

Rendimiento y calidad de tomate en sistemas hidropónicos abierto y cerrado*

Yield and quality of tomato in open and closed hydroponic systems

Rodolfo de la Rosa-Rodríguez¹, Alfredo Lara-Herrera^{1§}, Julio Lozano-Gutiérrez², Luz Evelia Padilla-Bernal¹, J. Jesús Avelar-Mejía¹ y Rodrigo Castañeda-Miranda¹

¹Universidad Autónoma de Zacatecas. Ramón López Velarde Núm. 801, Col. Centro, Zacatecas, Zacatecas. Tel: 01(492)9256690, ext. 3960 (rodox116@hotmail.com; rcastm@gmail.com; alara204@hotmail.com; jlozano_75@yahoo.com.mx; javelarm@gmail.com; luze@uaz.edu.mx). Tel: (492)9239407, ext. 2102. [§]Autor para correspondencia: alara204@hotmail.com.

Resumen

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una de las hortalizas más importantes del mundo y su cultivo va en aumento, gracias al uso de tecnologías en su cultivo como invernaderos e hidroponía se tiene una alternativa de producción y oportunidad de comercialización. Los sistemas hidropónicos son abiertos, cuando el exceso de la solución nutritiva que drena no es reusada y es desechada, y son cerrados, cuando la solución nutritiva excedente es recuperada, regenerada y reusada en el mismo cultivo. El objetivo de este trabajo de investigación fue conocer las diferencias en producción y calidad de frutos en un sistema hidropónico cerrado en comparación con uno abierto en cultivo de tomate de variedad El Cid, utilizando macetas con sustrato perlita fina previamente utilizado. La investigación se realizó en el año 2015 en la Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Se midió el número, tamaño, peso, porcentaje de pérdida de peso y rendimiento de frutos y la calidad de los frutos (pH, conductividad eléctrica, sólidos solubles, acidez e índice de madurez en zumo) en dos etapas de la producción y tres índices de madurez. No hubo diferencia significativa en las variables de calidad evaluadas en los tres índices de madurez

Abstract

The tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) is one of the most important vegetables in the world and its cultivation is increasing, thanks to the use of technology in their greenhouses and hydroponics cultivation as it has an alternative production and marketing opportunity. The hydroponic systems are open, when excess nutrient solution draining is not reused and discarded, and are closed when the nutrient surplus is recovered, regenerated and reused for the same crop. The objective of this research was to determine the differences in production and quality of fruit in a hydroponic system closed versus one open in tomato crop variety El Cid, using pots with fine perlite previously used substrate. The research was conducted in 2015 at the Academic Unit of Agronomy of the Autonomous University of Zacatecas. The number, size, weight, weight loss and fruit yield and fruit quality was measured (pH, electrical conductivity, soluble solids, acidity and maturity index juice) in two stages of production and three indices measured maturity. There was no significant difference in the quality variables evaluated in the three indices of maturity measured in two steps. There was a significant difference only to the equatorial diameter of the fruit, however, not polar diameter,

* Recibido: febrero de 2016
Aceptado: mayo de 2016

medidos en dos etapas. Hubo diferencia significativa sólo para el diámetro ecuatorial de fruto, sin embargo, no para diámetro polar, número, peso, porcentaje de pérdida de peso de fruto, y rendimiento, por lo cual el sistema cerrado es una alternativa de producción potencialmente comparable con el sistema abierto.

Palabras clave: *Lycopersicum esculentum* Mill., hidroponía, recirculación, solución nutritiva.

Introducción

El cultivo de tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) es uno de los más importantes y extendidos en todo el mundo (Al-Omran *et al.*, 2010), y debido a que su consumo ha ido aumentando gradualmente; es necesario buscar las mejores técnicas para su producción (Morgan, 2003; Alviter y Granados, 2005). Gracias al uso de invernaderos el cultivo de tomate representa una alternativa de producción, ya que al ofrecer protección contra condiciones adversas del clima al cultivo permiten obtener altos rendimientos y calidad de fruto. La mayoría de los cultivos en invernadero se han desarrollado utilizando sustratos artificiales en hidroponía, 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).

La hidroponía es una tecnología que se usa para desarrollar plantas en solución nutritiva (SN) (agua y nutrimentos), con o sin el uso de un medio o sustrato (arena, grava, vermiculita, lana de roca, etc.). Es esencial que la SN tenga la proporción adecuada (en aniones y cationes), necesaria para que las plantas absorban los nutrimentos (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014). El uso de sistemas hidropónicos para la producción de hortalizas en invernadero es ideal pues tiene un alto grado de eficiencia en el uso del agua por la disminución de percolación y evaporación; además, el volumen del sistema radical es más reducido y los nutrimentos más accesibles (López *et al.*, 2011).

Los sistemas hidropónicos han sido clasificados como abiertos, donde el exceso de la SN que drena no es reusado y es dirigido al suelo y a las aguas subterráneas, y sistemas cerrados, donde la SN excedente es recuperada, regenerada y reciclada en un sistema de recirculación cíclico (Ehret *et al.*, 2001; Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014). Los sistemas

number, weight, weight loss of fruit, and performance, for which the closed system is an alternative to potentially comparable production system open.

Keywords: *Lycopersicum esculentum* Mill., hydroponics, recirculating nutrient solution.

Introduction

The tomato (*Lycopersicum esculentum* Mill.) crop is one of the most important and widespread throughout the world, and because their consumption has gradually increased (Al-Omran *et al.*, 2010); it is necessary to find the best techniques for their production (Morgan, 2003; Alviter and Granados, 2005). Through the use of greenhouse tomato crop production is an alternative, and that by offering protection against adverse weather conditions allow the cultivation high yields and fruit quality. Most greenhouse crops are developed using artificial substrates in hydroponics, these substrates are preferred to the ground by their physicochemical characteristics, because in them you can have better control over water, aeration, nutrition and root distribution (Ehret *et al.*, 2001).

The hydroponics is a technology used to develop plants in nutrient solution (SN) (water and nutrients), with or without the use of a medium or substrate (sand, gravel, vermiculite, rock wool, etc.). It is essential that the SN has the proper proportion (anions and cations), necessary for plants to absorb nutrients (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014). The use of hydroponic systems for the production of vegetables in greenhouses is ideal because it has a high degree of efficiency in water use by decreasing percolation and evaporation; In addition, the volume of the root system is smaller and more accessible nutrients (López *et al.*, 2011).

The hydroponic systems have been classified as open, where excess SN draining is not reused and is directed to soil and groundwater, and closed systems, where SN surplus is recovered, reclaimed and recycled in a system of cyclic recirculation (Ehret *et al.*, 2001; Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014). The systems where there is no recirculation of the SN (open), have often been seen as wasters SN due to excess drained as waste, this results in a rise in costs and contamination of soil and groundwater where it is discharged this scrap (Morgan, 2003; Pardossi *et al.*, 2011; Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014).

donde no hay recirculación de la SN (abiertos), a menudo han sido vistos como derrochadores de SN, debido al exceso que drenada como desecho, esto trae como consecuencia una elevación de costos y contaminación del suelo y aguas subterráneas donde es descargado este desecho (Morgan, 2003; Pardossi *et al.*, 2011; Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014).

En los sistemas hidropónicos cerrados es más eficiente el uso del agua y los nutrimentos que se aplican para el crecimiento y desarrollo de un cultivo; sin embargo, un aspecto que limita la reutilización de la SN y con esto la eficiencia en el uso del agua y de los nutrimentos 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-Del Castillo *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 del 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-Del Castillo *et al.*, 2014). La presente investigación tuvo como objetivo comparar la producción y calidad de frutos entre un sistema hidropónico abierto y uno cerrado, utilizando un cultivo de tomate en sustrato perlita reutilizado de tres ciclos anteriores de producción.

Material y métodos

Ubicación y condiciones ambientales en que se llevó a cabo la investigación

La investigación se llevó a cabo en una nave de invernadero con control pasivo de clima de 256 m^2 de superficie entre los meses de mayo a noviembre de 2015. El experimento fue establecido en la Unidad Académica de Agronomía de la Universidad Autónoma de Zacatecas. Las coordenadas geográficas de su ubicación son $22^\circ 43' 42''$ de Latitud Norte y $102^\circ 40' 58''$ de Longitud Oeste.

Tratamientos y diseño experimental

Se evaluaron dos tratamientos, los cuales consistieron en dos sistemas hidropónicos: uno cerrado (con recirculación de la SN) y otro abierto (sin recirculación de la SN). En el sistema cerrado, la SN drenada se reutilizó después de haber

In closed hydroponic systems is more efficient use of water and nutrients that are applied to the growth and development of a crop; however, an aspect that limits the reusability of the SN and thus the efficiency of water and nutrients is getting lower yields, reduced quality, buildup of toxins (phytotoxicity), mineral deficiencies and risk dissemination of microorganisms that cause disease in root crop (Déniel *et al.*, 2006; Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014). In a closed system it is essential to maintain adequate electric conductivity (1.5 a 3.5 dS m^{-1}) during the crop cycle, which in tomato indeterminate growth can be up to 11 months, which may be technically complicated and, due to the cycle so long, the plants are exposed to diseases longer (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014). This research aimed to compare production and fruit quality between an open and a closed hydroponic system using a tomato crop in perlite substrate reused three previous production cycles.

Materials and methods

Location and environmental conditions in which research conducted

The research was carried out on a ship with passive greenhouse climate control 256 m^2 between the months of May to November 2015. The experiment was established in the Academic Unit of Agronomy of the Autonomous University of Zacatecas. The geographical coordinates of the location are $22^\circ 43' 42''$ north latitude and $102^\circ 40' 58''$ west longitude.

Treatments and experimental design

The two treatments were evaluated, which consisted of two hydroponic systems: closed (with recirculation SN) and an open (without recirculation SN). In the closed system, the drained SN reused after being restored in electrical conductivity (CE), hydrogen potential (pH) and the concentrations of macronutrients that plants consume a greater amount (NO_3^- and K^+); then this solution was injected restored again as a new solution in the irrigation system. Throughout the cycle only the SN drained three times, in the initiation stage of formation of the first fruits, in the stage of full production and end of the cycle, this due to the elevation of the electrical conductivity was removed and to avoid the imbalance of the SN was critical for crop development.

sido restaurada en conductividad eléctrica (CE), potencial de hidrógeno (pH) y las concentraciones de los macronutrientes que las plantas consumen en mayor cantidad (NO_3^- y K^+); posteriormente esta solución restaurada se inyectó nuevamente como solución nueva en el sistema de irrigación. Durante todo el ciclo sólo se eliminó la SN drenada en tres ocasiones, en la etapa de inicio de formación de los primeros frutos, en la etapa de plena producción y al final del ciclo, esto debido a la elevación de la conductividad eléctrica y para evitar que el desbalance de la SN fuera crítico para el desarrollo del cultivo.

En el sistema abierto, la SN drenada se reutilizó en un cultivo alterno bajo condiciones de invernadero, evitándose su desperdicio y la contaminación del suelo y la pérdida económica del agua y fertilizantes utilizados (entre 20 y 30% aproximadamente). La unidad experimental en ambos sistemas estuvo constituida por una cama de 16 m de longitud y 70 cm de ancho, la cual contuvo 65 macetas de polietileno con dos plantas cada una, teniéndose un total de 1 040 plantas para una densidad de 4 plantas m^{-2} . Cada tratamiento se llevó a cabo con cuatro repeticiones en un diseño experimental bloques al azar.

Material vegetal y sistema de producción

El material vegetal utilizado fue una variedad híbrida de hábito de crecimiento indeterminado, nombrada “El Cid”, del tipo saladette. Su trasplante se realizó al momento de haberse formado de 2 a 3 pares de hojas verdaderas en la plántula, aproximadamente a los 35 días después de la siembra. Las plántulas se trasplantaron en sustrato perlita de granulometría fina, contenido en macetas de polietileno de 25 L de capacidad, la perlita empleada se reutilizó en tres ciclos previos para la producción de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), pepino (*Cucumis sativus* L.) y tomate nuevamente. El sustrato se desinfectó antes de ser utilizado en cada ciclo de cultivo con hipoclorito de sodio debido a su buen resultado como controlador de fitopatógenos (Poncet *et al.*, 2001; Cayanan *et al.*, 2009).

Manejo de la solución nutritiva durante el experimento

Durante el ciclo productivo se utilizó la SN Steiner en el 75% de los primeros riegos (entre 28 y 32 riegos), la SN drenada de cada tratamiento se almacenó en su respectivo reservorio, antes de los últimos ocho riegos de cada día, la solución drenada del tratamiento con recirculación se restableció añadiendo el agua necesaria para bajar la CE a 1.7 ± 0.1 dS

In the open system, the drained SN was reused in an alternate cultivation under greenhouse conditions, avoiding its waste and soil pollution and economic loss of water and fertilizer used (about 20 to 30%). The experimental unit in both systems consisted of a bed of 16 m long and 70 cm wide, which contained 65 pots of polyethylene with two floors each, taking a total of 1 040 plants for a density of 4 plants m^{-2} . Each treatment was conducted with four replications in a randomized block experimental design.

Plant material and production system

The plant material used was a hybrid variety of indeterminate growth habit, named “El Cid”, the saladette type. It’s transplantation was performed when formed having 2 to 3 pairs of true leaves in the seedling approximately 35 days after planting. The seedlings are transplanted into perlite substrate fine particle size, contained in pots polyethylene 25 L capacity, perlite used is reused on three prerequisites for tomato production cycles (*Lycopersicon esculentum* Mill.), Cucumber (*Cucumis sativus* L.) and tomato again. The substrate is disinfected before being used in each growing cycle is sodium hypochlorite because of their good result as phytopathogenic controller (Poncet *et al.*, 2001; Cayanan *et al.*, 2009).

Management of the nutrient solution during the experiment

During the production cycle was used the Steiner SN in 75% of the first irrigation (between 28 and 32 irrigation), the SN drained from each treatment was stored in their respective reservoir, before the last eight risks of each day, the solution he drained treatment with recirculation was restored by adding water as needed to lower the CE to 1.7 ± 0.1 dS m^{-1} and then the required amount of a 1N solution of potassium nitrate to achieve CE to 2 ± 0.1 dS m^{-1} ; and the required amount (when required) of 1 N phosphoric acid solution to reestablish the pH to 5.5 ± 0.1 .

The water used to prepare the SN had a pH= 7.23 and CE= 0.55 dS m^{-1} . The concentration of soluble ions molc m^{-3} was: NO_3^- = 0.21, P- PO_4 = 0.02, SO_4 = 0.7, HCO_3 = 3.6, Cl= 0.8, Ca= 1.85, Mg= 1.48, K= 0.26, Na= 2.09; and in mg L^{-1} of micronutrients: Fe= 0.03, Mn= 0.02, Zn= 0.01, Cu= 0 and B= 0.1. The fertilizers used were calcium nitrate ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 0.2\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), potassium nitrate (KNO_3), potassium sulfate (K_2SO_4), magnesium sulfate ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), monopotassium phosphate (KH_2PO_4), phosphoric

m^{-1} y posteriormente la cantidad necesaria de una solución 1 N de nitrato de potasio para lograr una CE de $2 \pm 0.1 \text{ dS m}^{-1}$; y la cantidad necesaria (cuando se requirió) de una solución 1 N de ácido fosfórico para re-establecer el pH a 5.5 ± 0.1 .

El agua utilizada para preparar la SN tuvo un pH= 7.23 y una CE= 0.55 dS m^{-1} . La concentración de iones solubles en mol m^{-3} fue: $\text{NO}_3=0.21$, $\text{P-PO}_4=0.02$, $\text{SO}_4=0.7$, $\text{HCO}_3=3.6$, $\text{Cl}=0.8$, $\text{Ca}=1.85$, $\text{Mg}=1.48$, $\text{K}=0.26$, $\text{Na}=2.09$; y en mg L^{-1} de los micronutrientes: $\text{Fe}=0.03$, $\text{Mn}=0.02$, $\text{Zn}=0.01$, $\text{Cu}=0$ y $\text{B}=0.1$. Los fertilizantes utilizados fueron nitrato de calcio ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 0.2\text{NH}_4\text{NO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$), nitrato de potasio (KNO_3), sulfato de potasio (K_2SO_4), sulfato de magnesio ($\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$), fosfato monopotásico (KH_2PO_4), ácido fosfórico (H_3PO_4) y ácido sulfúrico (H_2SO_4). 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, Fe, Mn, Zn y Cu en forma de quelato con EDTA; se aplicaron 30 g de este fertilizante por cada metro cúbico de SN. El agua utilizada fue obtenida directamente de pozo profundo, la presencia en ella de bacterias y hongos fue negativa.

Variables medidas en la planta

Para las variables medidas en planta se seleccionó una planta de cada unidad experimental, es decir, una planta por cada cama de cultivo (cuatro por cada sistema hidropónico), en la cual se realizaron las mediciones a continuación mencionadas.

Longitud de tallo (LT) y diámetro de tallo (DT). Se midieron con un flexómetro y un vernier, una vez por semana desde el trasplante hasta el despunte apical de plantas; la LT se tomó desde el nivel del sustrato hasta la parte apical de la planta; y el diámetro se tomó como referencia el punto marcado por la altura de la semana anterior.

Rendimiento. Se expresó en cantidad de kilogramos producidos por cada metro cuadrado; sin embargo también se evaluaron tres componentes de rendimiento fundamentales.

Número de frutos por planta. Se contó el número de frutos cosechados durante el ciclo que llegaron a su madurez fisiológica y al final se hizo un promedio de los frutos cosechados por planta.

Tamaño de frutos. El tamaño de frutos se obtuvo al momento de cosecha con un vernier digital ScalaTM en milímetros midiendo los diámetros ecuatorial y polar del fruto.

acid (H_3PO_4) and sulfuric acid (H_2SO_4). To provide the micronutrient was used fertilizer containing a concentration of: 6.6, 2.6, 1.1, 0.9, 0.3, and 0.2% of Fe, Mn, Zn, B, Cu and Mo, respectively, Fe, Mn, Zn and Cu in chelated with EDTA; 30 g of this fertilizer was applied per cubic meter of SN. The water used was obtained directly from deep well, the presence in it of bacteria and fungi was negative.

Variables measured on the ground

For variables measured on a plant was selected of plant each experimental unit, that is, a plant growing bed for each (four per hydroponic system), in which measurements were performed mentioned below.

The stem length (LT) and stem diameter (DT). They were measured with a measuring tape and a vernier, once a week from transplant to the apical blunting of plants; LT was taken from the level of the substrate to the apical part of the plant; and the diameter was taken as a reference point marked by the height of the previous week.

Performance. It was expressed in number of kilograms produced per square meter; however three fundamental performance components listed below were also evaluated.

Number of fruits per plant. It was counted the number of harvested during the cycle reached physiological maturity and end an average of the fruits harvested fruits per plant.

Fruit size. The fruit size was obtained at the time of harvest with a digital vernier ScalaTM in millimeters measuring polar and equatorial diameter of the fruit.

Fruit weight. The fruits were weighed immediately after being harvested on a digital scale EK-200i with 0.01 g accurately. The measurement of these two variables (size and weight) allowed categorize the fruit as it was possible to classify to the following scale: 1^{ra} (>130 g), 2^{da} (100-130 g), 3^{ra} (60-100 g) and 4^{ta} (<60 g).

Variables fruit quality measures

To assess the quality fruit samples were taken with the same maturity index (color) in two stages of production, one in the fruits of the third cluster and the second in the fruits of the seventh cluster, fruits were harvested with three maturity indices other (25% red, 50% red, and completely red), the evaluation was carried out in each experimental unit, samples

Peso de frutos. Los frutos fueron pesados inmediatamente después de haber sido cosechados en una báscula digital EK-200i con precisión de 0.01 g. La medición de estas últimas dos variables (tamaño y peso) permitió categorizar los frutos ya que fue posible clasificarlos con la siguiente escala: 1^{ra} (>130 g), 2^{da} (100-130 g), 3^{ra} (60-100 g) y 4^{ta} (<60 g).

Variables medidas en calidad de fruto

Para evaluar la calidad se tomaron muestras de frutos con el mismo índice de madurez (color) en dos etapas de la producción, una en los frutos del tercer racimo y la segunda en los frutos del séptimo racimo, se cosecharon frutos con tres índices de madurez distintos (25% rojo, 50% rojo, y totalmente rojo), la evaluación se llevó a cabo en cada unidad experimental, las muestras estuvieron constituidas por cinco frutos considerando la misma posición de los frutos en el racimo. Los frutos se trituraron y molieron en un extractor de jugo marca Krups 267. El jugo fue exprimido en una fibra de malla 80 y se utilizó para determinar.

Conductividad eléctrica y pH. Estas variables de calidad se midieron en el jugo del fruto con una muestra de 50 mL, se obtuvo con un conductímetro y potenciómetro combo (CE y pH) marca Hanna Combo HI98130.

Acidez titulable. La acidez titulable se determinó mediante el método usado por Navarro-López *et al.* (2012) y San Martín-Hernández *et al.* (2012). La acidez titulable en porcentaje (AT%) se expresó como porcentaje de ácido cítrico y se determinó con la siguiente fórmula:

$$AT(\%) = \frac{([VNaOH(ml) * NNaOH(meq/ml) * \text{ácido cítrico}(0.064 \text{ g/meq})])}{(V \text{ jugo (ml)}) * 100}$$

Sólidos solubles totales (SST) en grados Brix. Para esta determinación se tomó una gota del jugo de la muestra obtenida de los frutos y fue depositada sobre el sensor del refractómetro marca ATAGO, modelo N-1E, con rango de lectura de 0 a 32 °Brix.

Índice de madurez. El índice de madurez (IM) se calculó con el método usado por De Bruyn *et al.* (1971) y San Martín-Hernández *et al.* (2012), obtenido con la relación entre SST y AT, aplicando la siguiente fórmula:

$$IM = SST/AT(\%)$$

were constituted of five fruits considering the same position of the fruits in the bunch. The fruits were crushed and ground in a juice extractor Krups 267 brand. The juice was squeezed in a fiber mesh 80 and was used to determine.

Electrical conductivity and pH. These variables were measured in quality fruit juice with a sample of 50 mL was obtained with a conductivity meter and potentiometer combo (CE and pH) Mark Hanna Combo HI98130.

Titrateable acidity. The titrateable acidity was determined by the method used by Navarro-López *et al.* (2012) and San Martín-Hernández *et al.* (2012). The percentage titrateable acidity (AT%) was expressed as percentage of citric acid and was determined with the following formula:

$$AT(\%) = \frac{([VNaOH(ml) * NNaOH(meq/ml) * \text{citric acid}(0.064 \text{ g/meq})])}{(V \text{ juice (ml)}) * 100}$$

Total soluble solids (SST) in degrees Brix. For this determination it took a drop of juice from the sample obtained from the fruits and was deposited on the sensor refractometer ATAGO brand, model N-1E, with read range from 0 to 32 °Brix.

Maturity index. The maturity index (MI) was calculated with the method used by De Bruyn *et al.* (1971) and San Martín-Hernández *et al.* (2012) obtained with the relationship between SST and AT, using the following formula:

$$IM = SST/AT(\%)$$

Percent weight loss. For this test, from the first cut a sample of five fruits were selected for experimental unit, weighed on a digital scale EK-200i with accuracy of 0.01 g, this data was compared with data obtained in subsequent measurements of the same fruits; which they were kept in a cool (23 °C and 30% relative humidity), in the shade and no air circulation dry place.

Variables measured in the nutrient solution

Worth noting, these variables were only in nutrient solution measures in order to take proper plant nutrition and correct application thereof, in order to have a balance in the development of plants.

Porcentaje de pérdida de peso. Para esta prueba, desde el primer corte se seleccionó una muestra de cinco frutos por unidad experimental, se pesaron en una balanza digital EK-200i con precisión de 0.01 g, este dato fue comparado con los datos obtenidos en mediciones posteriores de los mismos frutos; los cuales se mantuvieron en un lugar seco, fresco (23 °C y 30% de humedad relativa), a la sombra y sin circulación de aire.

Variables medidas en la solución nutritiva

Cabe resaltar, que estas variables en 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. Se mantuvieron entre 1.6 y 2.6 dS m⁻¹ y entre 5.5 y 6, respectivamente, de acuerdo con la etapa del cultivo según lo recomiendan Weerakkody *et al.* (2011) y Putra y Yuliando (2015); Estos dos parámetros fueron medidos con un medidor combo de conductividad y pH marca Hanna, modelo 1902, de los contenedores de SN se sacaron muestras de aproximadamente 50 mL para introducir el sensor del medidor y así obtener el dato. Estos parámetros se midieron tanto en la SN aplicada como en la drenada para regular la nutrición del cultivo y tener un desarrollo normal y equilibrado. El pH en la SN drenada se mantuvo entre 6.4 y 7.1, lo cual está en función de la relación amonio/nitrato, en la medida que aumenta esta relación el pH tiende a disminuir (Imas *et al.*, 1997; Hinsinger *et al.*, 2003; Savvas *et al.*, 2006). La CE de la SN drenada se incrementó, con una media durante el ciclo de 4.03 dS m⁻¹, esto se debe a que la planta absorbe en proporción más agua que nutrientes, si también se toma 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 así la conductividad eléctrica (Dorais *et al.*, 2001). Para restaurar el pH, se utilizó ácido sulfúrico, la cantidad que se aplicó fue la requerida para disminuir nuevamente el pH a su valor óptimo para el cultivo.

Volumen de solución aplicada. Para verificar que este volumen fuera el requerido por la planta. Se instaló un par de goteros en cada unidad experimental, aproximadamente a la mitad de las camas, estos goteros estuvieron dentro de un contenedor para captar la solución aplicada en un día, al término del día se midió con una probeta graduada, obteniéndose el volumen en mililitros aplicados por día por planta. El volumen aplicado se fue incrementando

CE and pH. They were maintained between 1.6 and 2.6 dS m⁻¹ and between 5.5 and 6, respectively, according to the stage of cultivation as recommended Weerakkody *et al.* (2011) and Putra and Yuliando (2015); these two parameters were measured with a measuring conductivity combo and pH Hanna brand, model 1902, containers of SN approximately 50 mL samples were taken to introduce the meter sensor and obtain the data. These parameters were measured in both the SN and drained applied to regulate crop nutrition and have a normal and balanced development. The pH in the drained SN was maintained between 6.4 and 7.1, which is a function of the ammonia/nitrate ratio, in increasing this ratio the pH tends to decrease (Imas *et al.*, 1997; Hinsinger *et al.*, 2003; Savvas *et al.*, 2006). The CE of the SN drained increased with an average during the cycle of 4.03 dS m⁻¹, this is because the plant absorbs proportionally more water than nutrients, if also takes into account the amount of water lost by evaporation, the drained solution will have a concentration of solute (nutrients) than water (solvent), thereby increasing the electrical conductivity (Dorais *et al.*, 2001). To restore the pH, sulfuric acid was used, the amount applied was required to decrease again the pH to its optimal value for cultivation.

Volume of applied solution. To verify that this was the volume required by the plant. A pair of droppers was installed in each experimental unit, approximately half of the beds, these emitters were within a container to capture applied in a day, the end day solution was measured with a graduated cylinder to give the volume applied milliliters per day per plant. The applied volume was increased in both treatments as the culture changed phenological stage, so as to provide the amount of water and nutrients required by plants until well reach the application of 1.58 L per plant, which corresponds to a volume daily per plant tomato production stage recommended is 1.5 L (Flores *et al.*, 2007; Suazo-López *et al.*, 2014) this value has corresponded with that obtained in this investigation at the stage of maximum demand and it depends on environmental conditions and production management system (Gent and Short, 2012; Herrero *et al.*, 2014).

Volume of drained solution. In the containers where the SN drained (drain pan) was collected drained volume per day per experimental unit, with the aid of a graduated cylinder was measured. This measure was also a parameter that allowed control irrigation (time, frequency and number of irrigations) and the restoration of SN in pH and CE.

en ambos tratamientos a medida que el cultivo cambió de etapa fenológica, para así proporcionar la cantidad de agua y nutrientes requeridos por las plantas, hasta llegar así a la aplicación de 1.58 L por planta, que corresponde con un volumen diario por planta de tomate en etapa de producción, lo recomendado es de 1.5 L (Flores *et al.*, 2007; Suazo-López *et al.*, 2014) este valor tiene correspondencia con lo obtenido en la presente investigación en la etapa de máxima demanda y depende de las condiciones ambientales y de manejo del sistema de producción (Gent y Short, 2012; Herrero *et al.*, 2014).

Volumen de solución drenada. En los contenedores donde se colectó la SN drenada (bandeja de drenaje) se midió el volumen drenado por día por unidad experimental, con la ayuda de una probeta graduada. Esta medida también fue un parámetro que permitió controlar el riego (tiempo, frecuencia y número de riegos) y la restauración de la SN en pH y CE.

Porcentaje de drenaje (%D). Este dato se obtuvo mediante la relación entre el volumen aplicado y el volumen drenado. Matemáticamente se calculó con la siguiente fórmula:

$$\%D = (\text{Volumen drenado}) / (\text{Volumen aplicado}) * 100$$

El porcentaje de SN drenada (%D) se mantuvo de 25.52 a 35.47%, en ambos sistemas, esta cantidad de SN se reutilizó en el sistema cerrado evitando su pérdida total ya que solo se desechó sólo el 0.31% de la SN aplicada; a diferencia del sistema abierto en el cual sí se perdió la totalidad de la solución drenada. Lo cual implica que en el sistema cerrado se tenga un ahorro promedio aproximado de agua y fertilizantes de 29%.

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos se analizaron en un diseño de bloques al azar, se sometieron a un análisis de varianza (Anova) y una prueba de separación de medias mediante el criterio de Tukey, con ($p \leq 0.05$). Para lo cual se utilizó el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS) versión 9.4.

Resultados y discusión

Variables medidas en la planta

Longitud de tallo (LT) y diámetro de tallo (DT). En la medición de estas variables en ambos tratamientos se obtuvieron datos muy semejantes, la longitud del tallo (LT)

Drainage percentage (%D). This data was obtained by the ratio of the volume applied and the drained volume. Mathematically was calculated with the following formula:

$$\%D = (\text{Drained volume}) / (\text{Applied volume}) * 100$$

The percentage of SN drained (%D) remained from 25.52 to 35.47%, in both systems, this amount of SN was reused in the closed system avoiding total loss since it only discarded only 0.31% of the applied SN; open unlike other system in which the entire solution was drained lost. This implies that in the closed system averaging about saving water and fertilizers will be 29%.

Statistical analysis

The results were analyzed in an experimental randomized block design, an analysis of variance (ANOVA) and mean separation test were submitted by the criterion of Tukey, with ($p \leq 0.05$). The Statistical Analysis System (SAS) version 9.4 statistical software was used for which purpose.

Results and discussion

Variables measured on the ground

Stem length (LT) and stem diameter (DT). In measuring these variables in both treatments very similar data were obtained, stem length (LT) in the closed hydroponics system ranged from 19 to 26 cm each week and between 20 and 27 cm for open system (Table 1) both treatments had behaviors within the parameters considered normal 18 to 27 cm (Muñoz-Ramos, 2009). The stem diameter (DT) on the other hand, had an average throughout the cycle of 13.97 mm for the closed and 14.02 for the open system system, showing both treatments a slight tendency to vegetative plants, since the parameter greater balance is between 11 and 12 mm (Muñoz-Ramos, 2009); however, these results (13.97 and 14.02 mm) do not represent a impact major production plant (Muñoz-Ramos, 2009).

Performance. The yield was not different between the open and closed hydroponic systems (Table 2); these yields are 12% higher than those obtained by Sánchez-Del Castillo *et al.* (2014), this research provided similar results to those obtained by Oztekin *et al.* (2008); Nakano *et al.* (2010) because they found no significant difference using different and new substrates and different open and closed hydroponic systems in tomato crop.

en el sistema hidropónico cerrado osciló entre 19 y 26 cm cada semana y entre 20 y 27 cm para el sistema abierto (Cuadro 1), ambos tratamientos tuvieron comportamientos dentro del parámetro considerado como normal de 18 a 27 cm (Muñoz-Ramos, 2009). El diámetro de tallo (DT) por otra parte, tuvo una media durante todo el ciclo de 13.97 mm para el sistema cerrado y 14.02 para el sistema abierto, mostrando ambos tratamientos una ligera tendencia a plantas vegetativas, ya que el parámetro de mayor equilibrio es de entre 11 y 12 mm (Muñoz-Ramos, 2009); sin embargo, estos resultados obtenidos (13.97 y 14.02 mm) no representan un impacto importante en la producción de la planta (Muñoz-Ramos, 2009).

Rendimiento. El rendimiento no fue distinto entre los sistemas hidropónicos abierto y cerrado (Cuadro 2); estos rendimientos son mayores 12% a los obtenidos por Sánchez-Del Castillo *et al.* (2014), la presente investigación proporcionó resultados similares a los obtenidos por Oztekin *et al.* (2008); Nakano *et al.* (2010) ya que no hayaron diferencias significativas en sustratos distintos, nuevos y diferentes sistemas hidropónicos abiertos y cerrados en tomate.

Cuadro 1. Diámetro (DT) y longitud de tallo (LT) promedios durante el ciclo de tomate para sistemas hidropónicos cerrado y abierto.

Table 1. Diameter (DT) and stem length (LT) averages during the cycle tomato for open and closed hydroponic systems.

Mes	Sistema hidropónico cerrado		Sistema hidropónico abierto	
	DT (mm)	LT (cm)	DT (mm)	LT (cm)
Mayo	6.74	33.41	6.8	33.99
Junio	13.7	125.31	14.19	129.51
Julio	16.79	219.61	16.19	225.54
Agosto	16.71	326.06	16.51	332.12
Septiembre	14.8	432.68	15.22	442.44
Octubre	14.76	531.39	14.59	542.49
Noviembre	14.31	649.24	14.65	658

Cuadro 2. Rendimiento de frutos de tomate en los sistemas hidropónicos cerrado y abierto en 20 cortes realizados en el ciclo.

Table 2. Performance of tomato fruit in the hydroponic systems closed and open in 20 cuts made in the cycle.

Sistema hidropónico	Frutos por planta	Diámetro (mm)		Peso por fruto (g)	Rendimiento (kg m ⁻²)	Categoría y predominancia (%)	
		Polar	Ecuatorial				
Abierto	46.54 a [†]	62.18 a	49.97 a	94.18 a	17.5 a	3	75-100
Cerrado	45.81 a	61.95 a	47.84 b	92.48 a	16.9 a	3	75-100
DMS	2.24	2.1	1.67	21.6	3.94		

[†]Medias seguidas con la misma letra dentro de columnas, no presentan diferencias significativas (Tukey $p \leq 0.05$). DMS= diferencia mínima significativa.

Número de frutos. El número de frutos por planta no fue diferente entre los sistemas hidropónicos abierto y cerrado (Cuadro 2). El número de frutos en ambos tratamientos osciló con mayor frecuencia entre 40-50 frutos por planta durante los 20 cortes realizados en todo el ciclo (mayo a noviembre); estos resultados son similares a los obtenidos por Urrieta-Velázquez *et al.* (2012) al usar una selección de tomate de costilla y un poco mayores a los obtenidos por Rivas *et al.* (2012) en producción de tomate hidropónico con distintos materiales vegetales.

Tamaño de frutos. Para esta variable de rendimiento, sólo el diámetro ecuatorial de fruto fue diferente significativamente entre los tratamientos evaluados (Cuadro 2), el sistema abierto presentó el valor más alto; no hubo diferencia

Number of fruits. The number of fruits per plant did not differ between the open and closed hydroponic systems (Table 2). The number of fruits in both treatments more frequently ranged between 40-50 fruits per plant during the 20 cuts made throughout the cycle (May to November); these results are similar to those obtained by Urrieta-Velázquez *et al.* (2012) using a selection of tomato rib and slightly higher than those obtained by Rivas *et al.* (2012) in hydroponic tomato production with different plant materials.

Fruit size. For this performance variable, only the equatorial fruit diameter was significantly different between treatments (Table 2), the open system presented the highest value; there was no significant difference for the polar diameter of fruit; the results of both hydroponic systems are similar to those

significativa para el diámetro polar de fruto; los resultados de ambos sistemas hidropónicos son similares a los de Ucan *et al.* (2004) en su categoría de fruto mediano en el cultivar “Daniela” (que produce en mayor cantidad frutos de aproximadamente 5-6 cm). 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 tampoco fue diferente entre ambos tratamientos (Cuadro 2); sin embargo, el sistema hidropónico abierto presentó un peso medio por fruto superior de 3.4% respecto al sistema cerrado, lo cual puede deberse principalmente a que la SN del sistema abierto está en mayor equilibrio que la SN reutilizada en el sistema cerrado, la cual a medida que pasa más tiempo de recirculación, pierde más su equilibrio y concentración adecuados (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014).

Gracias a las variables mencionadas anteriormente (tamaño y peso de frutos) se determinó que los frutos que predominaron tuvieron de pesos de 60 a 100 g en ambos tratamientos (Cuadro 2) de acuerdo con la escala establecida para los tamaños (diámetros polar y ecuatorial) y pesos de los frutos.

Variables medidas en calidad de fruto

Conductividad eléctrica. En esta variable se encontraron valores que fueron desde 5.30 (sistema abierto) hasta 6.32 (sistema cerrado) (Cuadro 3). Sin embargo, no hubo diferencia significativa entre los sistemas hidropónicos; los resultados encontrados en esta variable en ambos tratamientos concuerdan a los observados por San Martín-Hernández *et al.* (2012) en un sistema hidropónico utilizando tezontle como sustrato, quienes encontraron que existe una relación directa entre la salinidad acumulada en un sustrato usado en hidroponía y la conductividad eléctrica del fruto.

pH de jugo. El pH del jugo no tuvo diferencia significativa entre tratamientos. 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 3) y a los encontrados por Peña *et al.* (2013) en tomate hidropónico con cascarilla de arroz como sustrato; al tener un jugo de frutos con menor acidez, se tiene mayor aceptación del fruto, ya que así resalta más su sabor dulce y agradable al consumirlo en fresco (Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012).

of Ucan *et al.* (2004) in the category of medium fruit cultivar “Daniela” (which occurs in as many fruits of about 5-6 cm). The fruit size is strongly related to the number of fruits, since fewer fruits, the greater the amount of photoassimilated for each fruit, propitiating larger fruit (Ucan *et al.*, 2004; Rivas *et al.*, 2012).

Fruit weight. The fruit weight was not different between treatments (Table 2); however, the open hydroponics system showed an average weight for higher fruit of 3.4% over the closed system, which may be due mainly to the SN of the open system it is in better balance than the SN re-used in the closed system, which as you spend more time recirculation loses more appropriate balance and concentration (Sánchez-Del Castillo *et al.*, 2014).

Thanks to the variables mentioned above (size and weight of fruits) it was determined that the fruits that prevailed had weights of 60 to 100 g in both treatments (Table 2) according to the scale established for sizes (polar and equatorial diameters) and weight of the fruit.

Variables fruit quality measures

Electric conductivity. This variable were found values ranged from 5.30 (open system) to 6.32 (closed system) (Table 3). However, there was no significant difference between hydroponic systems; the results found in this variable in both treatments agree to those observed by San Martín-Hernández *et al.* (2012) in a hydroponic system using tezontle as substrate, who found that there is a direct relationship between salinity accumulated on a substrate used in hydroponics and electrical conductivity of the fruit.

pH of juice. The pH of the juice was no significant difference between treatments. The pH is an indicator of quality, the best values on quality tomatoes for this variable are between 4 and 5 (Aguayo *et al.*, 2004) and the results obtained in this study are consistent with the above (Table 3) and those found by Peña *et al.* (2013) in hydroponic tomato with rice husk as substrate; by having a fruit juice with lower acidity, it has greater acceptance of the fruit, as this highlights more its sweet and pleasant taste to consume fresh (Urrieta-Velázquez *et al.*, 2012).

Titrateable acidity. In the statistical analysis of this variable treatments they showed no significant difference between the three indices also measured in two stages of production

Acidez titulable. En el análisis estadístico de esta variable los tratamientos no presentaron diferencia significativa, tampoco entre los tres índices medidos en dos etapas de producción (Cuadro 3). Ambos tratamientos presentaron valores desde 0.15 hasta 0.32% de acidez (Cuadro 3), similares a los obtenidos por Bugarín-Montoya *et al.* (2002) (0.19-0.32%) con diferentes concentraciones de potasio en un sistema cerrado, y un poco menores a los encontrados por Rivas *et al.* (2012) (0.25-0.43%) utilizando distintos cultivares de producción.

(Table 3). Both treatments showed values from 0.15 to 0.32% acidity (Table 3), similar to those obtained by Bugarín-Montoya *et al.* (2002) (0.19 to 0.32%) with different concentrations of potassium in a closed system, and slightly lower than those found by Rivas *et al.* (2012) (0.25 to 0.43%) using different cultivars of production. The titratable acidity in fresh hydroponic tomatoes is varied can have values from 0.19 to 0.45% (Dobričević *et al.*, 2007) or even 0.63% (Arias *et al.*, 2000).

Cuadro 3. Efecto de sistemas hidropónicos abierto y cerrado en calidad de fruto en tomate.
Table 3. Effect of open and closed hydroponic systems as tomato fruit.

Etapas	Índice	Sistema hidropónico	SST (°Brix)	pH	CE (dS m ⁻¹)	AT (%) [†]	IM
1	1	Abierto	5.45	4.69	5.3	0.27	20.59
		Cerrado	4.98	4.67	5.66	0.32	16.22
1	2	Abierto	5.4	4.56	5.7	0.18	29.75
		Cerrado	4.9	4.59	5.68	0.22	22.76
1	3	Abierto	4.85	4.52	5.57	0.15	33.35
		Cerrado	5.05	4.46	5.83	0.18	28.95
2	1	Abierto	5.43	4.55	5.61	0.27	20.81
		Cerrado	5.4	4.59	6.32	0.19	29.22
2	2	Abierto	5.6	3.51	5.68	0.27	21.34
		Cerrado	6	3.61	5.95	0.25	24.04
2	3	Abierto	5.35	4.37	5.84	0.16	34.64
		Cerrado	5.15	4.62	5.95	0.17	33.43
DMS			0.3	0.17	0.25	0.02	4.24

SST= sólidos solubles totales; pH= potencial de hidrógeno; CE= conductividad eléctrica; AT= acidez titulable; IM= índice de madurez; DMS= diferencia mínima significativa. [†]= equivalente al porcentaje de ácido cítrico.

La acidez titulable en tomates hidropónicos frescos es muy variada puede presentar valores desde 0.19 a 0.45% (Dobričević *et al.*, 2007) o incluso hasta 0.63% (Arias *et al.*, 2000).

Sólidos solubles totales (SST) en grados Brix. No hubo diferencia significativa entre los sistemas hidropónicos en ninguno de los índices evaluados en dos etapas, los resultados obtenidos variaron desde 4.85 hasta 6 °Brix (Cuadro 3), estos valores son superiores a los encontrados por Rivas *et al.* (2012) de 4.57 a 5.10 °Brix en distintos cultivares y Urrieta-Velázquez *et al.* (2012) de 4.81 a 5.33 °Brix usando variedades nativas como material vegetal.

Total soluble solids (SST) in degrees Brix. There was no significant difference between hydroponic systems in any of the indices evaluated in two stages, the results ranged from 4.85 to 6 °Brix (Table 3), these values are higher than those found by Rivas *et al.* (2012) of 4.57 to 5.10 °Brix in different cultivars and Urrieta-Velázquez *et al.* (2012) of 4.81 to 5.33 °Brix using native varieties such as plant material. The SST (°Brix) is a parameter of fruit quality that varies with the electrical conductivity of the nutrient solution and water stress during fruit development (Céspedes *et al.*, 2004); in tomato plants under this kind of stress are stored mainly ions and organic molecules (increased concentration of fructose and glucose) (Munns, 2002).

Los SST (°Brix) son un parámetro de calidad del fruto que varía con la conductividad eléctrica de la solución nutritiva y el estrés hídrico del fruto durante su desarrollo (Céspedes *et al.*, 2004); en frutos de tomate de plantas bajo este tipo de estrés se almacenan principalmente iones y moléculas orgánicas (incremento en la concentración de fructosa y glucosa) (Munns, 2002).

Índice de madurez. Este parámetro se vio afectado directamente por la variable SST (debido a sus valores altos); sin embargo, no hubo diferencia significativa entre tratamientos, los valores obtenidos variaron entre 16.2 y 34.6 para IM (Cuadro 3) con una media de 26.7 y 25.7 (Sistemas abierto y cerrado respectivamente), siendo mayores a los observados por Rivas *et al.* (2012) (13.59 a 18.28) usando cuatro cultivares distintos y Bugarín-Montoya *et al.* (2002) (12.98 a 19.79) con distintas concentraciones y proporciones en la SN. 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). Si la relación es mayor a 10 los frutos son considerados de buena calidad (Kader *et al.*, 1978).

Porcentaje de pérdida de peso. Los resultados del análisis de varianza no mostraron diferencia significativa entre tratamientos, ambos sistemas hidropónicos mostraron una mayor pérdida de peso en la primera semana de medición (7 DDC) (Cuadro 4); sin embargo, el porcentaje de pérdida de peso del fruto no debe de exceder 7% de su peso original para su comercialización (Navarro-López *et al.*, 2012) y los resultados de esta investigación concuerdan con lo mencionado.

Conclusiones

El rendimiento de tomate no fue diferente entre los sistemas hidropónicos con y sin recirculación de la solución nutritiva establecidos en invernadero.

Sólo hubo diferencia significativa para el diámetro ecuatorial de fruto, pero no para diámetro polar, número de frutos, peso por fruto y porcentaje de pérdida de peso.

No hubo diferencia significativa en ninguna variable de calidad entre ambos sistemas hidropónicos en tres índices de madurez en dos etapas de la producción.

Maturity index. This parameter was affected directly by the SST variable (due to its high values); however, there was no significant difference between treatments, the values obtained ranged between 16.2 and 34.6 for IM (Table 3) with a mean of 26.7 and 25.7 (open systems and closed respectively), being higher than those observed by Rivas *et al.* (2012) (13.59 to 18.28) using four different cultivars and Bugarín-Montoya *et al.* (2002) (12.98 to 19.79) with different concentrations and ratios in the SN. With values obtained in a range of 12 to 18 maturity index it is suitable for many varieties of tomato (Bugarín-Montoya *et al.*, 2002). If the ratio is greater than 10 fruits are considered good quality (Kader *et al.*, 1978).

Percent weight loss. The results of analysis of variance showed no significant difference between treatments, both hydroponic systems showed greater weight loss in the first week of measurement (7 DDC) (Table 4); however, the percentage of fruit weight loss should not exceed 7% of its original weight for marketing (Navarro-López *et al.*, 2012) and the results of this research are consistent with the above.

Cuadro 4. Pérdida promedio de peso por semana en frutos de tomate, en porcentaje, para sistemas hidropónicos abierto y cerrado en tres índices de madurez.

Table 4. Average weight loss per week in tomato fruits, in percent, for hydroponic systems open and closed in three maturity indices.

Sistema hidropónico	7 DDC	14 DDC	21 DDC	PPPS
Abierto	2.842 a	1.906 a	1.883 a	2.21
Cerrado	2.81 a	1.912 a	1.916 a	2.212
DMS	0.427	0.283	0.321	

DDC= días después de la cosecha; PPPS= pérdida promedio por semana; DMS= diferencia mínima significativa.

Conclusions

Tomato yield was not different between hydroponic systems with and without recirculation of the nutrient solution established in greenhouse.

El uso de un sistema hidropónico con recirculación de la solución nutritiva (cerrado) puede ser considerado como una alternativa comparable con el sistema abierto en rendimiento y calidad de frutos producidos.

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. *Eur. Res. Technol.* 5(219):492-499.
- Al-Omran, A. M.; Harbi, A. R.; Wahb-Allah, M. A.; Nadeem, M. and Al-Eter, A. 2010. Impact of irrigation water quality, irrigation systems, irrigation rates and soil amendments on tomato production in sandy calcareous soil. *J. Agric.* 34(1):59-73.
- Alviter, P. D. y Granados, S. D. 2005. Construcción y manejo de invernaderos en la producción de jitomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) para el valle del mezquital, Hidalgo. *Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas.* 5(1):13-18.
- Arias, R.; Lee, T. C.; Specca, D. and Janes, H. 2000. Quality comparison of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) ripened on and off vine. *J. Food Sci.* 65(3):545-548.
- Bugarín-Montoya, R.; Galvis-Spinola, A.; Sánchez-García, P. y García-Paredes, P. 2002. Demanda de potasio del tomate tipo saladette. *Terra.* 20:391-399.
- Cayanan, D. F.; Zhang, P.; Liu, W.; Dixon, M. and Zheng, Y. 2009. Efficacy of chlorine in controlling five common plant pathogens. *HortSci.* 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.). 1a. Mundi-Prensa. Madrid, España. 703-747 p.
- De Bruyn J. W.; Garretsen, F. and Kooistra, E. 1971. Variation in taste and chemical composition of the tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Euphytica.* 20(2):214-227.
- Déniel, F.; Renault, D.; Tirilly, Y.; Barbier, G. and Rey, P. 2006. A dynamic biofilter to remove pathogens during tomato soilless culture. *Agron. Sustainable Develop.* 26(3):185-193.
- Dobričević, N.; Voća, S.; Benko, B. and Pliješćić, S. 2007. The quality of fresh tomato fruit produced by hydroponic. *Agric. Conspectus Sci.* 72(4):351-355.
- Dorais, M.; Papadopoulos, A. and Gosselin, A. 2001. Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie.* 21(4):367-383.
- Ehret, D.; Alsanian B.; Wohanka, W.; Menzies, J. and Utkhede, R. 2001. Disinfection of recirculating nutrient solutions in greenhouse horticulture. *Agronomie EDP Sci.* 21(4):323-339.
- Flores, J.; Ojeda-Bustamante, W.; López, I.; Rojano, A. y Salazar, I. 2007. Requerimientos de riego para tomate de invernadero. *Terra Latinoam.* 25(2):127-134.
- Gent, M. P. and Short, M. R. 2012. Effect on yield and quality of a simple system to recycle nutrient solution to greenhouse tomato. *HortSci.* 11(47):1641-1645.
- Herrero, B.; Blázquez, M. E. and Cristóbal, M. D. 2014. Agronomic parameters assessment in hydroponic tomato crop. *Hortic. Bras.* 32(4):385-390.
- Only significant difference to the equatorial diameter of fruit, but not for polar diameter, number of fruits, fruit weight and percentage of weight loss.
- There was no significant difference in quality between the two variable hydroponic systems in three maturity indices in two stages of production.
- Using a recirculating hydroponic nutrient solution (closed) it can be considered as a comparable alternative to open in yield and quality of fruit produced system.

End of the English version



- Hinsinger, P.; Plassard, C.; Tang, C. and Jaillard, B. 2003. Origins of root-mediated pH changes in the rhizosphere and their responses to environmental constraints: a review. *Plant and soil.* 248(1-2):43-59.
- Imas, P.; Bar-Yosef, B.; Kafkafi, U. and Ganmore-Neumann, R. 1997. Release of carboxylic anions and protons by tomato roots in response to ammonium nitrate ratio and pH in nutrient solution. *Plant Soil.* 191(1):27-34.
- 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.
- 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.
- Morgan, L. 2003. Greenhouse vegetables hydroponic tomatoes. *The growing edge.* 15(1):78-86.
- Munns, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environ.* 25(2):239-250.
- Muñoz-Ramos, J. J. 2009. Manejo del cultivo de tomate en invernadero. In: Castellanos, J. Z (Ed.). *Manual de producción de tomate en invernadero.* 1ra edición. Editorial INTAGRI, S. C., Celaya Guanajuato, México. 45-92 pp.
- 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.
- Navarro-López, E. R.; Nieto-Ángel, R.; Corrales-García, J.; García-Mateos, M. D. R. y Ramírez-Arias, A. 2012. Calidad poscosecha en frutos de tomate hidropónico producidos con agua residual y de pozo. *Rev. Chapingo Ser. Hort.* 18(3):263-277.
- Oztekkin, 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 Hort.* 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.* 1a (Ed.). University of Pisa. 63 p.

- Peña, M. Y.; Casierra-Posada, F. A. N. O. R. y Monsalve, O. I. 2013. Producción hidropónica de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en cascarilla de arroz mezclada con materiales minerales y orgánicos. Rev. Colomb. Cienc. Hortíc. 7(2):217-227.
- Poncet, C.; Offroy, M.; Antonini, C.; Bettachini, A.; Bonnet, G.; Drapier, J. M. and Julien, P. 2001. Disinfection systems of recycled effluents in flower crops. Acta Hortíc. 554:349-354.
- Putra, P.A. and Yuliando, H. 2015. Soilless culture system to support water use efficiency and product quality: a review. Agric. Sci. Procedia. 3(1):283-288.
- Rivas, M. P.; Albarracín, M.; Moratínos, H. y Navas, F. Z. 2012. Rendimiento y calidad de fruto en cuatro cultivares de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo condiciones protegidas. Rev. Fac. Agron. 29(3):395-412.
- San Martín-Hernández, S.; Ordaz-Chaparro, V. M.; Sánchez-García, P.; Colinas-León, B.; María, T. y Borges-Gómez, L. 2012. Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en hidroponía con diferentes granulometrías de tezontle. Agrociencia. 46(3):243-254.
- Sánchez-Del Castillo, F.; Moreno-Pérez, E. C.; Pineda-Pineda, J.; Osuna, J. M.; Rodríguez-Pérez, J. E. y Osuna-Encino, T. 2014. Producción hidropónica de jitomate (*Solanum lycopersicum* L.) con y sin recirculación de la solución nutritiva. Agrociencia. 2(48):185-197.
- Savvas, D.; Passam, H. C.; Olympios, C.; Nasi, E.; Moustaka, E.; Mantzos, N. and Barouchas, P. 2006. Effects of ammonium nitrogen on lettuce grown on pumice in a closed hydroponic system. HortSci. 41(7):1667-1673.
- Suazo-López, F., Zepeda-Bautista, R.; Sánchez-Del Castillo, F.; Martínez-Hernández, J. J.; Virgen-Vargas, J. and Tijerina-Chávez, L. 2014. Growth and yield of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) as affected by hydroponics, greenhouse and irrigation regimes. Annual Res. Rev. Biol. 24(4):4246-4258.
- Ucan, C. I.; Sánchez del Castillo, 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. México. Rev. Fitotec. Mex. 28(1):33-38.
- Urrieta-Velázquez, J. A.; Rodríguez-Mendoza, M. D. L. N.; Ramírez-Vallejo, P.; Baca-Castillo, G. A.; Ruiz-Posada, L. D. M. y Cueto-Wong, J. A. 2012. Variables de producción y calidad de tres selecciones de jitomate de costilla (*Solanum lycopersicum* L.). Rev. Chapingo Ser. Hortíc. 18(3):371-381.
- Weerakkody, W. A. P.; Wakui, K. and Nukaya, A. 2011. Plant nutrient uptake in recirculation culture of tomato under growth stage based electrical conductivity adjustments. J. Nat. Sci. Foun. Sri Lanka. 39(2):139-147.