

# Tomato quality (*Solanum lycopersicum* L.) produced in aquaponics complemented with foliar fertilization of micronutrients

## Calidad de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en acuaponía complementado con fertilización foliar de micronutrientes

Reyes-Flores, Maciel<sup>1</sup>; Sandoval-Villa, Manuel<sup>2\*</sup>; Rodríguez-Mendoza, María de las Nieves<sup>2</sup>; Trejo-Téllez, Libia Iris<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Autónoma de Chiapas, Facultad de Ciencias Agrícolas Campus IV, Entronque carretera Costera y Pueblo de Huehuetán, Chiapas, C.P. 30660; <sup>2</sup>Colegio de Postgraduados, Programa de Edafología Campus Montecillo, km 36.5 carretera México- Texcoco, Montecillo, Estado de México. C.P. 56230.

\*Autor para correspondencia: msandoval@colpos.mx

### ABSTRACT

**Objective:** to evaluate the effect of foliar applications of micronutrients on the quality of tomato fruits (*Solanum lycopersicum* L.) produced in aquaponics.

**Design/methodology/approach:** the treatments were ACU, aquaponics; ACUFF1 aquaponics plus foliar fertilization 1 (in mg L<sup>-1</sup>) with 12.50 Fe, 5.83 Mn, 1.17 Zn, 1.08 B, 0.47 Cu, 0.43 Mo and ACUFF2, aquaponics plus foliar fertilization 2 (in mg L<sup>-1</sup>) 25.0 Fe, 11.67 Mn, 2.33 Zn, 2.17 B, 0.93 Cu and 0.87 Mo and conventional hydroponics, HID, with the Steiner nutrient solution. To evaluate total soluble solids (SST), titratable acidity (AT), SST / AT ratio, electrical conductivity (EC), pH and lycopene content, ripe fruits (completely red) were used. The experiment was conducted under a completely randomized design with four replications. An analysis of variance was performed using the GLM procedure and means were compared by Tukey (P≤0.05) with the SAS 9.3 program.

**Results:** foliar applications in aquaponics did not affect SST, AT, SST / AT ratio and lycopene concentration but there was a slight difference in tomato juice pH, the AT, pH, SST / AT ratio and lycopene in aquaponics treatments showed no significant differences and only SST decreased 22.2% in ACU, 26.6% in ACUFF1 and 31.7% in ACUFF2 compared to HID.

**Limitations of the study/implications:** the attributes of fruit quality in aquaponics systems are not affected by the application of nutrients via foliar, which indicates that this practice is not necessary under the conditions in which the experiment was developed.

**Findings/Conclusions:** in aquaponics, foliar applications of micronutrients did not positively influence the chemical quality attributes of tomato fruits.

**Keywords:** tilapia, pH, nutrients, hydroponics.

### RESUMEN

**Objetivo:** evaluar el efecto de las aplicaciones foliares de micronutrientes en la calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en acuaponía.

**Diseño/metodología/aproximación:** los tratamientos fueron ACU, acuaponía; ACUFF1 acuaponía más fertilización foliar 1 (en mg L<sup>-1</sup>) con 12.50 Fe, 5.83 Mn, 1.17 Zn, 1.08 B, 0.47 Cu, 0.43 Mo y ACUFF2, acuaponía más fertilización foliar 2 (en mg L<sup>-1</sup>) 25.0 Fe, 11.67 Mn, 2.33 Zn, 2.17 B, 0.93 Cu y 0.87 Mo e hidroponía

**Agroproductividad:** Vol. 13, Núm. 5, mayo, 2020. pp: 79-86.

**Recibido:** noviembre, 2019. **Aceptado:** abril, 2020.



convencional, HID, con la solución nutritiva Steiner. Para evaluar los sólidos solubles totales (SST), acidez titulable (AT), relación SST/AT, conductividad eléctrica (CE), pH y el contenido de licopeno se utilizaron frutos maduros (completamente rojos). El experimento se condujo bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones. Se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM y la comparación de medias por Tukey ( $P \leq 0.05$ ) con el programa SAS 9.3.

**Resultados:** las aplicaciones foliares en acuaponía no afectaron los SST, la AT, la relación SST/AT y la concentración de licopeno, pero si hubo una ligera diferencia en el pH del jugo de tomate. La AT, el pH, la relación SST/AT y el licopeno en los tratamientos acuapónicos no mostraron diferencias significativas y únicamente los SST disminuyeron 22.2% en ACU, 26.6% en ACUFF1 y 31.7% en ACUFF2 comparado con HID.

**Limitaciones del estudio/implicaciones:** los atributos de calidad de frutos en los sistemas acuapónicos no se afectan por la aplicación de nutrientes vía foliar, lo cual indica que no es necesaria esta práctica bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento.

**Conclusiones:** en acuaponía, las aplicaciones foliares de micronutrientes no influyeron positivamente en los atributos de calidad química de frutos de tomate.

**Palabras clave:** tilapia, pH, nutrientes, hidroponía.

integran (peces, bacterias y plantas) (Somerville *et al.*, 2014). Por un lado, en sistemas acuapónicos se recomienda mantener el pH entre 7 y 8 para aumentar la nitrificación (Tyson *et al.*, 2008); por el otro, en hidroponía valores de pH clasificados como ligeramente (6.1 a 6.5) y medianamente ácidos (5.6 a 6) favorecen la solubilidad de las formas iónicas absorbidas por las plantas (Epstein y Bloom, 2005), ya que a pH por arriba de 7.0 puede ocasionar precipitación de  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{PO}_4^{3-}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$  (Resh, 2013). Por lo tanto, una alternativa es la aplicación foliar de nutrimentos específicos para compensar la baja disponibilidad de algunos micronutrientes a pH mayores de 7.0 en el cultivo de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en acuaponía.

Las aplicaciones foliares de K, Mg, Fe, Mn, Zn y Cu incrementaron las concentraciones de elementos aplicados en las hojas y frutos de tomate que crecieron en condiciones alcalinas (pH 7.0 a 7.7) (Roosta y Hamidpour, 2013); y en Chile (*Capsicum* sp.) la fertilización foliar con Fe tuvo un efecto benéfico en la absorción y transporte de nutrimentos esenciales con pH alcalino de la solución acuapónica (7.5 a 7.8) (Roosta y Mohsenian, 2012). Respecto a la calidad del tomate, se reporta que la aplicación foliar conjunta de Fe, Mn, Cu, Zn, B y Mo (Kumari, 2012) y de Zn más Fe (Kazemi, 2013) incrementan la concentración de los sólidos solubles totales (SST) y licopeno, y los efectos individuales o combinados de Zn y B mejoran los SST y la relación SST: acidez titulable (Meena *et al.*, 2015). La importancia de la fertilización foliar está en que es un medio eficaz para mejorar la calidad de tomate (Trejo-Tellez *et al.*, 2004) e incrementar el rendimiento

## INTRODUCCIÓN

Los sistemas acuapónicos son una estrategia para producir plantas utilizando desechos de la acuicultura. Esta técnica tiene como principios el reciclaje del agua y nutrimentos, y la producción sustentable de alimentos. El principio clásico es proporcionar los nutrientes contenidos en el agua de la acuicultura a unidades de cultivos de plantas para que estas mediante la absorción de nutrimentos la depuren para retornarla a los tanques de peces (Goddek *et al.*, 2016).

En acuaponía la fuente del aporte de los nutrimentos es el alimento de los peces. El efluente contiene nutrimentos disueltos que excretan los peces a través de las branquias como es el N (en forma de amoníaco) y P (Lennard, 2012) por la orina y heces fecales que comprenden compuestos orgánicos que necesitan mineralizarse y solubilizarse en forma iónica en el agua y que estén disponibles para las plantas (Goddek *et al.*, 2015; Lennard, 2012).

Los desechos de los peces no proporcionan los nutrimentos esenciales en cantidades adecuadas para el cultivo de tomate en acuaponía (Reyes-Flores *et al.*, 2016) lo que se manifiesta en la reducción del rendimiento y de la calidad del tomate (Sainju *et al.*, 2003). Para corregir deficiencias de algunos nutrimentos en acuaponía, estos pueden aplicarse al medio de cultivo (Goddek *et al.*, 2016) o mediante aspersión foliar; esta última es una alternativa eficiente en la nutrición de plantas (Roosta y Hamidpour, 2013).

El pH y las concentraciones de  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{NO}_2^-$  y  $\text{NO}_3^-$  son esenciales para mantener el equilibrio en el ecosistema acuapónico de los organismos que lo

en sistemas acuapónicos en donde la concentración de nutrientes es menor y que pueden resolverse mediante este medio de fertilización (Roosta y Hamidpour, 2011). Aun cuando la calidad del fruto está definida por muchos factores, los desequilibrios nutrimentales constituyen una desventaja y afectar gravemente la calidad del tomate (Afzal et al., 2015). Con base en lo anterior, se evaluó el efecto de las aplicaciones foliares de micronutrientes en la calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) producido en acuaponía.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Sistema acuapónico

El experimento se desarrolló en un módulo acuapónico en condiciones de invernadero, empleando un sistema de acuaponía comercial Home Garden de Nelson & Pade® con capacidad de 2855 L de agua. El sistema consistió en cuatro tanques para peces (de 200 L cada uno), dos clarificadores (de 86 L cada uno), dos biofiltros (de 35 L cada uno), un desgasificador (de 79 L) y tres tinas hidropónicas (de 578 L cada una). Se utilizó el agua del sistema acuapónico como solución nutritiva y se complementó la nutrición del cultivo con aspersiones foliares de micronutrientes y se evaluó su efecto en la calidad de frutos de tomate (*Solanum lycopersicon* L.) var. Cid tipo Saladatte de crecimiento indeterminado. El pH del agua fue de 7.8 al inicio y no se ajustó durante el experimento; este osciló de 7.3 a 7.8 en las tinas de peces y de 7.5 a 8.1 en las tinas hidropónicas. La pérdida de agua por evapotranspiración y por eliminación de sedimentos acumulados se repuso con agua de la llave (uso doméstico). El método de cultivo de plantas en el sistema acuapónico fue en balsas flotantes.

### Los Peces

Se colocaron 50 tilapias del Nilo (*Oreochromis niloticus* L.) en cada uno de los tanques: tanque 1, 1739 g; tanque 2, 2371 g; tanque 3, 3064 g y tanque 4, 4243 g de biomasa. Los peces fueron alimentados a las 10:00, 13:00 y 17:00 h *ad libitum* con alimento marca Nutripec Purina® con 44% de proteína y tamaño de pellet de 1.5 mm. Las concentraciones de nutrimentos del alimento obtenidas en el laboratorio fueron las siguientes, de macronutrientes en g kg<sup>-1</sup>: 76 de N, 10 de P, 0.6 de K, 4.2 de Ca, 1.0 de Mg y micronutrientes en mg kg<sup>-1</sup>: 252.5 de Fe, 18.9 de B, 7.8 de Cu, 105.7 de Zn, 21.6 de Mn y 5.0 de Mo.

### Las Plantas

Las semillas de tomate (*S. lycopersicum*) germinaron en charolas de poliestireno de 200 cavidades de 25 mL

de volumen cada cavidad usando turba Growing Mix® como sustrato. A los 50 días después de la siembra (dds) se trasladaron al componente hidropónico del sistema acuapónico y al testigo en bolsas con tezontle en hidroponía convencional.

### Diseño de tratamientos

En acuaponía se colocaron tres tratamientos, los cuales fueron ACU, acuaponía; ACUFF1 acuaponía más fertilización foliar 1 de micronutrientes y ACUFF2, acuaponía más fertilización foliar 2 de micronutrientes. La concentración de micronutrientes en las aspersiones foliares fueron (en mg L<sup>-1</sup>): 12.50 Fe, 5.83 Mn, 1.17 Zn, 1.08 B, 0.47 Cu, 0.43 Mo en ACUFF1 y 25.0 Fe, 11.67 Mn, 2.33 Zn, 2.17 B, 0.93 Cu y 0.87 Mo en ACUFF2. Dichas concentraciones se aplicaron en función de la baja disponibilidad de micronutrientes en soluciones con pH alcalinos. Para esto se utilizaron 166.6 y 333.3 mg L<sup>-1</sup>, respectivamente del producto comercial TradeCorp® AZ. Las aplicaciones foliares se realizaron a los 32, 39, 54 y 68 días después del trasplante (ddt). Los resultados de calidad de frutos en acuaponía se compararon con un tratamiento en hidroponía convencional, HID, a partir de la solución nutritiva Steiner (Steiner, 1984) y su composición base fue en mol<sub>c</sub> m<sup>-3</sup>: 12 NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, 1 H<sub>2</sub>PO<sub>4</sub><sup>-</sup>, 3.5 SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, 7 K<sup>+</sup>, 2 Mg<sup>2+</sup> y 4.5 Ca<sup>2+</sup> a un pH de 5.5. Se utilizó agua destilada para preparar la solución foliar con un pH 6.6. Se empleó un surfactante penetrante en solución acuosa, INEX-A de Cosmocel® a una concentración de 1 mL L<sup>-1</sup>. En cada aspersión se utilizaron 50 mL del fertilizante foliar, aplicados con un atomizador hasta punto de goteo por planta.

### Variables

En el componente hidropónico del sistema de acuaponía se realizaron muestreos cada 20 d para medir el pH, la conductividad eléctrica (CE) con un equipo Conductronic PC18 (Puebla, México) y la concentración de nutrimentos. El NO<sub>3</sub><sup>-</sup> se midió con un sensor Horiba Laqua twin, el NH<sub>4</sub><sup>+</sup> con un espectrofotómetro portátil Hanna Instrument HI-83225. La cuantificación de P, K, Ca, Mg, Mn, Cu y Fe se realizó en un equipo ICP-OES (Varian 725, Australia).

Se colocaron 18 plantas por tratamiento de las cuales cuatro se utilizaron para hacer las determinaciones. Se recolectó el segundo fruto del cuarto racimo en el estado de madurez rojo 9 (Cantwell y Kasmire, 2002) en cada uno de los tratamientos. Para la determinación SST se cortó el fruto longitudinalmente, se recolectaron dos

gotas de jugo y colocaron sobre la celda de un refractómetro manual ATAGO N-1E con escala de 0-32%. Para determinar el pH se pesó una muestra de 10 g de fruto fresco y se licuó en 50 mL de agua destilada, en el jugo recolectado se midió directamente el pH y CE usando un equipo Conductronic PC18 (Puebla, México) (Rodríguez, 1997). La acidez titulable (AT) se midió en la mezcla obtenida para el pH, por el método de neutralización (Boland, 1990) tomando una alícuota de 10 mL y se tituló con NaOH 0.1 N, utilizando fenolftaleína como indicador. La AT se calculó como porcentaje de ácido cítrico empleando la siguiente fórmula:

$$AT (\%) = \frac{(\text{mL NaOH gastados}) (N_{\text{NaOH}}, \text{meq mL}) (\text{meq del ácido cítrico}, 0.064) (\text{volumen total de la muestra, mL}) (100)}{(\text{volumen de alícuota titulada})}$$

La relación sólidos solubles totales: acidez titulable (SST/AT) se calculó como el cociente de SST y AT.

Las propiedades de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  se obtuvieron de la superficie de los tomates en el ancho ecuatorial del fruto por cuatro veces en los ángulos  $0^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$  utilizando un colorímetro Minolta CR-410 (Konica Minolta, Osaka, Japón) con un cabezal de 50 mm de diámetro de área de medición y una iluminación difusa/visión  $0^\circ$  (Minolta, 2013). Con éstos valores se estimó la concentración de licopeno mediante la fórmula propuesta por Arias *et al.* (2000):

$$\text{licopeno (mg } 100 \text{ g}^{-1}) = 11.878 (a^*/b^*) + 1.5471$$

### Análisis estadístico

El experimento se condujo bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones, donde una planta de cada tina hidropónica constituyó una unidad experimental. Se realizó un análisis de varianza utilizando el procedimiento GLM y la comparación de medias por Tukey ( $P \leq 0.05$ ) mediante el uso del programa SAS 9.3 (SAS Institute, 2010).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Conductividad eléctrica (CE) en la solución acuapónica

Durante el cultivo de los peces se suministró alimento como fuente de nutrientes en el sistema acuapónico lo que provocó un ligero aumento de la CE, 40% con respecto a la CE inicial del agua, en los primeros 60 ddt en las tinas hidropónicas. Este incremento en la CE no fue significativo, ya que para la producción de tomate se requiere una CE desde 2.1 a 5.1  $\text{dS m}^{-1}$  (Dorais *et al.*, 2001). El ligero incremento de la CE es debido al aumento de los iones derivados de la mineralización de la materia orgánica acumulada proveniente del alimento y de las heces fecales de los peces (Lian y Chien, 2013).

La CE puede afectar el rendimiento y calidad de tomate, valores mayores que 3  $\text{dS m}^{-1}$  disminuyen el rendimiento (Rosadi *et al.*, 2014); mientras que los SST se incrementan a valores que oscilan de 4.5 a 6.1 °Brix a CE desde 2.3 a 6.5  $\text{dS m}^{-1}$  (Wu y Kubota, 2008; Krauss *et al.*, 2006). En acuaponía es común encontrar CE menores que 1  $\text{dS m}^{-1}$  (Reyes-Flores *et al.*, 2016; Salam

*et al.*, 2014; Lian y Chien, 2013), y se esperaría que la calidad de los frutos de tomate disminuyera; sin embargo, Rosadi *et al.* (2014) reportaron que los SST mostraron disminución de 5.1% en hidroponía al comparar frutos producidos con CE de 1 y 3  $\text{dS m}^{-1}$  en la solución nutritiva.

La concentración de nutrimentos esenciales para las plantas en acuaponía fue menor que la de hidropónica (solución Steiner, 1984). El N fue 9.5 veces menor, el P 15.5, el K 52.5, el Ca 7.5, el Mg 1.9, el Fe 535.7, el Cu 33.3, el Zn 3.8, el B 6.3 y el Mn 266.6. Sin embargo, con estas concentraciones se obtuvo calidad aceptable de los frutos de tomate. La concentración de nutrimentos en acuaponía fluctuó durante el ciclo productivo de las plantas (Cuadro 1).

En acuaponía se ha documentado que los niveles de  $\text{N-NO}_3^-$  oscilan de 5 a 18  $\text{mg L}^{-1}$  (Hu *et al.*, 2015), valores menores a lo recomendado en la producción de tomate hidropónico (50 a 250  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ ; Resh, 2013). Autores como Graber y Junge (2009) reportaron la producción de tomate con concentraciones que van desde 12.1 a 95  $\text{mg N-NO}_3^- \text{ L}^{-1}$  y de 0.06 a 0.68  $\text{mg N-NH}_4^+ \text{ L}^{-1}$ . Sin embargo, no informan sobre el efecto de los nutrimentos en la calidad del fruto.

### Variables asociadas a la calidad de fruto

El Cuadro 2 presenta los resultados obtenidos al evaluar los diferentes tratamientos en acuaponía e hidroponía en la calidad del fruto. No hubo diferencias significativas en el pH del jugo de tomate en hidroponía con respecto a los tratamientos acuapónicos. En acuaponía, las aplicaciones foliares incrementaron de manera significativa el pH del fruto,

**Cuadro 1.** Concentración promedio, máxima y mínima de nutrientes producidos en tinas hidropónicas con diferentes tratamientos durante 121 días en (*Solanum lycopersicum* L.).

Nutrientes	Tinas hidropónicas					
	ACU		ACUFF1		ACUFF2	
	Media (mg L <sup>-1</sup> )	Mín-máx (mg L <sup>-1</sup> )	Media (mg L <sup>-1</sup> )	Mín-máx (mg L <sup>-1</sup> )	Media (mg L <sup>-1</sup> )	Mín-máx (mg L <sup>-1</sup> )
N-NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1.1	0.7-1.7	1.1	0.9-1.7	1.1	0.9-1.5
N-NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	16.5	7.7-29.3	17.8	15.9-31.6	17.1	15.3-31.6
P	1.9	0.4-3.0	2.0	0.4-2.8	2.1	0.4-3.2
K	5.0	2.1-8.5	5.3	2.4-8.1	5.4	2.4-8.1
Ca	23.6	19.4-26.9	24.0	20.6-27.4	24.0	21.6-26.8
Mg	24.4	17.1-30.0	25.5	17.7-28.9	25.9	23.4-29.4
Fe	0.005	0-0.012	0.004	0-0.017	0.008	0-0.022
Cu	0.004	0-0.013	0.002	0-0.008	0.004	0-0.013
Zn	0.072	0-0.150	0.086	0.036-0.185	0.064	0-0.184
B	0.039	0.019-0.054	0.043	0.027-0.054	0.042	0.030-0.065

ACU: acuaponía; ACUFF1: acuaponía más fertilización foliar 1; ACUFF2: acuaponía más fertilización foliar 2; HID: hidroponía.

**Cuadro 2.** Efecto de los tratamientos acuapónicos e hidropónico sobre la calidad química de frutos de (*Solanum lycopersicum* L.) variedad Cid a madurez de consumo.

Tratamientos	pH	CE (dS m <sup>-1</sup> )	AT (% ácido cítrico)	SST (%)	SST/AT	Licopeno (mg 100 g <sup>-1</sup> PF)
ACU	4.12 <sup>z</sup> b	0.69 a	0.114 a	3.50 b	31.21 ab	15.98 a
ACUFF1	4.25 a	0.68 a	0.119 a	3.30 b	28.02 ab	15.85 a
ACUFF2	4.25 a	0.68 a	0.126 a	3.07 b	24.54 b	17.08 a
HID	4.17 ab	0.74 a	0.107 a	4.50 a	43.09 a	15.45 a
<sup>y</sup> DMSH	0.11	0.10	0.03	0.64	15.45	1.76
<sup>x</sup> CV (%)	1.28	6.81	15.32	8.52	23.21	5.23

<sup>z</sup>Valores con letra distinta, dentro de columnas, son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); <sup>y</sup>DMSH: diferencia mínima significativa honesta; <sup>x</sup>CV: coeficiente de variación; ACU: acuaponía; ACUFF1: acuaponía más fertilización foliar 1; ACUFF2: acuaponía más fertilización foliar 2; HID: hidroponía; CE: conductividad eléctrica; AT: acidez titulable; SST: sólidos solubles totales; PF=peso fresco.

aunque se mantuvieron en un pH inferior a 4.5 que es lo recomendado para la industrialización, para controlar el deterioro microbiano en el producto final (Giordano et al., 2000). Las aplicaciones foliares de micronutrientes aumentaron el pH de 4.12 a 4.25; 3% respecto a ACU. En hidroponía, Hernández-Leal et al. (2013) obtuvieron un pH del jugo de tomate en la variedad Cid de 4.7, valor superior al aquí obtenido en el tratamiento hidropónico (HID). La CE de 0.25 a 5 dS m<sup>-1</sup> no modifica el valor de pH en tomate (Yurtseven et al., 2005).

Las aplicaciones foliares en tomate acuapónico no afectaron el contenido de SST. Los tratamientos de acuaponía mostraron valores inferiores (3.07 a 3.50%) a lo reportado por Hernández-Leal et al. (2013) en la

variedad Cid en hidroponía convencional que fue de 4.8%, que incluso fue mayor a lo obtenido en HID. Por otro lado, las aplicaciones foliares conjuntas de Fe, Mn, Cu, Zn, B y Mo de 100 mg L<sup>-1</sup> de cada micronutriente incrementaron 15.7% los SST; 3.55% en plantas no tratadas a 4.11% (Kurami, 2012). La aplicación foliar de 100 mg Zn L<sup>-1</sup> más 200 mg Fe L<sup>-1</sup> se recomienda para lograr 5.85 °Brix (Kazemi, 2013) y los efectos individuales o combinados de Zn y B (50, 100 y 150 mg L<sup>-1</sup>) incrementan los SST hasta 5.66 % (Mushtaq et al., 2016) y 5.05 % (Meena et al., 2015) en tomate. Sin embargo, en este estudio la aspersión de micronutrientes provocó una reducción de SST de 5.7% y 12.3% en ACUFF1 y ACUFF2 con respecto a ACU y 26.7% y 31.8% en relación con HID.

El porcentaje de SST en ACUFF1 y ACCUFF2 está ligeramente por debajo del límite inferior del rango obtenido por Turhan y Seniz (2009) en varios genotipos; 3.4 a 5.5%, considerando que se desarrollaron bajo condiciones nutrimentales adecuadas. Los resultados se obtuvieron a pesar de la diferencia en CE promedio entre los tratamientos acuapónicos e hidropónico (de 0.58 y 2 dS  $m^{-1}$ ). Yurtseven *et al.* (2005) reportan que valores de CE de 0.25 a 5 dS  $m^{-1}$  no afectó los SST, resultados diferentes a esta investigación; en donde la magnitud de la CE en hidroponía y acuaponía originó la diferencia en SST.

En acuaponía, la deficiencia de nutrimentos es uno de los factores que podría disminuir la calidad de las cosechas; pero el constante abastecimiento de nutrimentos, aunque en pequeñas concentraciones, permite obtener valores de SST dentro de los rangos aceptados, según Turhan y Seniz (2009), como se observa en ACU sin la necesidad de las aspersiones foliares.

La AT observada en los tratamientos acuapónicos fue similar a la de HID. Las aplicaciones foliares de Zn y B individual o combinados no mostraron diferencias significativas en esta variable de 0.45 a 0.56% (Meena *et al.*, 2015). Sin embargo, Tigist *et al.* (2013) encontraron que la AT osciló entre 0.25 y 0.34% en cinco variedades de tomate, valores superiores a los encontrados en este estudio. Lo anterior se atribuye a que los ácidos orgánicos disminuyen conforme el fruto madura (Casierra-Posada y Aguilar-Avenidaño, 2008) ya que las mediciones de calidad de fruto se realizaron cuando éstos estaban completamente maduros. La disminución de la AT en los frutos de

los tratamientos acuapónicos obedece a los bajos niveles de azúcares, como lo mencionan Getinet *et al.* (2008) que las plantas con altos niveles de azúcares generalmente tienen más ácidos orgánicos libres y menor concentración de iones de hidrógeno que las plantas con bajo contenido de azúcares. Aunque es tendencia no se conserva en HID que a pesar de tener más SST la AT fue estadísticamente igual que ACU, ACUFF1 y ACCUFF2.

En general, al incrementarse la AT disminuye el pH (Anthon *et al.*, 2011); no obstante, los resultados de esta investigación indican que al no haber diferencia significativa en la AT no se modifica el pH con las aspersiones foliares.

Los tratamientos acuapónicos no afectaron la relación SST/AT, mientras que con aplicaciones foliares con Zn y B a una concentración de 100 mg  $L^{-1}$  se obtuvo una relación de 10.98 (Meena *et al.*, 2015). Tigist *et al.* (2013) reportaron relaciones de 12.1 a 18.5 en cinco variedades de tomates para consumo en fresco. El valor máximo SST/AT de 43.09 en HID se debe al bajo valor de AT.

El comportamiento de las relaciones SST/AT en los tratamientos acuapónicos se atribuye a la disminución de SST dado que la AT no fue diferente a la de HID.

La estimación de licopeno por colorimetría de frutos maduros no fue afectada por los tratamientos. En ACU fue de 15.98 mg 100  $g^{-1}$ , estadísticamente iguales a ACUFF1, ACUFF2 e HID. Esto significa que los frutos producidos en los tratamientos de acuaponía con bajas concentraciones de nutrimentos no modificaron la concentración de licopeno.

Sin embargo, Fanasca *et al.* (2006a, 2006b) reportan que el licopeno se incrementó por cambios en la concentración de nutrimentos en la solución nutritiva, resultados que difieren a lo encontrado en este estudio en donde HID a pesar de contener los nutrimentos esenciales no presentó cambios en la concentración de licopeno. El grado de madurez influye en la concentración de licopeno; ésta es mayor en la etapa de madurez rojo intenso (Arias *et al.*, 2000) antes del ablandamiento excesivo. La concentración de licopeno en genotipos nativos mexicanos oscila desde 12.4 a 22.9 mg 100  $g^{-1}$  (Méndez *et al.* 2011) y 12.2 mg 100  $g^{-1}$  (Arias *et al.* 2000), 8.5 a 13.56 mg 100  $g^{-1}$  (Radzevičius *et al.*, 2009) en variedades comerciales y de 9.6 a 16.8 mg 100  $g^{-1}$  en líneas de tomate (Peralta *et al.*, 2012).

## CONCLUSIONES

La fertilización foliar con micronutrimentos en acuaponía no afectó la conductividad eléctrica del fruto (CE), la acidez titulable (AT) y la relación sólidos solubles totales (SST)/acidez titulable (AT) de los frutos de tomate, comparables con lo obtenido en hidroponía (HID) excepto los SST que disminuyeron 22.2% en acuaponía (ACU), 26.6% en acuaponía con fertilización foliar de baja dosis (ACUFF1) y 31.7% en acuaponía con fertilización foliar de alta dosis (ACUFF2). Solo el pH del jugo del fruto fue ligeramente modificado por los tratamientos acuapónicos. La concentración de licopeno en frutos maduros con y sin aspersiones foliares en acuaponía no fue afectada por los tratamientos, incluso con HID en donde la nutrición vegetal fue óptima. Los atributos de calidad de frutos en los sistemas acuapónicos no se afectan por la

aplicación de nutrientes vía foliar, lo cual indica que no es necesaria esta práctica bajo las condiciones en que se desarrolló el experimento.

## LITERATURA CITADA

- Afzal, I., Hussain, B., Basra, S. M. A., Ullah, S. H., Shakeel, Q. and Kamran, M. (2015). Foliar application of potassium improves fruit quality and yield of tomato plants. *Acta Scientiarum Polonorum, Hortorum Cultus* 14: 3-13.
- Anthon, G. E., LeStrange, M. and Barrett, D. M. (2011). Changes in pH, acids, sugars and other quality parameters during extended vine holding of ripe processing tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 91: 1175-1181. doi: 10.1002/jsfa.4312
- Arias, R., Lee, T. C., Logendra, L., and Janes, H. (2000). Correlation of lycopene measured by HPLC with the L\*, a\*, b\* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48: 1697-1702. doi: 10.1021/jf990974e
- Boland, F.E. (1990). Fruit and fruit products. In: Helrich, K. (ed.). *Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemist (AOAC)*. 15th edition. Arlington, VA.
- Cantwell, M. I. and Kasmire, R. F. (2002). Postharvest handling systems: fruits vegetables. In: *Postharvest technology of horticultural crops*. 3rd edition. (ed.) A. Kader. University of California. Publication 3311. 407-421.
- Casierra-Posada, F., y Aguilar-Avendaño, Ó. E. (2008). Calidad en frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) cosechados en diferentes estados de madurez. *Agronomía Colombiana* 26: 300-307.
- Dorais, M., Papadopoulos, A. and Gosselin, A. (2001). Influence of electric conductivity management on greenhouse tomato yield and fruit quality. *Agronomie* 21:367-383. doi: 10.1051/agro:2001130
- Epstein, E. and Bloom, A.J. (2005). *Mineral nutrition of plants: principles and perspectives*. Sinauer Associates Publishers. Sunderland, MA. 400 pp.
- Fanasca, S., Colla, G., Maiani, G., Venneria, E., Roupheal, Y., Azzini, E. and Saccardo, F. (2006a). Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 4319-4325. doi: 10.1021/jf0602572
- Fanasca, S., Colla, G., Roupheal, Y., Saccardo, F., Maiani, G., Venneria, E. and Azzini, E. (2006b). Evolution of nutrient value of two tomato genotypes grown in soilless culture as affected by macrocation proportions. *HortScience* 41: 1584-1588. doi: 10.21273/HORTSCI.41.7.1584
- Getinet, H., Seyoum, T. and Woldetsadik, K. (2008). The effect of cultivar, maturity stage and storage environment on quality of tomatoes. *Journal of Food Engineering* 87: 467-478. doi: 10.1016/j.jfoodeng.2007.12.031
- Giordano L. D. B., Silva J. B. C. and Barbosa V. (2000). Escolha de cultivares e plantio. In: *Tomate para processamento industrial*. (eds) J. B. C. Silva and L. D. B. Giordano. Emprapa. Brasília, Brazil. 36-59.
- Goddek, S., Delaide, B., Mankasingh, U., Ragnarsdottir, K. V., Jijakli, H. and Thorarinsdottir, R. (2015). Challenges of sustainable and commercial aquaponics. *Sustainability* 7: 4199-4224. doi: 10.3390/su7044199
- Goddek, S., Espinal, C. A., Delaide, B., Jijakli, M. H., Schmutz, Z., Wuertz, S., and Keesman, K. J. (2016). Navigating towards decoupled aquaponic systems: A system dynamics design approach. *Water* 8: 303. doi: 10.3390/w8070303
- Graber, A. and Junge, R. (2009). Aquaponic Systems: Nutrient recycling from fish wastewater by vegetable production. *Desalination* 246: 147-156. doi: 10.1016/j.desal.2008.03.048
- Hernández-Leal, E., Lobato-Ortiz, R., García-Zavala, J. J., Reyes-López, D., Méndez-López, A., Bonilla-Barrientos, O., y Hernández-Bautista, A. (2013). Comportamiento agronómico de poblaciones F2 de híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Revista Fitotecnia Mexicana* 36: 209-215.
- Hu, Z., Lee, J. W., Chandran, K., Kim, S., Brotto, A. C. and Khanal, S. K. (2015). Effect of plant species on nitrogen recovery in aquaponics. *Bioresource Technology* 188: 92-98. doi: 10.1016/j.biortech.2015.01.01
- Kazemi, M. (2013). Effects of Zn, Fe and their combination treatments on the growth and yield of tomato. *Bulletin of Environment, Pharmacology and Life Sciences* 3: 109-114.
- Krauss, S., Schnitzler, W. H., Grassmann, J. and Woiatke, M. (2006). The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 54: 441-448. doi: 10.1021/jf051930a
- Kumari, S. (2012). Effect of micronutrients on quality of fruit and seed in tomato, *Solanum lycopersicum* L. *International Journal of Farm Sciences* 2: 43-46.
- Lennard, W. (2012). Aquaponic system design parameters: Fish to plant ratios (feeding rate ratios). *Aquaponic Fact Sheet Series*: 1-12.
- Liang, J. Y. and Chien, Y. H. (2013). Effects of feeding frequency and photoperiod on water quality and crop production in a tilapia-water spinach raft aquaponics system. *International Biodeterioration & Biodegradation* 85: 693-700. doi: 10.1016/j.ibiod.2013.03.029
- Meena, D. C., Maji, S., Meena, J. K., Kumawat, R., Meena, K. R., Kumar, S. and Sodh, K. (2015). Improvement of growth, yield and quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cv. Azad T-6 with foliar application of zinc and boron. *International Journal of Bio-Resource & Stress Management* 6: 598-601. doi: 10.5958/0976-4038.2015.00091.3
- Méndez, I. I., Vera G. A. M., Chávez S. J. L. and Carrillo J. C. (2011). Quality of fruits in Mexican tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) landraces. *Vitae* 18: 26-32.
- Minolta, K. (2013). *Manual de instrucciones: chroma meter CR-400/410*. Kónica Minolta Sensing, Japan. 156 p.
- Mushtaq, N., Mushtaq, F., Rasool, F., Jan, R., Berjis, S., Ganaie, M. A. and Mushtaq, R. (2016). Effect of foliar application of boron and zinc on growth and fruit quality parameters of tomato (*Solanum lycopersicon* L.) cv. Shalimar 1 under temperate conditions in Kashmir valley. *The Bioscan* 11: 1299-1301.
- Peralta, G., Carrillo-Rodríguez, J. C., Chavez-Servia, J. L., Vera-Guzmán, A. M., y Pérez-León, I. (2012). Variación de caracteres agronómicos y licopeno en líneas avanzadas de tomate (*Solanum lycopersicum* L.). *Phyton* 81: 15-22.
- Radzevičius, A., Karkleliene, R., Viškelis, P., Bobinas, C., Bobinaite, R., Sakalauskiene, S. and Metspalu, L. (2009). Tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruit quality and physiological

- parameters at different ripening stages of Lithuanian cultivars. *Agronomy Research* 7: 712-718.
- Resh, H. M. (2013). *Hydroponic food production: a definitive guidebook for the advanced home gardener and the commercial hydroponic grower*. CRC Press. Boca Raton, FL, USA. 276 pp.
- Reyes-Flores, M., M. Sandoval-Villa., M. N. Rodríguez-Mendoza., L. I. Trejo-Téllez., J. Sánchez-Escudero y J. Reta-Mendiola. (2017). Concentración de nutrientes en efluente acuapónico para producción de *Solanum lycopersicum* L. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 17: 3529-3542.
- Rodríguez M., M. N. (1997). Fertilización foliar en el cultivo del tomate en condiciones de invernadero. Tesis de Doctorado. Colegio de Postgraduados. Montecillo, México.
- Roosta, H. R. and Hamidpour, M. (2013). Mineral nutrient content of tomato plants in aquaponic and hydroponic systems: effect of foliar application of some macro and micro-nutrients. *Journal of Plant Nutrition* 36: 2070-2083. doi: 10.1080/01904167.2013.821707
- Roosta, H. R. and Mohsenian, Y. (2012). Effects of foliar spray of different Fe sources on pepper (*Capsicum annuum* L.) plants in aquaponic system. *Scientia Horticulturae* 146: 182-191. doi: 10.1016/j.scienta.2012.08.018
- Roosta, H. R., and Hamidpour, M. (2011). Effects of foliar application of some macro-and micro-nutrients on tomato plants in aquaponic and hydroponic systems. *Scientia Horticulturae* 129: 396-402. doi: 10.1016/j.scienta.2011.04.006
- Rosadi, R. B., Senge, M., Suhandy, D., and Tusi, A. (2014). The effect of EC levels of nutrient solution on the growth, yield, and quality of tomatoes (*Solanum lycopersicum*) under the hydroponic system. *Journal of Agricultural Engineering and Biotechnology* 2: 7-12.
- Sainju, U. M., Dris, R., and Singh, B. (2003). Mineral nutrition of tomato. *Food, Agriculture & Environment* 1: 176-183.
- Salam, M. A., Jahan, N., Hashem, S., and Rana, K. M. S. (2014). Feasibility of tomato production in aquaponic system using different substrates. *Progressive Agriculture* 25: 54-62. doi: 10.3329/pa.v25i0.24075
- SAS, Statistical Analysis System. (2010). SAS Institute Inc. SAS/STAT® 9.3. User's Guide Cary, NC: SAS Institute. Cary, NC, USA.
- Somerville, C., Cohen, M., Pantanella, E., Stankus, A. and Lovatelli, A. (2014). Small-scale aquaponic food production: integrated fish and plant farming. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, Italy. 589 p.
- Steiner, A. A. (1984). The universal nutrient solution. *In: Proceedings Sixth International Congress on Soilless Culture, ISOSC. Lunteren, Wageningen. The Netherlands.* pp: 633-650.
- Tigist, M., Workneh, T. S. and Woldetsadiq, K. (2013). Effects of variety on the quality of tomato stored under ambient conditions. *Journal of Food Science and Technology* 50: 477-486. doi: 10.1007/s13197-011-0378-0
- Trejo-Téllez, L. I., Rodríguez-Mendoza, M.N., Alcántar-González, G. and Gómez-Merino, F.C. (2004). Micronutrient foliar fertilization increases quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) in alkaline soils. *Acta Horticulturae (ISHS)* 729: 301-306. doi: 10.17660/ActaHortic.2007.729.49
- Turhan, A., and Şeniz, V. (2009). Estimation of certain chemical constituents of fruits of selected tomato genotypes grown in Turkey. *African Journal of Agricultural Research* 4: 1086-1092.
- Tyson, R. V., Simonne E. H., Treadwell D. D., White J. M. and Simonne A. (2008). Reconciling pH for ammonia biofiltration and cucumber yield in a recirculating aquaponic system with perlite biofilters. *HortScience* 43: 719-724. doi: 10.21273/HORTSCI.43.3.719
- Wu, M. and Kubota, C. (2008). Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Scientia Horticulturae* 116: 122-129. doi: 10.1016/j.scienta.2007.11.014
- Yurtseven, E., Kesmez, G. D. and Ünlükara, A. (2005). The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central Anatian tomato species (*Lycopersicon esculentum*). *Agricultural Water Management* 78: 128-135. doi: 10.1016/j.agwat.2005.04.018