estabilización de estas y de las membranas; además de otras funciones como la modulación de las enzimas, la osmoregulación y el balance de catión-anión.

(Mengel y Kirkby, 2000) indican que la absorción de Ca, en contraposición a otros nutrientes como el K y el P está restringida a la zona colindante con el ápice de la raíz, diferencia en el comportamiento que ha sido explicada por el desarrollo de la banda de Caspary; pues al envejecimiento de este órgano conlleva a una suberización de la endodermis, la cual impide el movimiento radical del Ca. En este sentido, la translocación de Ca desde la corteza al tallo se limita en la ruta apoplástica o del espacio libre, vía que solamente es accesible en las raíces jóvenes no suberizadas.

2.7. Solución Nutritiva

Una solución nutritiva (SN) consta de agua con oxígeno y de todos los nutrimentos esenciales en forma iónica y, eventualmente, de algunos compuestos orgánicos

tales como los quelatos de fierro y de algún otro micronutriente que puede estar presente. Una SN verdadera es aquella que contiene las especies químicas indicadas en la solución, por lo que deben de coincidir con las que se determinen mediante el análisis químico correspondiente (Steiner, 1961 citado por Favela et al., 2006).

Cada especie vegetal que se cultiva en hidroponía requiere de una SN con características específicas. Las principales características que influyen en el desarrollo de los cultivos y sus productos de importancia económica son: la relación mutua entre aniones, la relación mutua entre cationes, la concentración de nutrimentos (representada por la CE), el pH, la relación $\text{NO}_3^- : \text{NH}_4^+$ y la temperatura de la SN. El concepto de relación mutua entre iones se basa en que la SN debe estar balanceada en sus macronutrientes: NO_3^- , H_2PO_4^- y SO_4^{2-} , para el caso de los aniones y para los cationes en la SN en forma cationes son K^+ , Ca^{2+} y Mg^{2+} . El balance consiste no solo en la cantidad absoluta de cada uno de ellos, sino, además, en la relación cuantitativa que se establece entre los cationes por una parte y los aniones por la otra (Lara, 2000).

El sistema cerrado o recirculación de la solución nutritiva implica que la solución que drena del sistema se vuelve a incorporar total o parcialmente, como suministro a la fertirrigación del mismo cultivo (Urrestarazu, 2004).

2.7.1. pH en la Solución Nutritiva

(Hydroenvironment, 2008), explica que el pH en hidropónia es muy importante que se encuentre en un rango de 5,5 a 6,5 para que permita la asimilación y disponibilidad de los nutrientes a las plantas, de lo contrario se acumularían sales insolubles, las plantas no podrían aprovechar los nutrientes, o se intoxicarían produciendo así una planta enferma o la muerte.

2.7.2. Conductividad Eléctrica en la Solución Nutritiva

(León, 2006), expresa que la conductividad eléctrica es un parámetro que mide el total de sales disueltas en el agua y evalúa la capacidad del agua para conducir la

corriente eléctrica, se expresa en mili Siemens sobre centímetro, esto permite conocer si la solución excede o carece de la cantidad de nutrientes para cultivos hortícolas. En el sistema NFT es necesario medir la conductividad eléctrica de la solución nutritiva con regularidad y compensar la falta de nutrientes o el exceso según sea el caso, el rango de conductividad eléctrica adecuado para el crecimiento de las plantas se encuentra entre: 1,5-2,5 mS/cm.

2.8. Problemas de Contaminación y Uso del Agua en la Agricultura

La escasez de agua se está convirtiendo en una amenaza real para la sostenibilidad de la agricultura de regadío (Mojid et al., 2012). Este problema es grave en los países mediterráneos; se deriva de la dinámica de la población, mejora de los estándares de vida, el desarrollo económico y social y el uso de tecnologías que consumen agua (Iglesias et al., 2007). La cantidad y calidad del agua son temas importantes para la producción de alimentos. Se predice que alrededor de tres mil millones de personas vivirán en ambientes estresados o con escasez de agua para 2025 (Hanjra y Qureshi, 2010). Los sistemas de producción agrícola de cultivos son uno de los mayores consumidores de agua (Frija et al., 2009), y representan casi el 80% del uso global del agua (Molden et al., 2007). El imperativo para proporcionar alimentos a la creciente población mundial ha generado un mayor interés en los sistemas de producción que maximizan el uso del agua y el rendimiento y la calidad de la planta.

La producción de cultivos hortícolas en invernaderos se ha expandido considerablemente en las últimas décadas en las áreas mediterráneas (Sonneveld y Voogt, 2009). Aunque su contribución económica es alta, la industria de los invernaderos puede implicar una baja sostenibilidad ambiental debido a su uso intensivo de agua y agroquímicos y descargas al medio ambiente de materiales contaminantes (por ejemplo, plásticos y soluciones de nutrientes de escape (SN) (Gallardo et al., 2009; Massa et al., 2010). La gestión de ciclo cerrado del cultivo sin suelo, con el reciclaje de SN, es una de las estrategias prometedoras para

minimizar la contaminación (Vox et al., 2010) y aumentar la eficiencia del uso de fertilizantes y agua en la agricultura de invernadero con riego (Ahmed et al., 2000). Los sistemas cerrados de irrigación son de particular interés cuando se comparan con los sistemas convencionales de irrigación abierta, ya que se ha demostrado que reducen la pérdida de nutrientes y aumentar el uso eficiente del agua y la eficiencia de nutrientes en sistemas de producción de cultivos de invernadero (Ahmed et al., 2000; Putra y Yuliando, 2015; Roupael y Colla, 2005; Roupael et al., 2004; Siddiqi et al., 1998; Van Os, 1999). Entre los sistemas de riego cerrado, la irrigación con recirculación de nutrientes y agua es un método excelente para mejorar la producción, la calidad, el rendimiento y la posibilidad de que las plantas cultivadas sean importantes (Cardarelli et al., 2010; Fascella y Roupael, 2015; Roupael et al., 2006; Santamaria et al., 2003; Uva et al., 2001).

2.9. Subirrigacion

Una alternativa prometedora para ser más eficientes en la producción de cultivos de importancia es la adopción del sistema de subirrigación con recirculación de solución nutritiva, también referido como subirrigación de cero escurrimiento (Uva et al., 2001; Santamaría et al., 2003; Roupael et al., 2006). 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). Después que el riego se completa, la cantidad de SN no absorbida por el medio de cultivo, se regresa de nuevo al tanque de almacenamiento para su reutilización en riegos posteriores (Van Os, 1999; Incrocci et al., 2006; Pinto et al., 2008), para lo cual se necesita realizar ajustes periódicos al volumen de agua, pH y la concentración de nutrientes, valorándose estos últimos generalmente por la medición de la CE (Cox, 2001; Incrocci et al., 2006).

El sistema de subirrigación ofrece muchas ventajas, tales como un menor requerimiento de nutrientes y agua, proporciona nutrientes de una manera uniforme, evita la humectación foliar (prevención de enfermedades), uniformidad de riego, menor compactación del sustrato, cultivos más uniformes, mejor productividad; reduce la descarga de nutrientes a los ecosistemas circundantes y reduce los costos de producción (Cox, 2001; Santamaria et al., 2003; Roupael y Colla, 2005; Roupael et al., 2008; Montesano et al., 2010). Estos beneficios generan ahorros en mano de obra, insumos materiales y pérdidas de producto (Purvis et al., 2000; Santamaria et al., 2003). Además, el sistema de subirrigación puede facilitar el manejo de la SN ya que mantiene estables los parámetros de la misma, puesto que los elementos que no son absorbidos por la planta se acumulan en la parte superior del sustrato, en lugar de la acumulación en la SN como lo haría en un sistema de riego abierto (Reed, 1996; Kent y Reed, 1996; Morvant et al., 1997; Santamaria et al., 2003; Roupael y Colla, 2005; Roupael et al., 2006; Montesano et al., 2010).

Sin embargo, la tendencia de la acumulación de sales en la parte superior del medio de crecimiento representa un inconveniente para los sistemas de subirrigación, ya que puede resultar en la reducción del crecimiento de los cultivos, sobre todo en cultivos de ciclo largo y en condiciones ambientales secas y calientes (Kent y Reed, 1996; Reed, 1996; Morvant et al., 1997; Cox, 2001). La acumulación de sales en la parte superior del medio de crecimiento puede ocurrir si la SN es demasiado concentrada, debido a que el medio de crecimiento no se lixivia durante la producción (Martinetti et al., 2008). Por lo anterior, la concentración de fertilizantes en los sistemas de subirrigación deben ser más bajos que en los sistemas de riego superficial (Klock-Moore y Broschat, 1999; Cox, 2001; Mak y Yeh, 2001; Yeh et al., 2004; Martinetti et al., 2008).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización del sitio experimental

La presente investigación fue llevada a cabo en los invernaderos del Departamento de Horticultura del campus principal de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN), ubicada en Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, con coordenadas 25° 23' 42" latitud norte y 100° 50' 57" longitud oeste y con una altitud de 1743 msnm.

3.2. Material Vegetal

Se utilizaron semillas de Tomate tipo bola (*Solanum lycopersicon* L.) de la variedad "Clermon" es una planta de crecimiento indeterminado con entrenudos semi-cortos, racimos con presentación muy atractiva, el peso promedio por fruto es de 140 g. y de un color rojo intenso.

3.3. Establecimiento y Conducción del Experimento.

3.3.1. Siembra

La siembra se llevó a cabo en una charola de polietileno con 200 cavidades el día 18 de marzo del 2016, los sustratos usados como medio de germinación fueron peat moss (85% v/v) y perlita (15% v/v).

3.3.2. Trasplante

Después de 35 días de haberse realizado la siembra el 22 de abril de 2016 se realizó el trasplante con las plantas más vigorosas y para ello se utilizaron contenedores de polietileno con capacidad de 10 L. los sustratos utilizados fueron peat moss (40% v/v), polvo de coco (40% v/v) y perlita (20% v/v) bien mezclados.

3.3.3. Riego y Fertilización

El sistema cerrado para cultivo sin suelo que se utilizó para ésta investigación fue el sistema de subirrigación. Éste sistema consiste en la recuperación de la solución nutritiva (SN) de tal manera que se utiliza nuevamente para su

recirculación en los siguientes riegos del cultivo. El sistema de subirrigación consistió en aplicar una lámina de riego de 15 cm durante 30 minutos a cada tratamiento. La solución sobrante se recolectó nuevamente en contenedores para su recirculación en donde se monitoreaba la conductividad eléctrica (CE) y potencial de hidrogeno (pH) de la SN para volver aplicarlo. El tratamiento testigo fue el que se aplicó la SN a través de riego por goteo o superficial, es decir fue un sistema abierto a solución perdida. Tanto en el sistema abierto y cerrado se monitoreaba la humedad del sustrato con un tensiómetro especializado en sustratos y con ello, determinar la aplicación del riego en cada uno de ellos. La SN del experimento (Cuadro 1) basada en la solución de Steiner fue la que se aplicó al cultivo.

Cuadro 1. Solución nutritiva basada en solución de Steiner empleada para el cultivo de tomate, en el sistema de cultivo sin suelo para subirrigación y riego por goteo.

meq L ⁻¹	NO₃⁻	H₂PO₄⁻	SO₄²⁻	Ca²⁺	K⁺	Mg²⁺
	14	2	8	11	9	4

3.3.4. Tutoreo

Esta labor se realizó para que las plantas de tomate fueran guiadas a un solo tallo, sosteniendo cada planta con una rafia, dándoles dirección en su crecimiento con la finalidad de tener una planta erguida y evitar que las hojas y frutos queden en contacto con el sustrato. La actividad se llevó a cabo en la base de la planta y conforme crecía esta se enredaba a la rafia.

3.3.5. Podas

La poda de la planta se realizó a un tallo, se podaron los brotes axilares hasta llegar al doceavo racimo momento en que se realizó el corte de la yema apical (despuntado), la práctica se manejó de manera manual, también se eliminaron

hojas viejas que se encontraban por debajo de los primeros racimos esto para permitir mayor aireación y por tanto un buen desarrollo de los frutos; sin embargo, las hojas podadas se fueron pesando para que al final se reportara el peso fresco total.

3.4. Descripción de los Tratamientos

Se trabajó con 10 tratamientos y cuatro repeticiones. Para ello se utilizaron diferentes concentraciones de la solución Steiner para tres etapas diferentes de fructificación (Cuadro 2).

Cuadro 2. Concentración de la Solución nutritiva (%) Steiner, en crecimiento vegetativo y las etapas de fructificación del cultivo de tomate.

Tratamiento	Concentración de la SN (%)			
	Crecimiento vegetativo	Etapas de Fructificación		
		Etapa 1 Racimo 1-4	Etapa 2 Racimo 5-8	Etapa 3 Racimo 9-12
1 (testigo)	100	100	100	100
2	120	100	70	40
3	120	120	120	120
4	120	120	100	90
5	120	120	90	70
6	120	120	70	50
7	120	100	90	90
8	120	100	90	70
9	120	100	70	50
10	120	100	100	100

3.5. Variables Evaluadas.

Rendimiento: Se evaluó durante el ciclo del cultivo todas las etapas 1, 2 y 3 (Racimos: 1-4, 5-8 y 9-12) las cuáles consisten en los racimos de fructificación de la planta. Al final se obtuvo el rendimiento en toneladas por hectárea.

Sólidos solubles totales (SST-°Brix): Se utilizó un refractómetro digital de la marca HANNA® (HI 96801), Esto se realizó en la segunda etapa de fructificación, en el racimo 8.

Firmeza (kg/cm²): Se determinó con un penetrometro McCormick® (FT327) utilizando una puntilla de 8 mm de diámetro. Esto se realizó en la segunda etapa de fructificación, en el racimo 8.

Peso fresco raíz: Para la determinación del peso radicular, se retiró y lavó la raíz contenida en cada contenedor con agua de la llave para eliminar el exceso de sustrato después se dejó que escurriera el agua y posteriormente se pesó.

Peso fresco tallo: En el caso de tallo se realizó al final del ciclo del cultivo, fue destruido el tallo, con la ayuda de tijeras para podar, posteriormente fueron pesadas.

Peso fresco de hoja: Para el caso de las hojas se realizó durante todo el ciclo del cultivo, las hojas que se le quitaba a la planta se pesaban y así sucesivamente y al final se realizó una sumatoria para el total del peso fresco de la hoja.

Propiedades químicas del sustrato: el pH, CE, Na (sodio), Ca (calcio) y NO₃ (nitrato) se determinaron por medio de una muestra representativa del sustrato de cada contenedor en un nivel medio (NM) 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 mencionadas con ayuda de ionómetros especializados.

3.6. Diseño del Experimento

El experimento fue un diseño de bloques 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) 9.0.

IV. RESULTADOS

4.1. Rendimiento

El rendimiento de fruto fue afectado significativamente por los tratamientos aplicados (Cuadro 3, Figura 1). En relación al testigo, las plantas fertilizadas con el tratamiento 3 mostraron un rendimiento inferior. Ninguno de los tratamientos logró superar al testigo. Sin embargo, existen cuatro tratamientos que mostraron un rendimiento estadísticamente similar al testigo, aunque la concentración de la SN fue menor. Algunos tratamientos en las que se redujo la concentración hasta un 70 % en la E2 y un 40 a 50% en la E3 el rendimiento no fue afectado a pesar de la menor concentración de la SN. Ello implica que aunque no se obtienen incrementos en el rendimiento, si se logra disminuir la concentración de la SN hasta en un 40%.

Cuadro 3. Efecto de la concentración de la solución SN nutritiva en el rendimiento del tomate cv. Clermon.

Tratamiento	Concentración de la SN (%)				Toneladas /ha
	Crecimiento vegetativo	Etapas de fructificación E1	E2	E3	
1 (testigo)	100	100	100	100	299.57 a
2	120	100	70	40	298.05 a
3	120	120	120	120	241.8 c
4	120	120	100	90	273.68 b
5	120	120	90	70	298.82 a
6	120	120	70	50	305.72 a
7	120	100	90	90	281.31 b
8	120	100	90	70	279.59 b
9	120	100	70	50	303.62 a
10	120	100	100	100	266,54 b
ANOVA $P \leq$					0.0001
CV (%)					3.62

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

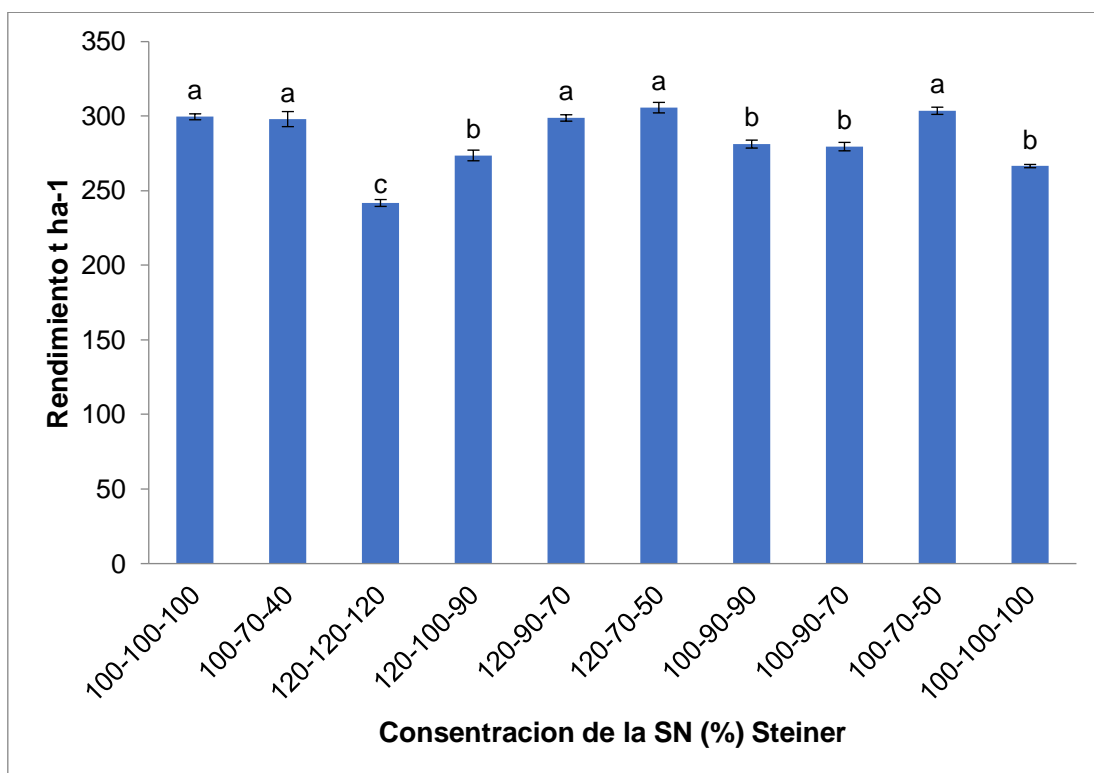


Figura 1. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el rendimiento del tomate cv. Clermon.

4.2. SST y Firmeza

La concentración de sólidos solubles totales (SST) si presentó diferencia significativa en los tratamientos aplicados (Cuadro 2) con respecto al testigo; las plantas fertilizadas con el tratamiento 3 presentaron mayor concentración de SST. Mientras que el resto de los tratamientos al reducir la concentración de la SN mostraron una disminución en la concentración de SST en el fruto. En el caso de la firmeza, de igual manera hubo diferencia significativa con respecto al testigo siendo las plantas fertilizadas con el tratamiento 3 los que presentaron mayor firmeza de fruto, mientras que el resto de los tratamientos al reducir la concentración de la SN en el sistema de subirrigación se ven estadísticamente afectados en la firmeza de fruto.

Cuadro 4. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en los sólidos solubles totales (SST) y la firmeza de los frutos de tomate cv. Clermon.

Tratamiento	Concentración de la SN (%)			SST (°Brix)	Firmeza Kg/cm ²
	Crecimiento vegetativo	Etapa de fructificación			
		E 1	E 2		
1 (testigo)	100	100	100	3.6 b	5.64 bcd
2	120	100	70	3.72 b	5.26 cd
3	120	120	120	4.87 a	7.19 a
4	120	120	100	4.07 ab	5.56 bcd
5	120	120	90	3.92 b	6.23 abc
6	120	120	70	3.85 b	5.84 abcd
7	120	100	90	3.62 b	5.10 cd
8	120	100	90	4.17 ab	6.90 ab
9	120	100	70	4.07 ab	4.60 d
10	120	100	100	4.27 ab	6.61 abc
	ANOVA $P \leq$			0.0634	0.0096
	CV (%)			12.9	15.82

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

4.3. Peso fresco

El peso fresco de raíz y tallo fueron afectados significativamente por los tratamientos aplicados (Cuadro 5). En relación al testigo, las plantas fertilizadas con el tratamiento 3 mostraron un peso fresco inferior. Ninguno de los tratamientos logró superar estadísticamente al testigo. Sin embargo en el peso fresco de hoja si hubo diferencia significativa en los tratamientos aplicados (Cuadro 5) con respecto al testigo. Las plantas fertilizadas con el tratamiento 4 y 5 presentaron mayor peso fresco de hoja.

Cuadro 5. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en el peso fresco de la raíz, peso fresco del tallo y peso fresco de la hoja del tomate cv. Clermon.

Tratamiento	Concentración de la SN (%)						
	Crecimiento vegetativo	Etapa de fructificación			Peso fresco		
		E 1	E 2	E 3	Raíz (g)	Tallo (g)	Hoja (g)
1 (testigo)	100	100	100	100	209.68 a	711.73 a	1614.6 b
2	120	100	70	40	168.88 ab	567.2 cd	1306.3 c
3	120	120	120	120	162.13 ab	513.7d	1567 b
4	120	120	100	90	166.6 ab	573.43 cd	1888.2 a
5	120	120	90	70	209.73 a	654.5 ab	1876.7 a
6	120	120	70	50	172.48 ab	601.6 bc	1702.8 ab
7	120	100	90	90	157.2 ab	589.73 bcd	1607.5 b
8	120	100	90	70	194.93 ab	564.68 cd	1630.5 b
9	120	100	70	50	140.03 b	561.43 cd	1463.9 bc
10	120	100	100	100	203.03 a	573.25 cd	1475.2 bc
	ANOVA $P \leq$				0.0722	0.0002	0.0002
	CV (%)				18.97	7.87	9.39

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

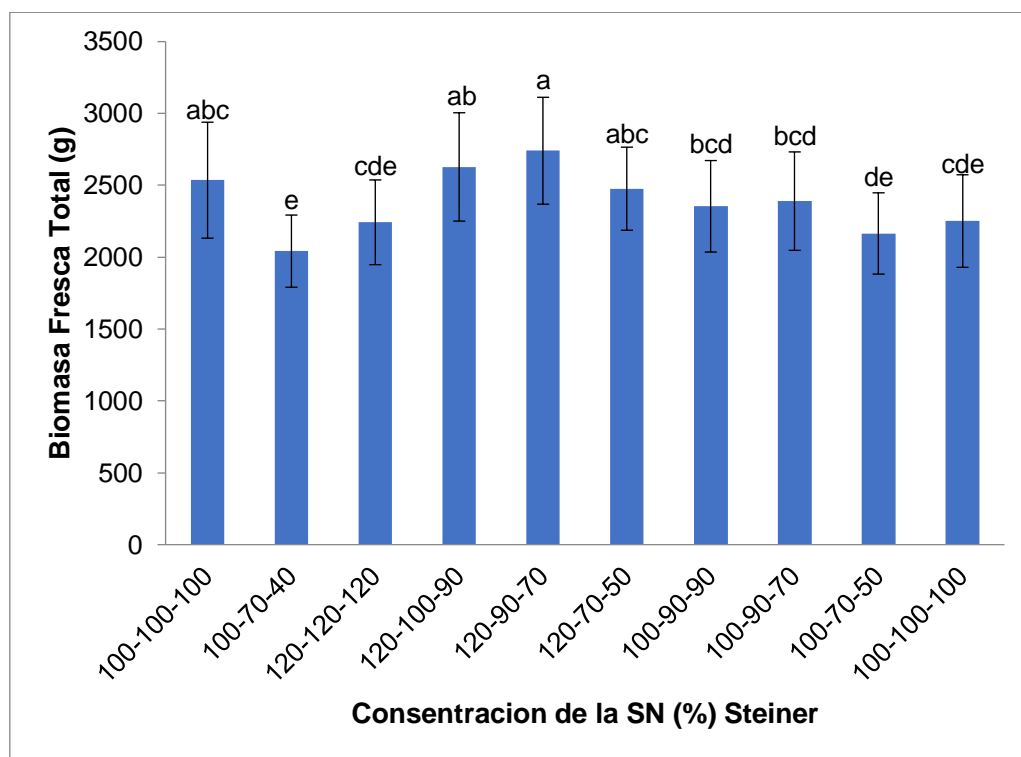


Figura 2. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la acumulación del peso fresco total en las plantas de tomate cv. Clermon.

4.4. Propiedades químicas del sustrato.

4.4.1. pH

El pH del sustrato si se vio afectado significativamente por los tratamientos aplicados (Cuadro 6). En relación al testigo, los tratamientos 5, 7 y 9 mostraron un pH mayor mientras que el testigo fue el que presentó el pH menor.

4.4.2. Conductividad eléctrica

La CE del medio de crecimiento si se vio afectado significativamente por los tratamientos aplicados (Cuadro 6), siendo el tratamiento 3 el que presento la mayor CE, mientras que el tratamiento 2 fue el que presentó la menor CE.

Cuadro 6. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la CE y pH del sustrato al final del ciclo del cultivo de tomate cv. Clermon.

Tratamiento	Concentración de la SN (%)				pH	CE
	Crecimiento vegetativo	Etapa de fructificación				
		E 1	E 2	E 3		
1 (testigo)	100	100	100	100	6 c	1.32 ab
2	120	100	70	40	6.82 abc	0.52 e
3	120	120	120	120	6.07 bc	1.65 a
4	120	120	100	90	6.65 abc	1.05 bcd
5	120	120	90	70	7.07 a	1.1 bcd
6	120	120	70	50	6.85 abc	0.67 de
7	120	100	90	90	7.12 a	1.35 ab
8	120	100	90	70	6.87 ab	1.17 abc
9	120	100	70	50	6.95 a	0.72 cde
10	120	100	100	100	6.5 abc	1.52 ab
	ANOVA $P \leq$				0.0522	0.0001
	CV (%)				7.83	27.43

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 el pH y el rendimiento de fruto (Figura 3), el pH es un factor muy importante que se debe considerar para obtener altos rendimientos, se puede apreciar que el rendimiento más alto se obtuvo cuando se aplicó una SN con un pH de 6.85.

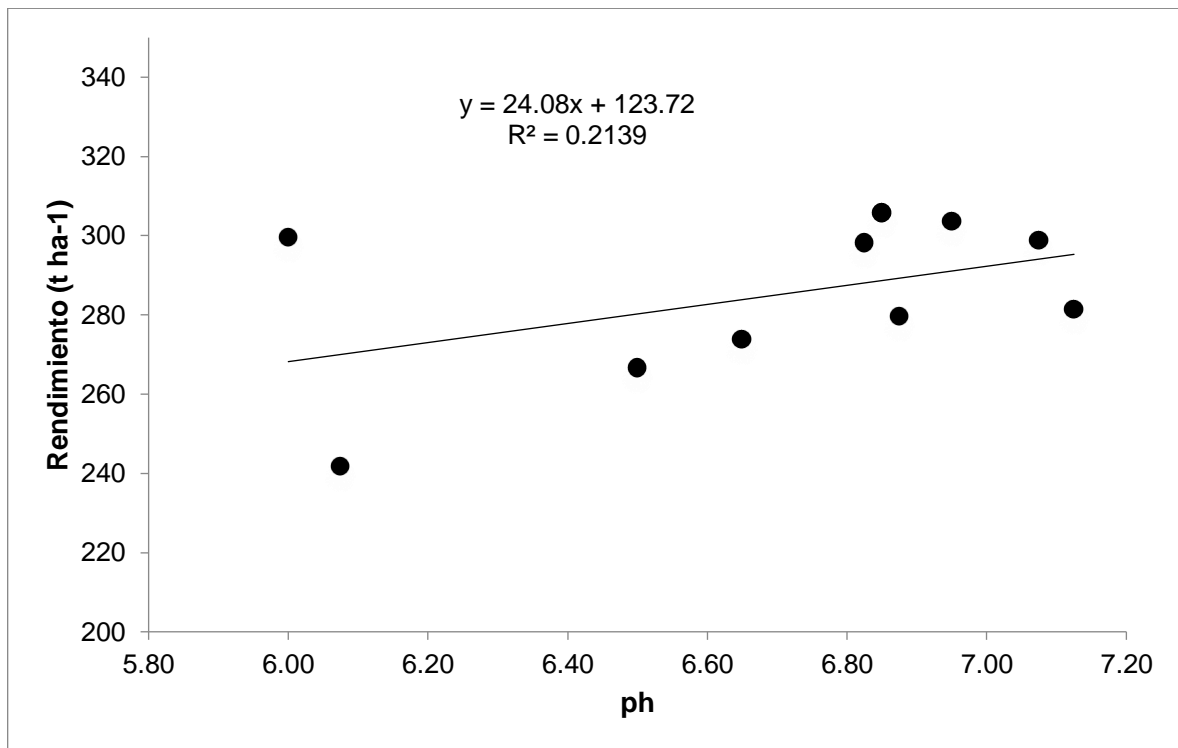


Figura 3. Correlación entre pH del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon.

Se encontró correlación entre la CE y el rendimiento de fruta (Figura 4), la CE es un factor muy importante que se debe considerar para obtener altos rendimientos y así mismo evitar la intoxicación de las plantas causado por la acumulación de sales en el medio de cultivo tanto en subirrigación como en riego por goteo. Se puede apreciar que el rendimiento más alto se obtuvo cuando se aplicó una SN con una CE de 0.67 dS m^{-1} .

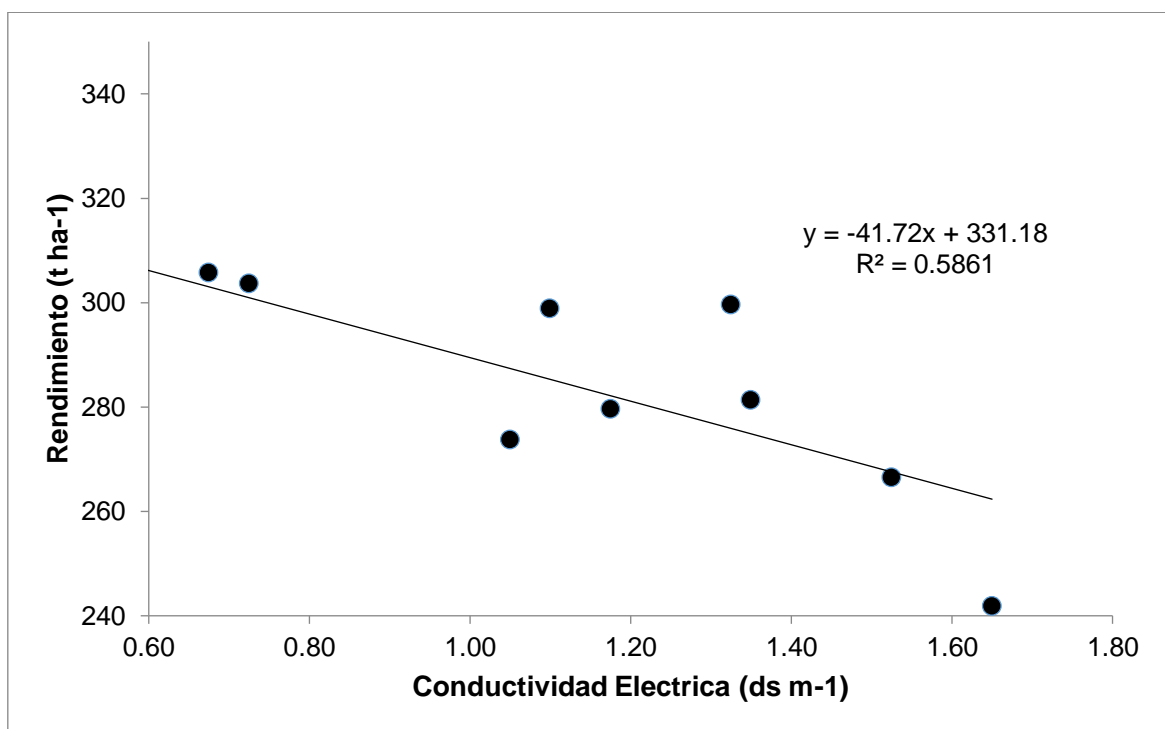


Figura 4. Correlación entre la conductividad eléctrica del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon.

4.4.3. Sodio

La concentración de Na en el medio de cultivo si se vio afectado significativamente por los tratamientos aplicados (Cuadro 7) siendo los tratamientos 8 y 10 los que presentaron una mayor concentración de Na, mientras que el tratamiento 3 presento la menor concentración de Na.

4.4.4. Calcio

La concentración de Ca en el medio de cultivo si se vio afectado significativamente por los tratamientos aplicados (Cuadro 7) siendo el tratamiento 3 fue el que presentó una mayor concentración de Ca mientras que el tratamiento 9 presento la menos concentración de Ca. Esto significa que a mayor concentración de la SN mayor será la acumulación de Ca, y viceversa a menos concentración de la SN menor será la acumulación de Ca.

4.4.5. Nitratos

La concentración de NO₃ en el medio de cultivo si se vio afectado significativamente por los tratamientos aplicados (Cuadro 7) siendo el tratamiento 3 fue el que presentó una mayor concentración de NO₃ mientras que el tratamiento 9 presento la menor concentración de NO₃. Esto significa que a mayor concentración de la SN mayor será la acumulación de NO₃, y viceversa a menos concentración de la SN menor será la acumulación de NO₃.

Cuadro 7. Efecto de la concentración de la solución nutritiva (SN) en la concentración total de Na, Ca y NO₃ al final del ciclo del cultivo de tomate cv. Clermon.

Tratamiento	Concentración de la SN (%)					Na	Ca	NO ₃
	Crecimiento vegetativo	Etapa de fructificación			E 3			
		E 1	E 2	E 3				
1 (testigo)	100	100	100	100	100	260 ab	590 b	206.68 ab
2	120	100	70	40	40	190 ab	84 de	34.5 ef
3	120	120	120	120	120	138.75 b	1002.5 a	250 a
4	120	120	100	90	90	147.5 ab	412.5 bc	160 bc
5	120	120	90	70	70	227.5 ab	310 cd	83 de
6	120	120	70	50	50	152.5 ab	62.5 e	34.25 ef
7	120	100	90	90	90	210 ab	266.3 cde	106.25 d
8	120	100	90	70	70	270 a	190 cde	40 ef
9	120	100	70	50	50	192.5 ab	41 e	25.25 f
10	120	100	100	100	100	270 a	587.5 b	127.5 cd
	ANOVA $P \leq$					0.0953	0.0001	0.0001
	CV (%)					35.49	42.05	31.46

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 concentración de Ca y el rendimiento de fruta (Figura 4), se puede apreciar que el rendimiento más alto se obtuvo cuando la concentración de Ca fue de 62.5 ppm, cuando aumenta la concentración de Ca tiende a disminuir el rendimiento.

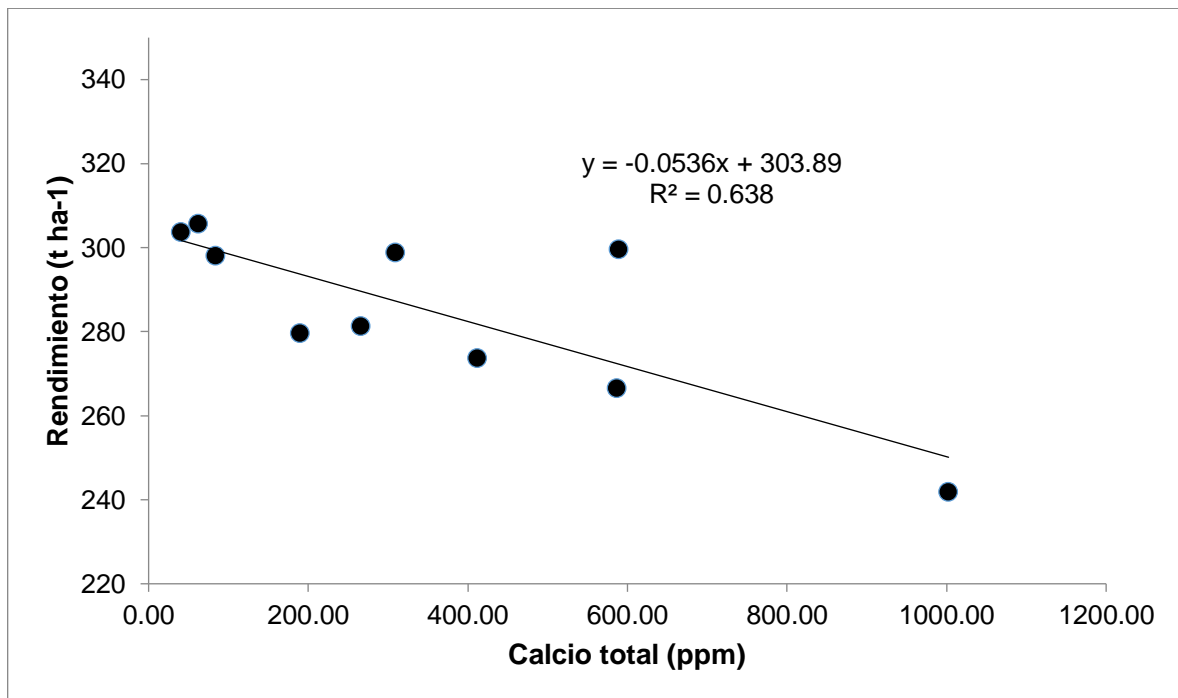


Figura 5. Correlación entre el Calcio total del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon.

Se encontró correlación entre la concentración de NO_3 y el rendimiento de fruta (Figura 4), se puede apreciar que el rendimiento más alto se obtuvo cuando la concentración de NO_3 fue de 34.25 ppm, cuando aumenta la concentración de NO_3 tiende a disminuir el rendimiento.

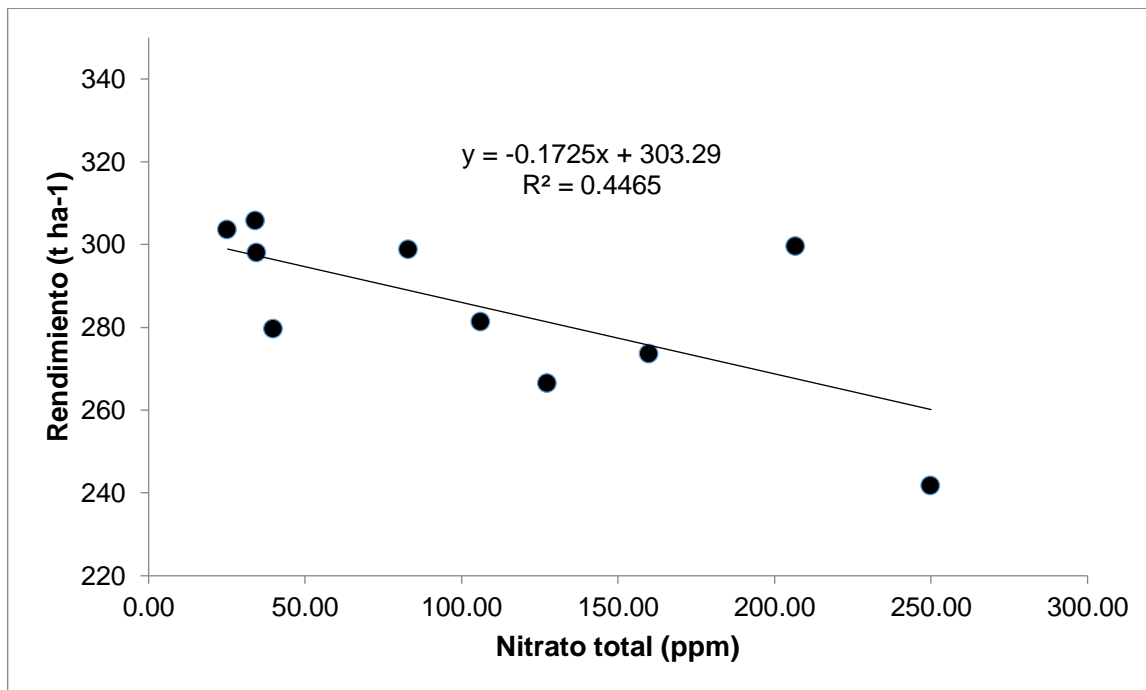


Figura 6. Correlación entre el Nitrato total del sustrato y el rendimiento de tomate cv. Clermon.

V. DISCUSIÓN

Con respecto al rendimiento no hubo diferencia significativa en comparación al testigo ya que cuatro tratamientos presentaron estadísticamente los mismos rendimientos, esto difiere con lo citado por (Santamaría et al., 2003; Scholberg y Locascio, 1999) reportaron que con riego por goteo la producción de tomate fue mayor que con subirrigación como resultado de la CE en subirrigación. Mientras que (Martinetti et al., 2008) mencionan que la diferencia en cuanto a rendimiento de los sistemas de subirrigación y riego por goteo se debe a que con subirrigación la CE se concentra en la parte superior, mientras que con riego por goteo la CE es menor y se distribuye de manera uniforme en todo el volumen del sustrato. Sin embargo, existen cuatro tratamientos que mostraron un rendimiento estadísticamente similar al testigo, aunque la concentración de la SN fue menor. Algunos tratamientos en las que no se redujo el rendimiento fueron: 2, 5, 6 y 9. Esto implica que aunque no se obtienen incrementos en el rendimiento, si se logra disminuir la concentración de la SN, con el consecuente ahorro en fertilizantes y un menor daño ambiental causado por el abuso en su aplicación. Santamaría et al. (2003) reportaron una mayor reducción en el rendimiento del tomate cherry de riego elevado, pero una cierta mejora en los rasgos de calidad de la fruta, con respecto al riego por goteo en circuito abierto. Rodríguez (2017) menciona que es rentable cultivar tomate bajo invernadero utilizando el sistema de subirrigación, con el cual se obtienen los mismos rendimientos que en riego por goteo, además que tiene otras ventajas como el ahorro de agua y fertilizantes que se aplican durante el ciclo del cultivo, lo cual fue confirmado en el presente estudio.

En cuanto a los SST y firmeza si hubo diferencia significativa siendo el tratamiento 3 subirrigado con una concentración de 120-120-120 el que presentó la mayor cantidad de SST y firmeza, esto concuerda con lo citado por (Yin et al., 2010; Zhang et al., 2017), quienes afirman que el aumento de la CE, los SST y la acidez titulable en las frutas de tomate cultivadas en condiciones de salinidad pueden deberse al hecho de que este estrés induce la acumulación de azúcares solubles y

ácidos orgánicos que contrarrestan el desequilibrio iónico. Campos et al. (2006) mencionó que los sólidos solubles totales en los tomates aumentaron en condiciones salinas como resultado de la disminución de la importación de agua a la fruta, generando así una acumulación de solutos en la pulpa de la fruta. 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 en subirrigación (Rodríguez, 2017).

En cuanto al peso fresco total si hubo diferencia significativa siendo el tratamiento 5 subirrigado con una SN de 120-90-70, la que resultó más sobresaliente esto concuerda con Cepeda, et al. (2014) quien menciona que en plantas de lechuga subirrigadas con solución de 3.3 dS m^{-1} mostraron mayor peso fresco que aquellas con riego superficial. A diferencia de García et al. (2015) quienes difieren de nuestros resultados obtenidos reportando en un estudio de pimiento que el peso seco de hojas fue afectado negativamente por la subirrigación, obteniéndose mayor biomasa foliar en plantas tratadas con riego superficial, pero concuerda en cuanto al peso fresco total ya que reportaron que en peso seco total fue mayor en plantas sometidas a una lámina de subirrigación de 15 cm por 30 min. Estos cambios en la distribución del peso seco se reflejaron en una modificación de la relación entre la parte aérea:raíz, ya que en comparación con las plantas con riego superficial, las plantas subirrigadas mostraron en términos relativos un mayor desarrollo de la parte aérea que de la raíz.

En cuestión del pH del sustrato, si presentó diferencia significativa en tres de los tratamientos, lo que concuerda con lo citado por Voogt (1995) quien en un estudio menciona que el pH inicial del sustrato fue de 6.1, sin embargo, al finalizar el experimento este fue acidificado en función del estrato así como el tratamiento aplicado, lo cual puede deberse a la extrusión del ion hidrógeno (H^+) que sucede, cuando la planta absorbe cationes. Por otra parte Martinetti et al. (2008) reportaron que con subirrigación el pH fue más ácido en la capa superior del sustrato,

mientras que con riego por goteo el pH se mantuvo estable en las diferentes capas del contenedor.

James y Van Iersel (2001) mencionan que los excesos de nutrimentos no removidos por lixiviación modifican el ambiente de crecimiento de los cultivos, incrementando así la CE en la solución. En el presente estudio la CE sí presentó diferencia significativa siendo el tratamiento subirrigado con una SN de 120-120-120 la que presentó mayor concentración. Estos resultados concuerdan con algunos autores que mencionan que la mayor acumulación de sales es en la parte superior del sustrato (Todd y Reed, 1998; Santamaría et al., 2003; Nemali y Van Iersel, 2004; Zheng et al., 2004; Incrocci et al., 2006; Roupael et al., 2006, 2008). El movimiento del agua se crea por evaporación de la superficie del sustrato y se favorece por la transpiración de la planta por lo que a través de la absorción de raíces se extraen los elementos necesarios para su crecimiento a partir de la SN. Todo lo que la planta no absorbe se transporta hacia arriba a través del sustrato. Por lo tanto, se produce una acumulación progresiva de los elementos minerales no utilizados por la planta en la parte superior del sustrato (Molitor, 1990; Reed, 1996). Un patrón similar de acumulación de sal con sistemas de subirrigación ha sido reportado por Morvant et al. (1997) y Cox (2001). Sin embargo, la acumulación de sal soluble no es exclusiva de la irrigación, sino que también se observó en los sistemas de riego por goteo (Reed, 1996).

En cuanto al análisis minerales del sustrato sí se encontró diferencia significativa siendo el tratamiento 3 subirrigado con una SN de 120% el que presentó una acumulación de $N-NO_3$ y Ca a lo largo del tiempo, esto indica que las plantas se fertilizaron en exceso cuando se utilizó ésta solución, al 120% (se agregaron N y Ca en cantidades mayores de las que las plantas absorbieron). Nuestro estudio concuerda con Van Iersel (1999), quien menciona que la acumulación de nutrientes ocurrió cuando las sales de fertilizante se suministraban a una concentración más alta o más rápida de lo que las plantas podrían absorber. Incrocci et al. (2006) menciona que en subirrigación, la sal tendió a acumularse en

el medio de cultivo, en particular en el tercio superior, como resultado del movimiento ascendente del agua junto con la captación selectiva de minerales de la raíz. Mientras que en el caso del Na que también presentó diferencia significativa para el caso de los irrigados con una SN de 100%, esto puede deberse a que el Na es de menor movilidad y por tal motivo se puede presentar mayor concentración en la parte inferior y parte media del contenedor. De hecho, en la subirrigación el aumento de la CE en el sustrato se asoció con la gran acumulación de Na, además; la contribución de este ion a la salinidad del sustrato aumentó con la altura del recipiente en subirrigación y disminuyó en el sistema por goteo, mientras que se encontró una tendencia opuesta para K (Incrocci et al., 2006; Treder et al., 1999).

VI. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos, mediante el uso de un sistema de subirrigación si es posible disminuir la concentración de la solución nutritiva sin que ello repercuta negativamente en el rendimiento ni calidad del tomate cultivado en un sistema sin suelo. La reducción debe ser paulatina, siendo la más conveniente aquella en la que durante la primera etapa de fructificación llevó una concentración del 100%, mientras que en la segunda y tercera etapas la que lleva un 70% y 40%, respectivamente.

VII. LITERATURA CITADA

- Ahmed, A.K., Cresswell, G.C. y Haigh, A.M. 2000. Comparación de la subirrigación y gastos generales del riego de las plantas de semillero de tomate y lechuga. *J. Hortic. Sci.* 75 (3), 350-354.
- Alarcón, V. A. L. 2005. Soluciones nutritivas y fertirriego. Consideraciones y diagnóstico en cultivo sin suelo. *Rev. Tecnoagro* 6: 16- 19.
- Britto, D. T. y Kronzucker, H. J. 2002. NH_4 Toxicity in higher plants. *J. Plant Physiol.* 159:567-584.
- Campos, C.A.B., Fernandes, P.D., Gheyi, H.R., Blanco, F.F., Gonçalves, C.B. y Campos, S.A.F. 2006. Yield and fruit quality of industrial tomato under saline irrigation. *Sci. Agric.* 63, 146–152.
- Cardarelli, M., Roupael, Y., Rea, E., Salerno, A. y Colla. G. 2010. La concentración de nutrientes en la solución y estación de crecimiento afectan el crecimiento y la calidad de petunia en maceta en un sistema de subirrigación de recirculación y de riego por goteo. *J. Food. Agr. Reinar.* 8: 312-320.
- Cepeda, A., Valdez, L. A., Mendoza, R., Sandoval, A. y Castillo, A. M. 2014. Interacción de sulfato, calcio y magnesio en el agua bajo dos tipos de riego en lechuga (*Lactuca sativa*). *Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo*.
- Coggeshall, M.V. y Van Sambeek. J.W. 2001. Desarrollo de un sistema de subirrigación con potencial para la propagación de árboles de madera dura. *Proc. Intl. Plant Prop. Soc.* 51: 443-448.
- Cox, D. A. 2001. Growth, nutrient content, and growth medium electrical conductivity of poinsettia irrigated by subirrigation or from overhead. *J. Plant Nutrit.* 24(3): 523-533.

- Dumroese, R.K., D.L. Wenny, y D.S. Page Dumroese. 1995. Vivero de aguas residuales: El problema y las posibles soluciones. Natl. Proc. Por. Conservación Nursery Assoc. Para USDA. Serv. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-365. pag. 8997.
- Fascella, G. y Y. Rouphael. 2015. Crecimiento y uso eficiente del agua en maceta *Murraya paniculata* como es afectado por el sistema de riego y el tamaño del contenedor. EUR. J. Hort. Sci. 80: 81-86.
- Francis, D. y Sorell, D. A. 2001. The interface between the cell cycle and plant growth regulators: a mini review. *Plant Growth Regulation*. 33:1-12.
- Ferrarezi, R.S., G. M. Weaver, M.W. Van Iersel, y R. Testezlaf. 2015c. Subirrigación: Historical Overview, Challenges, and Future Prospects. *HorTechnology* 25:262– 276.
- Frija, A., A. Cebil, S. Speelman, J. Buysse, y G.V. Huylenbroeck. 2009. Eficiencia técnica del uso del agua en invernaderos hortícolas en Túnez. *Agr. Agua Mgt*. 96: 1509-1516.
- Gallardo, M., Thompson, R.B., Rodríguez, J.S., Rodríguez, F., Fernandez, M,D., Sánchez, J,A. y Magán, J,J. 2009. Simulación de transpiración, el drenaje, la absorción de N, la lixiviación de nitrato y concentración de absorción de N en tomate cultivado en sustrato abierto. *Agric. Agua Manag*. 96, 1773-1784.
- García, J.C., Valdez, L.A., Robledo, V., Mendoza, R. y Hernández, A. 2015. La subirrigación como sistema de producción de pimiento (*Capsicum annum* L.) en cultivo sin suelo. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas Pub. Esp*. Núm. 12, p. 2313-2330.
- Gerendas, J., Zhu, Z., Bendixen, R., Ratcliffe, R. G. y Sattelmacher, B. 1997. Physiological and biochemical processes related to ammonium toxicity in higher plants. *Z. Pflanzenernaehr. Bodenkd*. 160:239-251.

- Giuffrida, F. y Leonardi, C. 2009. Nutrient solution concentrations in soilless closed system. *Act Hort.* 807: 463-468
- González N. J. F. 2006. Productores mayas exportan chile habanero, tomate y pepino a la Unión Europea. *Hortalizas, frutas y flores*. Editorial Agro Síntesis S.A. de C.V. México D.F.: 8 - 11.
- Hanjra, M.A. y M.E. Qureshi. 2010. Crisis global del agua y la seguridad alimentaria en el futuro en una era de cambio climático. *Políticas Alimentarias* 35: de 365- 377.
- Huang, W. Y. 2009. Factors Contributing to the Recent Increase in U.S. Fertilizer Prices, 2002-08. *Agricultural Resources Situation and Outlook Number AR-33*. U.S. Department of Agriculture, Economic Research Service, Washington, DC. 21 p.
- Iglesias, A., Garrote, L., Flores, F. y Moneo, M. 2007. Desafíos para la gestión del riesgo de escasez de agua y el cambio climático en el Mediterráneo. *Recursos Hídricos. Manag.* 21 (5), 775-788.
- Incrocci, L., Malorgio, F., Della B. A. y Pardossi, A. 2006. The influence of drip irrigation or subirrigation on tomato grown in closed-loop substrate culture with saline water. *Scientia Hort.* 107(4):365-372.
- James, E. C., y M. W. Van Iersel. 2001. Fertilizer concentration affects growth and flowering of subirrigated petunias and begonias. *HortScience.* 36(1): 40-44.
- Kent, M. W. y Reed, D. W. 1996. Nitrogen nutrition of new Guinea Impatiens "Barbados" and *Spathiphyllum* "Petite" in a subirrigation system. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 121(5):816-819.
- Kinet, J.M. y Peet, G. R. 1997. Tomato. In: Wien H.C. ed. *The physiology of vegetable crops*. CAB International. pp 207-259.

- Kotsiras, A., Olympios, C. M. y Passam, H. C. 2005. Effects of nitrogen form and concentration on yield and quality of cucumbers grown on rockwool during spring and winter in southern Greece. *J. Plant Nutr.* 28:2027-2035.
- Klock-Moore, K. A. y Broschat, T. K. 1999. Differences in bedding plant growth and nitrate loss with a controlled-release fertilizer and two irrigation systems. *HortTechnol.* 9(2):206-209.
- Klock-Moore, K. A. y T. K. Broschat. 2001. Effect of four growing substrates on growth of ornamental plants in two irrigation system. *Hortechology:* 11(3): 456-460.
- Larcher, W. 2003. *Ecología fisiológica de las plantas; Ecofisiología y estrés. Fisiología de los grupos funcionales.* Cuarta edición. Saltador. 513 p.
- León, G. 2006. *Guía para los cultivos en invernaderos.* (2daed.). México
- Mak, A. T. y Yeh, D. M. 2001. Nitrogen nutrition of *Spathiphyllum* "Sensation" grown in sphagnum-peat and coir-based media with two irrigation methods. *HortScience.* 36(4):645-649.
- Marschner, H. 1995. *Nutrición mineral de plantas superiores.* Ed. Prensa Académica. Limited, Londres. 889 pp.
- Martinetti, L., Ferrante, A. y Quattrini, E. 2008. Effect of drip or subirrigation on growth and yield of *Solanum melongena* L. in closed systems with salty water. *Res. J. Biol. Sci.* 3(5):467-474.
- Martínez, G., Ortiz, Y. y Lopez, R. 2012. Oxigenación de la solución nutritiva recirculante y su efecto en tomate y lechuga. *Revista Fitotecnia Mexicana,* 35(5), 49-52
- Massa, D., Incrocci, L., Maggini, R., Carmassi, G., Campiotti, C. A. y Pardossi, A. 2010. Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless culture of greenhouse tomato. *Agric. Water Manage* 97: 971-980.

- Mengel, K. y Kirkby, E. A. 2000. Principios de nutrición vegetal. Traducción al español de la 4^a edición de Melgar, R. J. y Ruíz, M. Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 135-146 p.
- Miller, A. J. y Cramer, M. D. 2004. Adquisición y asimilación del nitrógeno radicular. *Planta de suelo*. 274:1-36.
- Mojid, M.A., Biswas, S.K. y Wyseure, G.C.L. 2012. Efectos de la interacción de riego por las aguas residuales municipales y fertilizantes inorgánicos en el cultivo de trigo en Bangladesh. *Cereals Res.* 134, 200-207.
- Molden, D., T.Y. Oweis, S. Pasquale, J.W. Kijne, M.A. Hanjra, P.S. Bindraban, B.A.M. Bouman, S. Cook, O. Erenstein, A. Hachum, J. Hoogeveen, H. Mahoo, V. Nangia, D. Peden, A. Sikka, P. Silva, H. Turrall, A. Upadhyaya y S. Zwart. 2007. Caminos para aumentar la productividad del agua, p. 279-310. En: D. Molden (ed.). *Agua para la alimentación, agua para la vida: Una evaluación integral de la gestión del agua en la agricultura*. London, UK; IWMI, Colombo, Sri Lanka.
- Molitor, H.D. 1990. La perspectiva europea con énfasis en subirrigación y recirculación de agua y nutrientes. *Acta Hort.* 272, 165-173.
- Montesano, F., Parente, A. y Santamaria, P. 2010. Closed cycle subirrigation with low concentration nutrient solution can be used for soilless tomato production in saline conditions. *Scientia Hort.* 124(3):338-344.
- Morvant, J. K., Dole, J. M. y Allen, E. 1997. Irrigation systems alter distribution of roots, soluble salts, nitrogen, and pH in the root medium. *HortTechnol.* 7 (2):156-160.
- Nakano, Y., Sasaki, H., Nakano, A., Suzuki, K. y Takaichi, M. 2010. Growth and yield of Tomato plants as influenced by nutrient application rates with quantitative control in closed rockwool cultivation. *J. Japan. Soc. Hort. Sci.* 79:47-55.

- Navarro, B. y Navarro, G. 2003. Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid. 487 p.
- Nemali, K.S. y Van Iersel, M.W. 2004. Light intensity and fertilizer concentration: II. Optimal fertilizer solution concentration for species differing in light requirement and growth rate. HortScience 39, 1293–1297.
- Páez, O. F., Ramírez, R. G., Ruiz, F. A. C. y Soto, J. M. F. 2007. Contaminación por nutrientes de las aguas costeras, pp. 55-67. In: La contaminación por nitrógeno y fósforo en Sinaloa: flujos, fuentes, efectos y opciones de manejo. Serie lagunas costeras de Sinaloa. Universidad Autónoma de México.
- Peralta, I.E., Spooner, D.M., Knapp, S. y Anderson, C. 2008. Taxonomy of wild tomatoes and their relatives (*Solanum* sect. *Lycopersicoides*, sect. *Juglandifolia*, sect. *Lycopersicon*; Solanaceae). American Society of Plant Taxonomists.
- Parra, T. S., Salas, N. E., Villarreal, R. M., Hernández, V. S. y Sánchez, P. P. 2010. Relaciones nitrato/amonio/ urea y concentraciones de potasio en la producción de plántulas de tomate. Revista Chapingo. Serie Horticultura. 16:37-46.
- Pinto, J. R., Chandler, R. A. y Dumroese, R. K. 2008. Growth, nitrogen use efficiency, and leachate comparison of subirrigated and overhead irrigated pale purple coneflower seedlings. HortScience. 43(3): 897-901.
- Portree, J. 1997. Greenhouse vegetable production guide for commercial growers. British Columbia Ministry of Agriculture, Fisheries and Food.
- Purvis, P., Chong, C. y Lumis, G. P. 2000. Recirculation of nutrients in container nursery production. Canada. Canadian J. Plant Sci. 80(1):39-45.

- Putra, P.A. y H. Yuliando. 2015. cultivo sin suelo sistema para apoyar el uso de la eficiencia del agua y calidad del producto: Una revisión. *Agr. Agr. Sci. Proc.* 3: 283-288.
- Rahayu, Y. S., Walch-Liu, P., Neumann, G., Romheld, V., Von Wiren, N. y Bangerth, F. 2005. Rootderived cytokinins as long-distance signals for NO₃ - induced stimulation of leaf growth. *J. Exp. Bot.* 56:1143-1152.
- Ramírez, V.J. y Sáinz, R.R.A. 2006. Manejo integrado de las enfermedades del tomate. Primera edición. Editorial Once Ríos. México.
- Reed, D. W. 1996. Closed production systems for containerized crops: recirculating subirrigation and zero-leach system. In: water, media and nutrition for greenhouse crops. Reed, D. W. (Ed). 1ª (Ed.). Ball Publishing. Batavia, IL, USA. 221-245 pp.
- Rodríguez, A. 2004. Formulación de soluciones nutritivas, congreso internacional de hidroponía. Universidad Autónoma de Chihuahua, México.
- Rodríguez, E. A. 2017. Efecto de la concentración de la solución nutritiva y la etapa de fructificación en tomate en un sistema de subirrigación. Tesis de licenciatura. UAAAN. Buenavista, Saltillo, Coahuila, Mexico.
- Rouphael, Y., G. Colla, A. Battistelli, S. Moscatello, y E. Rea. 2004. Rendimiento, la necesidad de agua, la absorción de nutrientes y la calidad del fruto del calabacín Squash crece en un cultivo del suelo y sin suelo. *J. Hort. Sci. Biotechnol.* 79: 423-430.
- Rouphael, Y. y Colla, G. 2005. Growth, yield, fruit quality and nutrient uptake of hydroponically cultivated zucchini squash as affected by irrigation systems and growing seasons. *Scientia Hort.* 105(2):177-195.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E. y Colla, G. 2008. The influence of irrigation system and nutrient solution concentration on potted geranium production

- under various conditions of radiation and temperature. *Scientia Hort.* 118(4):328-337.
- Rouphael, Y., Cardarelli, M., Rea, E., Battistelli, A. y Colla, G. 2006. Comparison of the subirrigation and drip-irrigation systems for greenhouse zucchini squash production using saline and nonsaline nutrient solutions. *Agric. Water Manag.* 82(1):99-117.
- Salsac, L., Chaillou, S., Morot-Gaudry, J., Lesaint, C. y Jolivet, E. 1987. Nitrate and ammonium nutrition in plants. *Plant Physiol. Biochem.* 25:805-812.
- Sánchez del C.F., J. Ortiz C, M.C. Mendoza C, V.A. González H. y M.T. Colinas L. 1999. Características morfológicas asociadas con un arquetipo de jitomate para un ambiente no restrictivo. *Rev. Agrociencia* 33:21 - 29.
- Sandoval, V. M., Alcántar, G. G. y Tirado, T. J. L. 1995. Use of ammonium in nutrient solutions. *J. Plant Nutr.* 18:1449-1457.
- Santamaría, P., Campanile, G., Parente, A. y Elia, A. 2003. Subirrigation vs. drip-irrigation: effects on yield and quality of soilless grown cherry tomato. United Kingdom. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 78(3):290-296.
- Scholberg, J.M.S. y Locascio, S.J. 1999. Respuesta de crecimiento del frijol y el tomate afectados por la salinidad y el método de riego. *Hort Sci.* 34 (2), 259–264.
- Siddiqi, M.Y., H.J. Kronzucker, D.T. Britto, y A.D.M. Glass. 1998. El crecimiento de un cultivo de tomate en concentraciones de nutrientes reducidos como una estrategia para limitar la eutrofización. *J. Plant. Nutr.* 21: 1879-1895.
- Sonneveld, C. y Voogt, W. 2009. Nutrición de las plantas de los cultivos de invernadero. Springer, Nueva York.
- Steiner, A. A. 1984. The universal nutrient solution. Sixth International Congress on Soilless Culture. ISOSC Proceeding. The Netherlands. 633-649 pp.

- Szczerba, M. W., Britto, D. T. y Kronzucker, H. J. 2006. Rapid, futile K⁺ cycling and pool-size dynamics define low-affinity potassium transport in barley. *Plant Physiol.* 141:1494-1507.
- Treder, J., Matysiak, B., Nowak, J.S. y Nowak, J. 1999. Los efectos de los medios de cultivo y la concentración de la solución nutritiva sobre el crecimiento y el contenido de nutrientes de tres especies de *Ficus* cultivadas en bancos de flujo y reflujo. *Minutos Hort.* 481, 433-439.
- Todd, N.M. y Reed, D.W. 1998. Characterizing salinity limits of New Guinea *Impatiens* in recirculating subirrigation. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 123 (1), 156–160.
- Urrestarazu, G. M. 2004. Tratado de cultivo sin suelo. Mundi-Prensa, 3ª edición, Almería. España. Consultado 26 de agosto del 2018.
- Uva, W., Weiler T. y Milligan, R. 2001. Economic analysis of adopting zero runoff subirrigation systems in greenhouse operations in the northeast and north central United States. *HortScience.* 36(1):167-173.
- Van Iersel, M.W. 1999. Fertilizer Concentración afecta el crecimiento y composición de nutrientes de subirrigación Pensamientos. *HortScience*, 34, 660 ± 663.
- Van Os, E. A. 1999. Closed soilless growing systems: a sustainable solution for Dutch greenhouse horticulture. *Water Sci. Technol.* 39(5):105-112.
- Vox, G., Teitel, M., Pardossi, A., Minuto, A., Tinivella, F. y Schettini, M.I. 2010. Agricultura: la tecnología, la planificación y la gestión. En: Salazar, A., Ríos, I. (Eds.), *Sistemas de invernadero Sostenible*. Nova Science Publishers, Nueva York, pp. 1-79.
- Voogt, W. 1995. Effects of the pH on rockwool grown carnation (*Dianthus caryophyllus*). *Acta Hortic.* 401:327-336.

- Wang, M. Y., Siddiqui, M. Y. y Glass, A. D. M. 1996. Interaction between K and NH₄: effects on ion uptake by rice roots. *Plant Cell Environ.* 19:1037-1046.
- Xu, G., Wolf, S. y Kafkafi, U. 2002. Ammonium on potassium interaction in sweet pepper. *J. Plant Nutr.* 25:719-734.
- Yin, Y.G., Kobayashi, Y., Sanuki, A., Kondo, S., Fukuda, N., Ezura, H., Sugaya, S. y Matsukura, C. 2010. Salinity induces carbohydrate accumulation and sugar-regulated starch biosynthetic genes in tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. 'Micro-Tom') fruits in an ABA-and osmotic stress-independent manner. *J. Exp. Bot.* 61, 563–574.
- Zhang, P., Senge, M. y Dai, Y. 2017. Effects of Salinity Stress at Different Growth Stages on Tomato Growth, Yield, and Water-Use Efficiency. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 48, 624–634.
- Zheng, Y., Graham, T., Richard, S. y Dixon, M. 2004. Potted gerbera production in a subirrigation system using low-concentration nutrient solutions. *HortScience* 39 (6), 1283–1286

Páginas electrónicas consultadas

- Chávez et al. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Mendoza. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. 148 p. Disponible en: http://www.nutricaodeplantas.agr.br/site/downloads/unesp_jaboticabal/Manual_Sol_n_Nutritivas.pdf. Consultado 28 de julio del 2017.
- FAO. 2011. Final 2009 Data <http://faostat.fao.org>. Consultado 26 de enero del 2019.
- Favela, C. E., Preciado, R. P., Benavides, M. A. 2006. Manual para la preparación de soluciones nutritivas. Departamento de Horticultura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna, Coahuila. <http://www.nutricaodeplantas.agr.br/site/>. Consultado 25 de agosto del 2018.

- FIRA, 2017. Panorama agroalimentario tomate rojo 2017 pj. 2 Disponible en <https://www.fira.gob.mx/InfEspDtoXML/abrirArchivo.jsp?abreArc=65310>. Consultado 26 de enero del 2019
- Lara, H. A. 2000. Manejo de solución nutritiva en la Producción de Tomate en Hidroponía. <http://www.chapingo.mx/terra/contenido/17/art221-229.pdf>. Consultado 26 de agosto del 2018.
- MÉXICOPRODUCE. 2012. Productos: jitomate. <http://www.mexicoproduce.mx/productos.html#jitomate>. Consultado 22 de julio del 2017.
- Hydroenvironment. 2008. Sistema Nutrient Film Technique. Recuperado de: http://hydroenv.com.mx/catalogo/index.php?main_page=page&id=10. Consultado 25 de agosto del 2018.
- Mosse F. 2004. Hidroponía: Cultivos sin suelo. En línea: <http://anpso.com/monografias/hidroponia/>. Consultado el 17 de junio del 2018.
- Ocaña-Romo, C. R. 2008. En crecimiento. Desarrollo de invernaderos en México. www.hortalizas.com. Consultado 25 de mayo 2017.
- Perea, 2009. Invernaderos y riego. Aun con crisis seguirá creciendo superficie de invernadero. La imagen agropecuaria. www.imagenagropecuaria.com. Consultado 25 de mayo del 2017.
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación). 2012. Agricultura protegida 2012. <http://www.sagarpa.gob.mx/agricultura/paginas/agriculturaprotegida2012.aspx>. Consultado 27 de mayo del 2017.
- SIAP 2018. Resumen nacional de producción agrícola. Disponible en <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Consultado 26 de enero del 2019