

## Proporción de drenaje de la solución nutritiva en el rendimiento y calidad de tomate en hidroponía

Rodolfo de la Rosa-Rodríguez<sup>1</sup>

Alfredo Lara-Herrera<sup>2§</sup>

Luz Evelia Padilla-Bernal<sup>3</sup>

J. Jesús Avelar-Mejía<sup>2</sup>

Martha Patricia España-Luna<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Unidad Académica de Ingeniería Eléctrica-Universidad Autónoma de Zacatecas (UAZ). Ramón López Velarde núm. 801, Col. Centro, Zacatecas, México. (rodox116@hotmail.com). <sup>2</sup>Unidad Académica de Agronomía-UAZ. Carretera Zacatecas-Guadalajara km 15.5, Zacatecas, México. (alara204@hotmail.com; javelarm@gmail.com; mpesp24@yahoo.com). <sup>3</sup>Unidad Académica de Contaduría y Administración-UAZ. Calle Comercio y Administración S/N, Fraccionamiento Progreso, Zacatecas, México. (luze@uaz.edu.mx).

§Autor para correspondencia: alara204@hotmail.com.

### Resumen

La limitada disponibilidad de agua que cada vez es más severa a nivel mundial, exige un uso más eficiente del agua en la producción agrícola. Los sistemas hidropónicos cerrados hacen un uso más eficiente del agua, donde la solución nutritiva excedente es recuperada, regenerada y reusada en el mismo cultivo. El objetivo de este trabajo de investigación fue conocer los efectos en producción y calidad de frutos con seis porcentajes de drenaje (%D): 25, 30, 40, 45, 55 y 60%D de la solución nutritiva en un cultivo de tomate. Se usaron macetas con sustrato perlita fina previamente utilizado. La investigación se realizó en el año 2016 en la Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Se midió el número, tamaño, peso y rendimiento de frutos, productividad del agua y la calidad de los frutos (conductividad eléctrica, potencial de Hidrógeno, sólidos solubles, acidez e índice de madurez en zumo) en dos etapas de la producción. Hubo diferencia significativa en rendimiento y calidad para los tratamientos 3 y 4 y 1 y 2 respectivamente. Con %D de 40% se obtuvo mayor rendimiento, pero con 25% de drenaje se aumentó el contenido de sales y azúcares en fruto y se obtiene la mayor productividad con respecto a los demás porcentajes.

**Palabras clave:** *Lycopersicon esculentum* Mill, riego, recirculación, porcentaje de drenaje.

Recibido: noviembre de 2017

Aceptado: enero de 2018

## Introducción

La mayoría de los cultivos en invernadero se desarrollan utilizando sustratos artificiales en sistemas hidropónicos, estos sustratos son preferidos al suelo por sus características fisicoquímicas, ya que en ellos se puede tener mejor control sobre el agua, la aireación, la nutrición y distribución de las raíces (Ehret *et al.*, 2001). Estos sistemas de cultivo se caracterizan por no requerir de suelo, por lo que representan una alternativa en los lugares donde el mismo se ha degradado o presenta deficiencias físicas o químicas; además, permiten hacer uso más eficiente del agua (Moreno *et al.*, 2015).

La hidroponía se usa para desarrollar plantas en solución nutritiva (SN) a base de agua y nutrientes, con o sin el uso de un medio o sustrato. La SN debe tener la proporción adecuada de nutrientes en forma iónica (aniones y cationes), necesaria para que las plantas puedan absorberlos (Baca *et al.*, 2016). Los sistemas hidropónicos son muy usados para la producción de hortalizas en invernadero, tienen un alto grado de eficiencia en el uso del agua, el área de riego es reducida debido a que el crecimiento radical no necesita crecer en exceso, ya que los nutrientes están disponibles en las cantidades óptimas (López *et al.*, 2011; Cuervo *et al.*, 2012).

Los sistemas hidropónicos en los que se utilizan sustratos se conocen como abiertos, cuando el exceso de SN que drena de estos se dirige al suelo, infiltrándose al subsuelo (AlShrouf, 2017) o en el mejor de los casos se usa fuera del invernadero en un cultivo alterno (Savvas, 2003). Los sistemas abiertos requieren de un alto consumo de agua por presentar un gran desperdicio de ella, lo que representa un costo elevado y un impacto negativo en el ambiente (Pardossi *et al.*, 2011; Sánchez *et al.*, 2014; Moreno *et al.*, 2015).

En los sistemas hidropónicos cerrados, donde sí existe recirculación de SN, es más eficiente el uso del agua y los nutrientes que se aplican para el crecimiento y desarrollo de un cultivo, ya que la SN que drena del sistema (drenaje) es captada y utilizada nuevamente en el mismo sistema de producción; sin embargo, un aspecto que limita la reutilización de la SN y con esto la eficiencia en el uso del agua y de los nutrientes es la obtención de un rendimiento menor, disminución de la calidad, acumulación de toxinas (fitotoxicidad) deficiencias minerales y el riesgo de diseminación de microorganismos que causan enfermedad en la raíz del cultivo (Déniel *et al.*, 2006; Sánchez *et al.*, 2014). En un sistema cerrado es fundamental mantener una conductividad eléctrica adecuada ( $1.5$  a  $3.5$  dS  $m^{-1}$ ) durante el ciclo de cultivo, que en el tomate de crecimiento indeterminado puede ser hasta 11 meses, lo cual puede resultar técnicamente complicado y debido al ciclo tan largo, las plantas están expuestas a enfermedades por más tiempo (Sánchez *et al.*, 2014).

Los sistemas hidropónicos en sustrato tienen un porcentaje de drenaje promedio de 27% de la SN aplicada al cultivo, desde 20% después en los primeros riegos del día, hasta 40 o 50% en las horas centrales del día, con un promedio durante el día de 27%, manteniendo este rango de porcentaje de drenaje (20 - 50%) por medio de la frecuencia y tiempo de riego, se reduce el riesgo de acumulación de iones que en exceso pueden resultar tóxicos para las plantas (Sengupta y Banerjee, 2012; Salazar *et al.*, 2014). El tiempo y la frecuencia de riego determinan la cantidad de agua aplicada al cultivo, la cual se suministra por medio del sistema de riego que, en los sistemas hidropónicos generalmente es por goteo.

La cantidad de agua aplicada y la frecuencia de riego afectan directamente la eficiencia en el uso del agua; el sustrato también debe ser tomado en cuenta al momento de definir la frecuencia y tiempo de riego ya que dependiendo principalmente de sus características físicas retendrá mayor o menor cantidad de agua en su espacio poroso (Hao *et al.*, 2013). La perlita es uno de los sustratos más utilizados para tomate ya que posee buenas características físicas, como retención de humedad, capacidad de aireación, densidad y porosidad (AlShrouf, 2017). El porcentaje de drenaje debe de manejarse adecuadamente y ser el óptimo para satisfacer las necesidades de la planta y al mismo tiempo no provocar un derroche de agua y nutrientes (Sánchez *et al.*, 2014).

Mediante el manejo del riego (frecuencia y tiempos de riego) se generan las magnitudes de la SN drenada. Existe poca información sobre cuál es el porcentaje de SN drenada con el cual las plantas de tomate tienen las mejores condiciones para su crecimiento, rendimiento y calidad de frutos en un sistema hidropónico cerrado; debido a esto, el objetivo de la presente investigación es generar información en ese sentido.

## **Materiales y métodos**

### **Ubicación y condiciones ambientales del lugar**

El presente trabajo se llevó a cabo en un invernadero de tipo túnel de 120 m<sup>2</sup>, con control pasivo de clima, en él se estableció un sistema hidropónico cerrado, en el cual se midieron tres tiempos de riego con uno y dos goteros, para obtener seis porcentajes de drenaje de la SN desde las macetas a un reservorio para su reciclaje, el invernadero se ubica en la Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas, en las coordenadas: 22.72° latitud norte y 102.68° longitud oeste, y altitud de 2 440 m.

### **Tratamientos y diseño experimental**

Se evaluaron seis tratamientos de drenaje de la SN, resultantes de la combinación de tres tiempos de duración del riego (1, 2 y 3 min) y dos flujos de los emisores (2 y 4 L h<sup>-1</sup>), los porcentajes de drenaje (%D) de la SN en los tiempos de riego mencionados y el flujo de 2 L h<sup>-1</sup> fueron: 25, 30 y 40, los cuales corresponden a los tratamientos 1, 2 y 3, respectivamente; las combinaciones con los mismos tiempos de riego y el flujo de 4 L h<sup>-1</sup>, los %D fueron de 45, 50 y 60, correspondientes a los tratamientos 4, 5 y 6, respectivamente. Las frecuencias de los riegos variaron entre 20 y 30 min, dependiendo de la etapa de desarrollo de las plantas.

Cada tratamiento constó de cinco repeticiones, donde cada unidad experimental estuvo constituida por seis macetas con 25 litros de perlita fina como sustrato y dos plantas de tomate en cada maceta, teniéndose una densidad de 3 plantas por metro cuadrado. Cada hilera de seis macetas contó con un sistema de captación de la SN que por gravedad la condujo de las macetas hasta un contenedor para determinar el volumen de la SN drenada, con este valor y el volumen de SN aplicada por día, se determinó el %D (Massa *et al.*, 2010), la SN drenada de cada tratamiento fue conducida hasta un depósito con capacidad de 1000 L en el cual se midió la conductividad eléctrica y el pH, para restaurar a la SN en estos parámetros.

## Material vegetal y sistema de producción

La variedad de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) utilizada fue el híbrido “El Cid”, de hábito de crecimiento indeterminado, del tipo saladette. El trasplante se realizó a los 35 días después de la siembra. La perlita fue reutilizada de cuatro ciclos previos para la producción de tomate, pepino (*Cucumis sativus* L.), tomate y tomate nuevamente. La perlita fue desinfectada antes de ser utilizado en cada ciclo de cultivo con hipoclorito de sodio a una concentración de 4 mg L<sup>-1</sup> (Cayanan *et al.*, 2009).

## Manejo de la solución nutritiva durante el experimento

Se utilizó la SN Steiner en 75% de los primeros riegos (entre 28 y 32 riegos) de cada día, la SN drenada de cada tratamiento se almacenó en su respectivo reservorio, antes de los últimos ocho riegos de cada día la SN drenada se restableció añadiendo el agua necesaria para disminuir la CE a  $1.7 \pm 0.1$  dS m<sup>-1</sup> y la cantidad necesaria de una solución 1 N de nitrato de potasio para lograr una CE de  $2 \pm 0.1$  dS m<sup>-1</sup> y la cantidad necesaria de una solución 1 N de ácido sulfúrico o fosfórico para re-establecer el pH a  $5.5 \pm 0.1$ . El ácido fosfórico sólo se utilizó cuando el contenido de fósforo presente en la SN descendió a 35 ppm.

El agua utilizada para preparar la SN tuvo: pH= 7.23, CE= 0.55 dS m<sup>-1</sup>, concentración de iones solubles en mol<sub>e</sub> m<sup>-3</sup>: NO<sub>3</sub>= 0.21, P-PO<sub>4</sub>= 0.02, SO<sub>4</sub>= 0.7, HCO<sub>3</sub>= 3.6, Cl= 0.8, Ca= 1.85, Mg= 1.48, K= 0.26, Na= 2.09 y en mg L<sup>-1</sup> los micronutrientes: Fe= 0.03, Mn= 0.02, Zn= 0.01, Cu= 0 y B=0.1.

Los fertilizantes utilizados para preparar la SN fueron nitrato de calcio (Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·0.2NH<sub>4</sub>NO<sub>3</sub>·H<sub>2</sub>O), nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>), sulfato de potasio (K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), sulfato de magnesio (MgSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O), fosfato monopotásico (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>), ácido fosfórico (H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>) y ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>). Para proporcionar los micronutrientes se utilizó un fertilizante que contiene una concentración de: 6.6, 2.6, 1.1, 0.9, 0.3 y 0.2%, de Fe, Mn, Zn, B, Cu y Mo, respectivamente, cuya concentración en la SN fue de: 1.98, 0.78, 0.33, 0.27, 0.09 y 0.06 mg L<sup>-1</sup>, para los micronutrientes respectivos; Fe, Mn, Zn y Cu se aplicaron en forma de quelato con EDTA. El agua utilizada fue directamente de pozo profundo, la presencia en ella de bacterias y hongos fue negativa.

## Variables medidas en la planta

En una planta de cada unidad experimental se llevaron a cabo las siguientes mediciones.

Rendimiento. Fue expresado en kilogramos producidos por cada metro cuadrado, también se evaluaron tres componentes de rendimiento fundamentales que fueron:

Número de frutos por planta. Se contaron los frutos cosechados durante el ciclo que llegaron a madurez fisiológica y finalmente se obtuvo la media de los frutos cosechados por planta.

Tamaño de frutos. Se obtuvo al momento de cosecha con un vernier digital ScalaTM en milímetros midiendo los diámetros ecuatorial y polar.

Peso de frutos. Los frutos fueron pesados al ser cosechados, el pesaje se realizó con una báscula digital EK-200i con precisión de 0.01 g. La medición de tamaño y peso de frutos permitió clasificar los frutos en categorías de acuerdo con la siguiente escala: 1a (>130 g), 2a (100-130 g), 3a (60-100 g) y 4a (<60 g).

### **Variables medidas en calidad de fruto**

Fueron tomadas muestras de frutos en dos etapas de la producción, con el mismo índice de madurez (color), en el cuarto y en el octavo racimos, las muestras estuvieron constituidas por cinco frutos considerando la misma posición de ellos en racimo. Los frutos fueron triturados y molidos en un extractor de jugo marca Krups 267. Después de extraer el jugo con una fibra de malla 80 se utilizó para determinar las siguientes variables de calidad:

Sólidos solubles totales (SST). Se tomó una gota del jugo de la muestra obtenida y fue colocada en el sensor de un refractómetro Atago, modelo N-1E, con un rango de lectura de 0 a 32 °Brix.

pH y Conductividad eléctrica. Fueron medidas con un potenciómetro LAQUAtwin B-712 para la prueba de pH y un conductivímetro Laquatwin B-771 para conductividad eléctrica en una muestra de 50 mL de jugo extraído de los frutos, la precisión de la medición fue de 0.01 en ambas propiedades.

Acidez titulable. Fue determinada mediante el método utilizado por San Martín *et al.* (2012). Esta variable se expresó en porcentaje (AT%) como porcentaje de ácido cítrico.

Índice de madurez (IM). Para la determinación de este parámetro se calculó con el método usado por San Martín *et al.* (2012), obteniendo la relación entre SST y AT.

### **Variables medidas en la solución nutritiva**

CE y pH. Estos parámetros fueron medidos con un medidor PCE-CM 41 para conductividad eléctrica y un medidor PCE-PH 22 para pH. Estos parámetros se midieron para regular la nutrición del cultivo y tener un desarrollo normal y equilibrado y se midieron tanto en la SN aplicada como en la drenada.

Para restablecer el pH, se utilizaron ácidos sulfúrico y fosfórico, la cantidad que se aplicó fue la requerida para disminuir nuevamente el pH a un valor de 5.5.

Volumen de solución aplicada. Se instaló un gotero extra en cada unidad experimental en un recipiente para captar la solución aplicada en un día, al término del día se midió con una probeta graduada, obteniendo el volumen aplicado por día por planta.

Volumen de solución drenada. En cada contenedor (bandeja de drenaje) instalado en cada repetición se colectó la SN drenada y se midió su volumen con la ayuda de una probeta graduada, por día y por unidad experimental. Este parámetro también permitió controlar el riego (frecuencia, entre cada 30 y 40 minutos; y número de riegos, entre 30 y 50) y la restauración del pH y la CE de la SN.

Porcentaje de drenaje (%D). Se obtuvo mediante la relación entre el volumen aplicado y el volumen drenado.

Productividad del agua. Se realizó un registro de la cantidad de SN aplicada para cada tratamiento durante el ciclo de cultivo. Posteriormente se obtuvo la relación en kilogramos por metro cúbico de la cantidad de agua aplicada y la cantidad de frutos producidos con tal cantidad.

### **Análisis estadístico**

Los datos obtenidos fueron analizados en un diseño experimental en bloques completos al azar y sometidos a un análisis de varianza (Anova) y una prueba de medias mediante el criterio de Tukey, con ( $\alpha \leq 0.05$ ). Este análisis se realizó con el programa estadístico SAS (Statistical Analysis System) versión 9.4.

## **Resultados y discusión**

### **Variables medidas en la planta**

Rendimiento. El rendimiento fue mayor en los tratamientos con 40 y 45% D con respecto a los demás tratamientos (Cuadro 1), estos rendimientos son mayores 14% a los obtenidos por Sánchez *et al.* (2014), donde evaluaron sistemas hidropónicos abiertos y cerrados, la presente investigación proporcionó resultados un poco inferiores a los obtenidos por Oztekin *et al.* (2008) y Nakano *et al.* (2010) ya que no encontraron diferencias significativas utilizando sustratos distintos y nuevos y diferentes sistemas hidropónicos abiertos y cerrados en cultivo de tomate.

Número de frutos. El número de frutos por planta no fue diferente entre los tratamientos evaluados (Cuadro 1). El número de frutos en los tratamientos osciló con mayor frecuencia entre 40-50 frutos por planta durante los 18 cortes realizados en todo el ciclo (mayo a noviembre), estos resultados son similares a los obtenidos por Urrieta *et al.* (2012). La razón de no haber diferencias se debe probablemente a que el número de frutos está fuertemente influenciado por algunas características morfológicas de las plantas, entre ellas el tipo de inflorescencia y el número de flores por racimo (Rivas *et al.*, 2012).

Tamaño de frutos. Esta variable fue mayor en los tratamientos con 40 y 45% D respecto a los demás tratamientos (Cuadro 1); sin embargo, los resultados de los seis tratamientos son similares a los de Ucan *et al.* (2004). El tamaño del fruto está fuertemente relacionado con el número de frutos, ya que, a un menor número de frutos, mayor es la cantidad de fotoasimilados destinados a cada fruto, propiciándose mayor tamaño de fruto (Ucan *et al.*, 2004; Rivas *et al.*, 2012).

Peso de frutos. El peso de los frutos se relacionó fuertemente con el tamaño, a mayor tamaño mayor peso, por esta razón el peso de los frutos también fue mayor en los tratamientos con 40 y 45% D (Cuadro 1), estos tratamientos presentaron un peso medio de fruto superior 23% respecto al tratamiento con el menor peso promedio de fruto, correspondiente al tratamiento con 25% D, lo cual puede deberse principalmente a que en este tratamiento se presentó mayor estrés en la planta afectando su rendimiento (Sengupta y Banerjee, 2012; Sánchez *et al.*, 2014).

**Cuadro 1. Rendimiento y productividad de frutos de tomate en hidroponía con diferente porcentaje de drenaje de solución nutritiva en 18 cortes realizados en el ciclo.**

Porcentaje de drenaje	Frutos por planta	Diámetro (mm)		Peso por fruto (g)	Rendimiento (kg m <sup>-2</sup> )	Productividad del agua (kg m <sup>-3</sup> )	Categoría y predominancia (%)	
		Polar	Ecuatorial					
25	44.7a <sup>†</sup>	59.92b	48.98b	90.02b	12b	43.09a	3	75-100
30	45.81a	61.95b	48.84b	92.48b	12.7b	41.03a	3	75-100
40	44.9a	65a	51.8a	116.9a	15.7a	33.81b	2	80-100
45	44.5a	64.92a	51.5a	116.6a	15.5a	29.86b	2	80-100
55	46.54a	62.18b	49.97b	94.18b	13.5b	22.54c	3	80-100
60	44.3a	60.3b	49.45b	92.9b	12.3b	18.48c	3	75-100
DHS <sup>‡</sup>	2.29	2.26	1.79	22.2	3.54	3.97		

<sup>†</sup>= medias seguidas con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas (Tukey, 0.05);

<sup>‡</sup>= DHS= diferencia honesta significativa.

Las variables mencionadas anteriormente (tamaño y peso de frutos) se determinó que los frutos que predominaron tuvieron pesos de 60 a 100 g para los tratamientos con 25, 30, 50 y 60%D y de categoría 2 (100-130 g) para los tratamientos con 40 y 50%D (Cuadro 1), de acuerdo con la escala establecida para los tamaños (diámetros polar y ecuatorial) y pesos de los frutos.

### Variables medidas en calidad de fruto

Sólidos solubles totales (SST). El tratamiento con 25%D fue estadísticamente mayor a los demás en ambas etapas de medición; asimismo, el tratamiento con 30%D también fue mayor en la segunda etapa, los resultados obtenidos variaron desde 4.85 hasta 5.99 °Brix (Cuadro 2), estos valores son superiores a los encontrados por Rivas *et al.* (2012) de 4.57 a 5.10 °Brix en distintos cultivares de tomate y Urrieta *et al.* (2012) de 4.81 a 5.33 °Brix usando variedades nativas como material vegetal.

Los SST son un parámetro de calidad del fruto que varía con la conductividad eléctrica de la SN y el estrés hídrico del fruto durante su desarrollo (Céspedes *et al.*, 2004), la mayor condición de estrés hídrico en esta investigación se presentó en los tratamientos de 25 y 30%D, los frutos de tomate de plantas bajo este tipo de estrés almacenan principalmente iones y moléculas orgánicas como fructosa y glucosa (Munns, 2002), lo cual incrementa los SST. Los resultados de la presente investigación van de acuerdo con los encontrados por Chang *et al.* (2012) quienes encontraron que con porcentajes de drenaje de SN menores a 30% o cercanos, se incrementan los SST y al aumentar %D los SST disminuyen.

pH de jugo. El pH en el jugo no tuvo diferencia significativa en ninguno de los tratamientos evaluados. El pH es un indicador de calidad, los mejores valores en tomates de calidad para esta variable están entre 4 y 5 (Aguayo *et al.*, 2004) y los resultados obtenidos en esta investigación concuerdan con lo mencionado (Cuadro 2), un jugo de frutos con menor acidez tiene mayor aceptación, ya que así resalta más su sabor dulce y agradable al consumirlo en fresco (Urrieta *et al.*, 2012).

Conductividad eléctrica. En esta variable se encontraron valores desde 5.30 (tratamiento con 60 %D, Etapa 1) hasta 6.32 (tratamiento con 25 %D, etapa 2) (Cuadro 2). Los tratamientos con 25 y 30 %D presentaron mayor CE, debido a la acumulación de solutos (sales) en el sustrato, los

resultados encontrados en esta variable en todos los tratamientos concuerdan con los observados por San Martín *et al.* (2012), quienes encontraron que existe una relación directa entre la salinidad acumulada en el sustrato y la conductividad eléctrica del fruto; asimismo, a medida que se disminuye %D, la acumulación de sales aumenta elevando la CE en la raíz y también en el jugo del fruto (Sengupta y Banerjee, 2012).

Acidez titulable. Los tratamientos ensayados no presentaron diferencias estadísticas en las dos etapas de producción (Cuadro 2). Los seis tratamientos presentaron valores desde 0.15 hasta 0.32% de acidez (Cuadro 2), similares a los obtenidos por Bugarín-Montoya *et al.* (2002) (0.19-0.32%) con diferentes concentraciones de potasio en un sistema hidropónico cerrado, y un poco menores a los encontrados por Rivas *et al.* (2012) (0.25-0.43%) utilizando cultivares diversos.

**Cuadro 2. Calidad de frutos de tomate por efecto de seis porcentajes de drenaje de la solución nutritiva en un sistema hidropónico cerrado, en dos etapas de desarrollo de la planta.**

Etapa	Porcentaje de drenaje	SST	pH	CE	AT	IM
1	25	5.91a <sup>†</sup>	4.69a	6.05a	0.27a	21.88c
	30	5.42b	4.67a	5.7b	0.32a	16.93c
	40	5.08b	4.56a	5.66b	0.18a	28.22b
	45	4.9c	4.59a	5.68b	0.22a	22.36c
	55	4.98c	4.52a	5.57c	0.15a	33.2a
	60	4.85c	4.46a	5.3c	0.18a	26.95b
2	25	5.99a	4.55a	6.32a	0.28a	21.81c
	30	5.6a	4.59a	5.95b	0.19a	29.42a
	40	5.43b	4.51a	5.64b	0.27a	20.14c
	45	5.4b	4.61a	5.59c	0.25a	21.64c
	55	5.35b	4.37b	5.53c	0.19a	33.43a
	60	5.15b	4.62a	5.58c	0.22a	30.23a
DHS		0.4	0.26	0.35	0.3	4.42

<sup>†</sup>= medias seguidas con la misma letra dentro de columnas no presentan diferencias significativas (Tukey, 0.05). SST= sólidos solubles totales; pH= potencial de hidrogeno; CE= conductividad eléctrica; AT= acidez titulable; IM= índice de madurez; DHS= diferencia honesta significativa.

Índice de madurez. Este índice fue mayor en el tratamiento con 55%D en la primera etapa y con 55 y 60%D en la segunda etapa, lo cual se debe a la combinación de altos valores de SST con bajos en AT, los resultados obtenidos en los seis tratamientos variaron entre 16.9 y 33.4 para el IM (Cuadro 2) con una media de 26.7. Con valores obtenidos en un intervalo de 12 a 18 el índice de madurez es el indicado para muchas variedades de tomate (Bugarín-Montoya *et al.*, 2002). De acuerdo con Kader *et al.* (1978) cuando el IM es mayor a 10 los frutos de tomate son considerados de mejor calidad.

### Variables medidas en la solución nutritiva

Es importante destacar, que estas variables en la solución nutritiva sólo fueron medidas con el fin de llevar una adecuada nutrición vegetal y correcta aplicación de la misma, para así tener un equilibrio en el desarrollo de las plantas.

CE y pH. En la SN aplicada se mantuvieron valores entre 1.7 y 2.6 dS m<sup>-1</sup> y entre 5.5 y 6 respectivamente, dependiendo de la etapa de desarrollo en la que se encontraba el cultivo como lo recomiendan Putra y Yuliando (2015); Baca *et al.* (2016). La CE y el pH de la SN drenada se incrementaron durante el ciclo (resultados no reportados), con medias de 4.28, 4.19, 4.11, 4.04, 3.82, 3.77 y 4.32 dS m<sup>-1</sup> de CE para los seis tratamientos y medias de 6.65, 6.62, 6.79, 6.37, 6.58, y 6.5.

En la CE estos resultados obtenidos se deben probablemente a que la planta absorbe en proporción mayor cantidad de agua que nutrientes, y tomando en cuenta la cantidad de agua que se pierde por evaporación, la solución drenada tendrá una concentración de soluto (nutrientes) mayor que de agua (solvente), aumentando de esta manera la conductividad eléctrica. Resultados semejantes a la presente investigación encontraron Chang *et al.* (2012) con distintos porcentajes de drenaje y porcentaje de drenaje cero, ya que la conductividad eléctrica aumentaba al disminuir el porcentaje de drenaje obteniendo de 2-6 dS m<sup>-1</sup> con porcentajes de 30 a 50%.

Productividad del agua. La productividad obtenida en los seis tratamientos osciló entre los 18 y 43 kilogramos de frutos producidos por cada metro cúbico de agua aplicado (Cuadro 1), a pesar de que no hubo diferencia en la variable de número de frutos, si hubo diferencia significativa para productividad, presentando los mayores valores los porcentajes de drenaje más bajos (25 y 30%) ya que fueron en los que la cantidad de agua aplicada fue menor y a medida que el porcentaje de drenaje aumentó la productividad del agua disminuyó. La productividad refleja un uso eficiente del agua, en los sistemas hidropónicos y en especial los cerrados se pueden alcanzar ahorros de agua desde 30 a 40% (Komosa *et al.*, 2011) o hasta 46% (Dasgan y Ekici, 2005).

## Conclusiones

El porcentaje de drenaje de la solución nutritiva tuvo efecto en el rendimiento de frutos de tomate, con 40 y 45% de drenaje se tuvieron los mayores rendimientos, con un incremento de hasta 25%.

El mayor rendimiento de frutos no se debió al mayor número de frutos, sino al mayor tamaño (diámetros polar y ecuatorial) y peso de los frutos, los tratamientos con los que se incrementaron estos parámetros fueron con 40 y 45% de drenaje de la solución nutritiva.

Porcentajes de drenaje de la solución nutritiva inferiores a 40% favorecen algunos parámetros de calidad de los frutos como la concentración de azúcares (sólidos solubles totales) y conductividad eléctrica en el jugo de los frutos de tomate, pero se reduce el rendimiento.

La conductividad eléctrica y el pH de la solución nutritiva drenada presentaron mayor incremento en los tratamientos con 25 y 30% de drenaje, aumentando con ello variables de calidad como SST y CE.

La productividad del agua medida en kg de frutos de tomate por cada metro cúbico de agua, fue mayor en los tratamientos con menor porcentaje de drenaje (25 y 30%), a mayor porcentaje de drenaje disminuyó la productividad.

## Literatura citada

- Aguayo, E.; Escalona, V. and Artés, F. 2004. Quality of fresh-cut tomato as affected by type of cut, packaging, temperature and storage time. Berlin. European Food Res. Technol. 5(219):492-499.
- AlShrouf, A. 2017. Hydroponics, aeroponic and aquaponic as compared with conventional farming. Am. Sci. Res. J. Eng. Technol. Sci. 27(1):247-255.
- Baca, C., G. A. J.; Rodríguez, C. E. y Quevedo, N. A. 2016. La solución nutritiva en hidroponía. 1<sup>ra</sup>. (Ed.). México. 197 p.
- Bugarín-Montoya, R.; Galvis-Spinola, A.; Sánchez-García, P. y García-Paredes, P. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. Terra Latinoam. 20(4):391-399.
- Cayanan, D. F.; Zhang, P.; Liu, W.; Dixon, M. and Zheng, Y. 2009. Efficacy of chlorine in controlling five common plant pathogens. United States of America. Hortic. Sci. 44(1):157-163.
- Céspedes, A. M. G.; Sanjuán, M. D. C. S. y Gavilán, M. U. 2004. Producción y calidad en el cultivo de tomate cherry. In: tratado de cultivos sin suelo. Urrestarazu-Gavilán, M. (Ed.). 1<sup>ra</sup> edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 703-747 pp.
- Chang, Y. H.; Hwang, Y. H.; An, C. G.; Yoon, H. S.; An, J. U.; Lim, C. S. and Shon, G. M. 2012. Effects of non-drainage hydroponic culture on growth, yield, quality and root environments of muskmelon (*Cucumis melo* L.). J. Bio-Environ. Control. 21(4):348-353.
- Cuervo, B. W. J.; Flores, R. V. J. and Gonzáles, M. C. A. 2012. Aspects to consider for optimizing a substrate culture system with drainage recycling. Agron. Colomb. 30(3):379-387.
- Dasgan, H. Y. and Ekici, B. 2005. Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water and water use of tomato plants. Bélgica. Acta Horticulturae. In: International Symposium on Soilless Culture and Hydroponics. 697:399-408.
- Déniel, F.; Renault, D.; Tirilly, Y.; Barbier, G. and Rey, P. 2006. A dynamic biofilter to remove pathogens during tomato soilless culture. Agron. Sustainable Development. 26(3):185-193.
- Ehret, D.; Alsanus B.; Wohanka, W.; Menzies, J. and Utkhede, R. 2001. Disinfestation of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. Agronomie EDP Sciences. 21(4):323-339.
- Hao, L.; Duan, A. W.; Li, F. S.; Sun, J. S.; Wang, Y. C. and Sun, C. T. 2013. Drip irrigation scheduling for tomato grown in solar greenhouse based on pan evaporation in North China plain. J. Integ. Agric. 12(3):520-531.
- Kader, A. A.; Morris, L. L.; Stevens, M. A. and Holton, M. A. 1978. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 103(1):6-11.
- Komosa, A.; Pirog, Z. J. W. and Markiewicz, B. 2011. Comparison of yield, nutrient solution changes and nutritional status of greenhouse tomato grown in recirculating and non-recirculating nutrient solution systems. J. Plant Nutr. 34(10):1473-1488.
- López, A. P. P.; Cano, M. A.; Rodríguez, D. G. S.; Torres, F. N.; Rodríguez, R. S. M. y Rodríguez, R. R. 2011. Efecto de diferentes concentraciones de potasio y nitrógeno en la productividad de tomate en cultivo hidropónico. Tecnociencia. 5(2):98-104.
- Massa, D.; Incrocci, L.; Maggini, R.; Carmassi, G.; Campiotti, C. A. and Pardossi, A. 2010. Strategies to decrease water drainage and nitrate emission from soilless cultures of greenhouse tomato. Agric. Water Manag. 97(7):971-980.

- Moreno, P. E. D. C.; Castillo, S. D.; Gutiérrez, T. J.; González, M. L. and Pineda, P. J. 2015. Greenhouse lettuce production with and without nutrient solution recycling. *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 21(5):43-55.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Cell Environ.* 25(2):239-250.
- Nakano, Y.; Sasaki, H. A.; Nakano, A.; Suzuki, K. and Takaichi, M. 2010. Growth and yield of tomato plants as influenced by nutrient application rates with quantitative control in closed rockwool cultivation. *J. Jap. Soc. Hortic. Sci.* 1(79):47-55.
- Oztekın, G. B.; Tüzel, Y.; Tüzel, I. H. and Meric, K. M. 2008. Effects of EC levels of nutrient solution on tomato crop in open and closed systems. *Acta Hortic.* 80(1):1243-1250.
- Pardossi, A.; Carmassi, G.; Diara, C.; Incrocci, L.; Maggini, R. and Massa D. 2011. *Fertigation and Substrate Management in Closed Soilless Culture. Euphoros. 1<sup>ra</sup>.* (Ed.). Pisa, Italia. University of Pisa. 63 p.
- Putra, P. A. and Yuliando, H. 2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. *Agric. Agric. Sci. Procedia.* 3(1):283-288.
- Rivas, M. P.; Albarracín, M.; Moratinos, H. y Navas, F. Z. 2012. Rendimiento y calidad de fruto en cuatro cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones protegidas. *Rev. Facultad de Agronomía.* 29(3):395-412.
- Salazar, M. R.; Rojano, A. A. y López, C. I. L. 2014. La eficiencia en el uso del agua en la agricultura controlada. *Tecnología y Ciencias del Agua.* 5(2):177-183.
- San Martín, H. S.; Ordaz, C. V. M.; Sánchez, G. P.; Colinas, L. B. M. T. y Borges, G. L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. *Agrociencia.* 46(3):243-254.
- Sánchez-Del C, F.; Moreno, P. E. C.; Pineda, P. J.; Osuna, J. M.; Rodríguez, P. J. E. y Osuna, E. T. 2014. Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. *Agrociencia.* 2(48):185-197.
- Savvas, D. 2003. Hydroponics: a modern technology supporting the application of integrated crop management in greenhouse. *J. Food Agric. Environment.* 1(1):80-86.
- Sengupta, A.; and Banerjee, H. 2012. Soil-less culture in modern agricultura. *World J. Sci. Technol.* 2(7):103-108.
- Ucan, C. I.; Sánchez del C, F.; Contreras, M. E. y Corona, S. T. 2004. Efecto de la densidad de población y raleo de frutos sobre el rendimiento y tamaño del fruto en tomate. *Rev. Fitotec. Mex.* 28(1):33-38.
- Urrieta, V. J. A.; Rodríguez, M. M. D. L. N.; Ramírez, V. P.; Baca, C. G. A.; Ruiz, P. L. D. M. y Cueto, W. J. A. 2012. Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). *Rev. Chapingo Ser. Hortic.* 18(3):371-381.