



REVISTA CHAPINGO SERIE  
HORTICULTURA

ISSN: 1027-152X

revistahorticultura29@gmail.com

Universidad Autónoma Chapingo  
México

Navarro-López, Erik R.; Nieto-Ángel, Raúl; Corrales-García, Joel; García-Mateos, María del Rosario;  
Ramírez-Arias, Armando

CALIDAD POSCOSECHA EN FRUTOS DE TOMATE HIDROPÓNICO PRODUCIDOS CON AGUA  
RESIDUAL Y DE POZO

REVISTA CHAPINGO SERIE HORTICULTURA, vol. 18, núm. 3, septiembre-diciembre, 2012, pp.  
263-277

Universidad Autónoma Chapingo  
Chapingo, México

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=60926213001>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica

Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal

Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

# CALIDAD POSCOSECHA EN FRUTOS DE TOMATE HIDROPÓNICO PRODUCIDOS CON AGUA RESIDUAL Y DE POZO

Erik R. Navarro-López; Raúl Nieto-Ángel<sup>1</sup>; Joel Corrales-García<sup>\*2</sup>;  
María del Rosario García-Mateos<sup>1</sup>; Armando Ramírez-Arias<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Fitotecnia, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México, C. P. 56230. MÉXICO.

<sup>2</sup>Departamento de Ingeniería Agroindustrial, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO. Correo-e: joelcorrales@hotmail.com  
(\*Autor para correspondencia).

<sup>3</sup>Departamento de Preparatoria Agrícola, Universidad Autónoma Chapingo. km 38.5 Carretera México-Texcoco. Chapingo, Estado de México. C. P. 56230. MÉXICO.

## RESUMEN

De acuerdo con productores del Valle del Mezquital, Hidalgo, el uso de aguas residuales mejora la calidad poscosecha de productos hortícolas. Sin embargo, no hay suficientes evidencias científicas que lo demuestren. Se estudió la calidad poscosecha en frutos de tomate rojo producidos con hidroponía en agua residual (FAR) y de pozo (FAP). Los frutos fueron cosechados y almacenados durante 10, 20, 30 y 40 días, bajo las siguientes condiciones: 4 °C con 90 % HR, 10 °C con 82 % HR y 20 °C con 62 % HR. Al cabo de cada periodo se evaluó el ángulo de tono (*hue*), sólidos solubles totales (° Brix), acidez titulable, firmeza, pérdida de peso y pH del fruto. En los frutos refrigerados a 4 °C y 10 °C durante los diversos periodos de almacenamiento, el *hue* tuvo diferencias ( $P \leq 0.05$ ): los FAR presentaron valores menores de *hue* que los FAP. Esto indica que los FAR tuvieron un color más rojo. Los °Brix en frutos no refrigerados durante 10, 20, 30 y 40 días de almacenamiento (dda) fueron mayores en los FAR que en los FAP. A 10 °C por 30 y 40 dda, y a 4 °C por 30 dda, los FAR presentaron mayores contenidos de sólidos solubles totales que los FAP. En acidez titulable sólo hubo diferencias en frutos refrigerados a 4 °C por 20 dda: los FAP presentaron un mayor valor que los FAR. La firmeza, pérdida de peso y pH del fruto no presentaron diferencias para el factor tipo de agua.

**PALABRAS CLAVE ADICIONALES:** *Solanum lycopersicon* L., pérdida de peso, ángulo de tono, sólidos solubles totales, acidez titulable, pH.

## POSTHARVEST QUALITY IN FRUIT OF HYDROPONIC TOMATO CULTIVATED WITH WASTEWATER AND WELL WATER

### ABSTRACT

According to producers from Valle del Mezquital, Hidalgo, the use of wastewater improves postharvest quality of horticultural products; however, there is not enough scientific evidence that prove it. Postharvest quality in tomato fruits produced with waste water (WF) and well water (WWF) in hydroponic systems was evaluated. Fruits were harvested and stored during 10, 20, 30 and 40 days, under the following conditions: 4 °C with 90 % RH; 10 °C with 82 % RH and 20 °C with 62 % RH. Hue angle, total soluble solids, titratable acidity, firmness, weight loss and pH of the fruit were evaluated at the end of each period. Fruits refrigerated at 4 °C and 10 °C during different storage periods showed differences in hue angle ( $P \leq 0.05$ ): *hue* values were lower in WF than in WWF. This indicates that WF fruits were redder. °Brix in non- refrigerated fruits during 10, 20, 30 and 40 storage days were greater in WF than in WWF. Total soluble solids were higher in WWF than in WF at 10 °C during 30 and 40 storage days and at 4 °C during 30 storage days. Titratable acidity had differences only in refrigerated fruits at 4 °C during 20 storage days: WWF showed higher titratable acidity than WF. Firmness, weight loss and pH of the fruit did not show differences for the factor type of water.

**ADDITIONAL KEYWORDS:** *Solanum lycopersicon* L., weight loss, hue angle, total soluble solids, titratable acidity, pH.

## INTRODUCCIÓN

En algunas regiones de México y del mundo, a causa de la escasez de agua para riego en la agricultura desde principios del siglo XX, se ha utilizado agua residual en la producción de alimentos (Cuenca-Adame *et al.*, 2001). En México, ya se sabía desde hace más de 30 años que el área más expandida irrigada con este tipo de agua derivada del Distrito Federal es el Valle del Mezquital con 97,000 ha (Cuadra, 1981). De acuerdo con Jiménez y Chávez (2004) esta superficie se redujo ligeramente a 90,000 ha. Sin embargo, el Valle del Mezquital resulta muy importante porque en éste se cultiva alfalfa, maíz, trigo, avena, frijol, cebada, café, cítricos, melón, tomate verde, tomate rojo, chile y betabel (Anónimo, 2002). Jiménez y Chávez (2004) reportan que el agua residual del Distrito Federal contiene algunos componentes nutritivos disueltos como nitrógeno total = 37.0-38.0, fósforo = 2.7-3.0, calcio = 41.0-445.0, magnesio = 24.0-29.0, sulfatos = 3.0-3.5, fierro = 1.0-1.2, manganeso = 0.03-0.2, boro = 1.0-1.2 y cobre = 0.05-0.07 (mg·litro<sup>-1</sup>); más carbono orgánico total = 35-188 mg·litro<sup>-1</sup>, pH = 7.16 y conductividad eléctrica = 1.437 - 1.689 dS·m<sup>-2</sup>. El agua residual sin tratamiento alguno, parcialmente tratada o mezclada con agua de lluvia, es muy demandada por los agricultores del Valle del Mezquital, principalmente por su efecto tan significativo en el incremento de la producción. Por ejemplo, en maíz la producción se ha incrementado de 2 a 5 t·ha<sup>-1</sup>; en alfalfa, de 70 a 120 t·ha<sup>-1</sup>; en avena forrajera, de 12 a 22 t·ha<sup>-1</sup>; en cebada, de 2 a 4 t·ha<sup>-1</sup>; en frijol, de 1.4 a 1.8 t·ha<sup>-1</sup>; en chile, de 7 a 12 t·ha<sup>-1</sup>, y en tomate rojo, de 18 a 35 t·ha<sup>-1</sup> (Jiménez *et al.*, 2005). De acuerdo con los productores, el uso de agua residual permite una disminución en el requerimiento de fertilizantes e incrementa la calidad poscosecha de algunos productos agrícolas (Anónimo, 2002; Jiménez *et al.*, 2005). Tzortzakis y Economakis (2008) mencionan que la presencia de componentes orgánicos en los sustratos para tomates producidos en hidroponía originó una producción de 26.6 frutos por planta y que los frutos presentarían las siguientes características: 205 a 208 g de peso, 3.91 °Brix, 2.92 % de ácido cítrico, 3.5 µg de β-caroteno·g<sup>-1</sup>, 70 µg de licopeno·g<sup>-1</sup>, 0.20 µg ácido ascórbico·g<sup>-1</sup> de fruto y firmeza de 1.21 kg·f<sup>-1</sup>. Sin embargo, la influencia del uso de aguas residuales en la calidad poscosecha de hortalizas ha sido poco investigada. De acuerdo a lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue estudiar el efecto del agua residual y agua de pozo en soluciones nutritivas hidropónicas sobre algunos parámetros de calidad poscosecha como color, sólidos solubles totales, acidez titulable, firmeza, pérdida de peso y pH de frutos de tomate rojo, bajo distintas condiciones de almacenamiento durante 40 días.

## INTRODUCTION

Wastewater has been used in food production, due to water scarcity for irrigation in agriculture since the early twentieth century in some regions of Mexico and the world (Cuenca-Adame *et al.*, 2001). In Mexico, for over 30 years it has been known that the most expanded area irrigated with this type of water is Valle del Mezquital with 97,000 ha (Cuadra, 1981). According to Jiménez and Chávez (2004) this area was reduced slightly to 90,000 ha. However, Valle del Mezquital is very important because in this place alfalfa, maize, wheat, oats, beans, barley, coffee, citrus, melon, husk tomato, tomato, pepper, and sugar beet are grown (Anonymous, 2002). Jiménez and Chávez (2004) report that wastewater from Mexico City contains some nutritional elements dissolved as total nitrogen = 37.0-38.0, phosphorus = 2.7-3.0, calcium = 41.0-445.0, magnesium = 24.0-29.0, sulfates = 3.0-3.5, iron = 1.0-1.2, manganese = 0.03-0.2, boron = 1.0-1.2 and copper = 0.05-0.07 (mg·litter<sup>-1</sup>); plus total organic carbon = 35-188 mg·litter<sup>-1</sup>, pH = 7.16 and electrical conductivity = 1.437 - 1.689 dS·m<sup>-2</sup>. Untreated wastewater, partially treated or mixed with rain water, is in high demand by farmers of Valle del Mezquital, mainly because of its significant effect increasing the production. For example, maize production has increased from 2 to 5 t·ha<sup>-1</sup>, alfalfa production from 70 to 120 t·ha<sup>-1</sup>, forage oat production from 12 to 22 t·ha<sup>-1</sup>, barley production from 2 to 4 t·ha<sup>-1</sup>, beans production from 1.4 to 1.8 t·ha<sup>-1</sup>, pepper production from 7 to 12 t·ha<sup>-1</sup>, tomato production from 18 to 35 t·ha<sup>-1</sup> (Jiménez *et al.*, 2005). According to the producers, the use of residual water allows a reduction in the requirement of fertilizer and increases the postharvest quality of some agricultural products (Anonymous, 2002; Jiménez *et al.*, 2005). Tzortzakis and Economakis (2008) mentioned that the presence of organic components in substrates for hydroponic tomato crops originated a production of 26.6 fruits per plant with the following characteristics: 205 to 208 g, 3.91 °Brix, 2.92 % citric acid, 3.5 mg µg β-carotene·g<sup>-1</sup>, 70 mg lycopene·g<sup>-1</sup>, 0.20 µg ascorbic acid·g<sup>-1</sup> of fruit and firmness of 1.21 kg·f<sup>-1</sup>. However, the influence of wastewater use in postharvest quality of vegetables has been little investigated. According to the above, the objective of this work was to study the effect of residual water and well water in hydroponic nutrient solutions on postharvest quality, color, total soluble solids, titratable acidity, firmness, weight loss and pH of tomato fruits under different storage conditions for 40 days.

## MATERIALS AND METHODS

### Plant material and water characteristics used for irrigation

Tomato fruits of the Reserva F1 variety of indeterminate growth were evaluated. These tomato fruits were produced in hydroponic conditions during June to December

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal y características del agua usada para riego

Se utilizaron frutos de tomate rojo de la variedad Reserva F1 de crecimiento indeterminado, producidos en hidroponía durante los meses de junio a diciembre de 2007 con dos tipos de agua para riego: 1) frutos producidos con agua de pozo (FAP), cultivados en un invernadero del Campo Agrícola Experimental (19° 29' latitud norte, 98° 52' longitud oeste y altitud de 2,250 m) de la Universidad Autónoma Chapingo (UACH); y 2) frutos producidos con agua residual (FAR), cultivados en un invernadero en la comunidad de Tlahuelilpan, Hidalgo (20° 08' latitud norte, 99° 14' longitud oeste y altitud de 2,050 m), correspondiente al Distrito de Riego 03 de Tula.

Los análisis de agua de pozo y agua residual mostraron las siguientes concentraciones, respectivamente, (meq·litro<sup>-1</sup>): calcio (1.39 y 6.22), magnesio (1.23 y 2.05), sodio (1.58 y 4.28), potasio (0.20 y 0.89), carbonatos (no detectados), bicarbonatos (2.0 y 6.87), cloruros (0.5 y 6.72), sulfatos (2.05 y 1.23), boro (0.05 y 1.02 mg·litro<sup>-1</sup>); así mismo, el pH (7.10 y 6.82) y conductividad eléctrica (0.42 y 1.45 dS·m<sup>-1</sup>).

### Manejo de frutos, definición y asignación de tratamientos

Se cosecharon 128 frutos, 64 de cada tipo de agua de riego en el mes de diciembre, siguiendo criterios comerciales: de 30 al 60 % de la superficie de color rosa o rojo, que corresponde al estado de maduración rosado o *pink* (Anónimo, 1991). El análisis de calidad inicial de los frutos se realizó en cuatro frutos por tipo de agua de riego (FAP y FAR). El resto se empacaron en seis cajas de cartón, una por tratamiento, de 15 x 23 x 40 cm (20 frutos por caja) para su almacenamiento durante 10, 20, 30 y 40 días en tres distintas condiciones de temperatura y humedad relativa (HR):

- Testigo (FAP, 20 ± 2.0 °C y 62.8 ± 12.0 % HR)
- T1 (FAR, 20 ± 2.0 °C y 62.8 ± 12.0 % HR)
- T2 (FAP, 10 ± 1.5 °C y 82.2 ± 6.0 % HR)
- T3 (FAR, 10 ± 1.5 °C y 82.2 ± 6.0 % HR)
- T4 (FAP, 4 ± 1.0 °C y 90.4 ± 2.5 % HR)
- T5 (FAR, 4 ± 1.0 °C y 90.4 ± 2.5 % HR)

### Variables evaluadas

A los 10, 20, 30 y 40 días de almacenamiento (dda), se evaluaron dos tipos de variables: no destructivas (color y pérdida de peso), con cuatro repeticiones por tratamiento; y destructivas (firmeza, sólidos solubles totales del jugo, pH y acidez titulable del mesocarpio del fruto) con cinco

2007 using two types of irrigation water: 1) fruits grown with well water (WWF), grown in a greenhouse of the agricultural experiment station (19° 29' N, 98° 52' W, 2,250 m altitude) of the Universidad Autónoma Chapingo (UACH); and 2) fruits grown with wastewater (WF), cultivated in a greenhouse in the community of Tlahuelilpan, Hidalgo (20° 08' N, 99° 14' W, 2,050 m altitude), corresponding to Distrito de Riego (Irrigation District) 03 of Tula.

Well water and wastewater analyses showed the following concentrations, respectively, (meq·litro<sup>-1</sup>): calcium (1.39 and 6.22), magnesium (1.23 and 2.05), sodium (1.58 and 4.28), potassium (0.20 and 0.89), carbonates (not detected), bicarbonate (2.0 and 6.87), chloride (0.5 and 6.72), sulfate (2.05 and 1.23), boron (0.05 and 1.02 mg·liter<sup>-1</sup>), pH (7.10 and 6.82) electrical conductivity (0.42 and 1.45 dS·m<sup>-1</sup>).

### Fruit handling, treatment definition and allocation

A total of 128 fruits were harvested, 64 in each water treatment (December), following the commercial criteria: 30 to 60 % of the fruit surface with a pink or red color that corresponds to the pink ripening stage (Anonymous, 1991). The initial quality analysis of fruits was performed in four fruits per type of irrigation water (WWF and WF). The remaining fruits were packed in six carton boxes, one per treatment, 15 x 23 x 40 cm (20 fruits per box) for storage for 10, 20, 30 and 40 days in three different conditions of temperature and relative humidity (RH):

- Control (WWF, 20 ± 2.0 °C and 62.8 ± 12.0 % RH)
- T1 (WF, 20 ± 2.0 °C and 62.8 ± 12.0 % RH)
- T2 (WWF, 10 ± 1.5 °C and 82.2 ± 6.0 % RH)
- T3 (WF, 10 ± 1.5 °C and 82.2 ± 6.0 % RH)
- T4 (WWF, 4 ± 1.0 °C and 90.4 ± 2.5 % RH)
- T5 (WF, 4 ± 1.0 °C and 90.4 ± 2.5 % RH)

### Evaluated Variables

Two types of variables at 10, 20, 30 and 40 days of storage were evaluated: nondestructive (color and weight loss) with four replications per treatment; and destructive (firmness, total soluble solids of the juice, pH and titratable acidity of the fruit mesocarp) with five replications. One fruit was considered as the experimental unit.

Color was evaluated on opposite sides of the equatorial region of the fruit, using a MiniScan XE Plus colorimeter (HunterLab, series 5348), which provides the Hunter records of L\*, a\* and b\*, with those the hue angle was obtained using the formula  $\text{hue} = \arctan(b/a)$  (McGuire, 1992). Results were expressed in degrees (°).

°Brix were measured with a hand refractometer ATA-GO N1 °Brix 0~32 %. Two drops of fruit juice were placed on the prism and the reading was conducted.

repeticiones por tratamiento. Se consideró un fruto como unidad experimental.

El color se evaluó en lados opuestos de la región ecuatorial del fruto, con un colorímetro MiniScan XE Plus (HunterLab, serie 5348), que proporciona los registros Hunter de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ , con los cuales se calculó el ángulo de tono (*hue*) mediante la fórmula  $hue = \arctan(b/a)$  (McGuire, 1992). Los resultados se expresan en grados ( $^\circ$ ).

Los  $^\circ$ Brix fueron medidos con un refractómetro manual marca Hand Refractometer ATAGO N1  $^\circ$ Brix 0~32 %. Se colocaron dos gotas de jugo del fruto en el prisma del equipo y se tomó la lectura.

La acidez titulable se determinó por el método de AOAC (Anónimo, 1990a), donde se homogenizaron 10 g de pulpa del fruto en una licuadora comercial marca Osterizer con 50 ml de agua destilada. El extracto se filtró, se tomaron alícuotas de 10 ml y se adicionó NaOH 0.01 N hasta lograr la neutralización. El porcentaje de acidez titulable se expresó como porcentaje de ácido cítrico.

La firmeza de los frutos con cáscara se determinó indirectamente con un texturómetro universal de la marca Sommer & Ruge KG Berlín-Frideman. Este cuenta con un puntal de acero de sección cónica de 150.07 g de masa, el cual tiene un tiempo de caída libre de cinco segundos. La distancia de penetración en pulpa de este puntal se registró en milímetros (Piña *et al.*, 2006).

El peso del fruto se evaluó con una balanza granataria digital Lab-Tech modelo ADP 2100L. Los frutos fueron pesados antes de establecer cada tratamiento y cada 10 días, para obtener la pérdida de agua acumulada en relación con su peso inicial. Los resultados se expresaron en porcentaje.

Para la medición del pH del fruto se tomó una muestra de 10 g de pulpa del fruto y se homogenizó en una licuadora comercial marca Osterizer con 50 ml de agua destilada. El extracto se filtró y se midió el pH con un potenciómetro marca HANNA (pH METER HI 98230) (Anónimo, 1990b).

### Análisis de datos

Para cada periodo de almacenamiento, los resultados se analizaron en un diseño experimental completamente al azar, en arreglo factorial de 2 x 3. El primer factor fue el tipo de agua de riego, con dos niveles (pozo y residual), y el segundo, la temperatura de almacenamiento, con tres niveles (20, 10 y 4  $^\circ$ C). Se hizo un análisis de varianza (ANOVA) y, en su caso, una comparación de medias de Tukey ( $P \leq 0.05$ ) mediante el paquete estadístico SAS (Anónimo, 2000).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Ángulo de tono o *hue* del fruto

En el almacenamiento a 20  $^\circ$ C, los FAR (testigo) y los FAR (T1) presentaron valores similares de *hue* en todos los

Titratable acidity was determined by the method of AOAC (Anonymous, 1990a), where 10 g fruit pulp were homogenized using a blender (Osterizer TM) with 50 ml distilled water. The extract was filtered, 10 ml aliquots were taken and NaOH 0.01 N were added until neutralization. Titratable acidity percentage was expressed as percentage of citric acid.

Firmness of fruits with shell was indirectly determined with a texturometer (Sommer & Ruge KG Berlin-Frideman), which has a steel strut conical section of 150.07 g mass, with a free-fall time of five seconds. The penetration distance into the pulp of this strut was recorded in millimeters (Piña *et al.*, 2006).

Fruit weight was evaluated with a digital grain scale (Lab-Tech ADP 2100L). Fruits were weighed before each treatment was established and every 10 days, to obtain accumulated water loss in relation to the initial weight. Results were expressed in percentages.

A sample of 10 g fruit pulp was taken to measure the pH of the fruit, and it was homogenized using a blender (Osterizer TM) with 50 ml distilled water. The extract was filtered and the pH was measured with a HANNA potentiometer (pH METER HI 98230) (Anonymous, 1990b).

### Data Analysis

Results were analyzed in a completely randomized design, with a 2 x 3 factorial arrangement. The first factor was the type of irrigation water, with two levels (well and wastewater), and the second factor was storage temperature, with three levels (20, 10 and 4  $^\circ$ C). Analysis of variance (ANOVA) and Tukey mean comparison test ( $P \leq 0.05$ ) were conducted using the SAS statistical software (Anonymous, 2000).

## RESULTS AND DISCUSSION

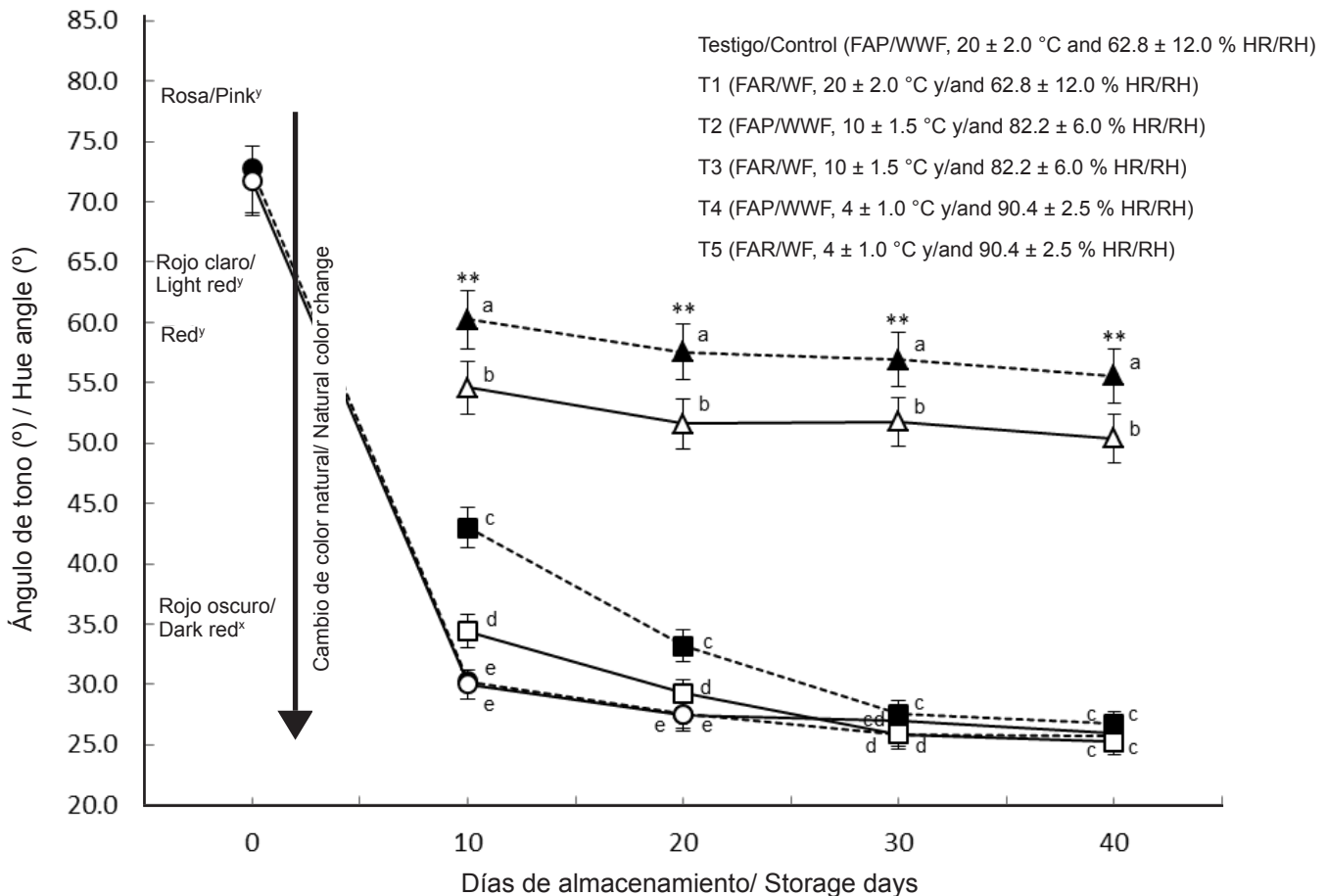
### Hue angle

WWF (Control) and WF (T1) showed similar *hue* values in all samples in storage at 20  $^\circ$ C. Both type of fruits showed dark red fruits (*hue* = 37 $^\circ$ ) at 10 days of storage (Figure 1), showing fruits with good color development (Cantwell, 2006). WF (T3) showed lower *hue* values (more red color) than WWF (T2) in samples at 10 and 20 days postharvest stored at 10  $^\circ$ C. Fruits stored at 10  $^\circ$ C showed a state of greater maturity "dark red" color (Cantwell, 2006) except for WWF at 10 days postharvest, where fruits developed less red color. WF (T5) showed lower *hue* (more red color) than WWF (T4) stored at 4  $^\circ$ C. Both type of fruits showed a more red color to the maturity color (*hue* = 59.3 $^\circ$ ) (López-Camelo and Gómez, 2004), except for WWF at 10 storage days, where fruits showed a lighter red color. In general, WF showed more red fruits than WWF in both refrigerated storage temperatures. The factorial analysis indicated that irrigation with wastewater produced more red

muestreos. Ambos presentaron un color rojo oscuro ( $hue = 37^\circ$ ) a los 10 días de almacenamiento (dda) (Figura 1), lo que indica frutos con buen desarrollo de color (Cantwell, 2006). Para el almacenamiento a  $10^\circ\text{C}$ , los FAR (T3) tuvieron menores valores de  $hue$  (mayor color rojo) que los FAP (T2) en los muestreos a 10 y 20 dda. Excepto los FAP a los 10 dda, los cuales desarrollaron un color menos rojo, los frutos almacenados a  $10^\circ\text{C}$  presentaron un estado de mayor maduración al “rojo oscuro” (Cantwell, 2006). En el almacenamiento a  $4^\circ\text{C}$ , los FAR (T5) mostraron menor  $hue$  (mayor color rojo) que los FAP (T4), en todos los muestreos. Ambos tipos de frutos presentaron un color mayor al estado de maduración “rojo” ( $hue = 59.3^\circ$ ) (López-Camelo y Gómez, 2004), excepto los FAP a los 10 dda, los cuales tuvieron un menor color rojo. En general, en las dos temperaturas de almacenamiento refrigerado los FAR desarro-

fruits in comparison with fruits with well water ( $P \leq 0.05$ ). There were also differences for the temperature factor, where fruits stored at  $20^\circ\text{C}$  developed a more intense color, followed by fruits stored at 10 and  $4^\circ\text{C}$  ( $P \leq 0.05$ ). WWF showed a light red color in all samples stored at  $4^\circ\text{C}$  and the first three samples stored at  $10^\circ\text{C}$ . This behavior could be due to chilling injury.

Chilling injury is a disorder showed in tomato at storage temperatures equal or below  $13^\circ$  (Lurie y Klein, 1991; Wang, 1994). Characteristic symptoms are abnormal ripening (Morris, 1982) or lack of ripening, staining, discoloration, wet sunken spots, inner softening, loss of flavor, smell and decaying (Wang, 1994; Couey, 1982). Although these symptoms were observed, they were not assessed in this study. However, it was observed that these symptoms were more frequent in WWF than in WF. Another possible



**FIGURA 1.** Efecto del tipo de agua de riego (FAP: frutos producidos con agua de pozo; FAR: frutos producidos con agua residual), temperatura y humedad relativa de almacenamiento ( $20^\circ\text{C}$ , 62 % H.R.;  $10^\circ\text{C}$ , 82 % H.R.;  $4^\circ\text{C}$ , 90 % H.R.) sobre el color (ángulo de tono o  $hue$ ) de frutos de tomate rojo, almacenados durante 40 días. Valores con la misma letra para cada día de almacenamiento son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una  $P \leq 0.01$ .  $\gamma$ : Escala de maduración de acuerdo con López-Camelo y Gómez (2004);  $\times$ : Escala de maduración de acuerdo con Cantwell (2006).

**FIGURE 1.** Irrigation water effect (WWF: fruits grown with well water; WF; fruits grown with wastewater), temperature and storage relative humidity ( $20^\circ\text{C}$ , 62 % R.H.;  $10^\circ\text{C}$ , 82 % R.H.;  $4^\circ\text{C}$ , 90 % R.H.) on color (hue angle) of tomato fruits, stored during 40 days. Values with the same letter for each day of storage are equal according to the Tukey test at  $P \leq 0.01$ .  $\gamma$ : Maturity scale according to López-Camelo and Gómez (2004);  $\times$ : Maturity scale according to Cantwell (2006).

llaron un color más rojo que los FAP. El análisis factorial indicó que el riego con agua residual produjo frutos más rojos en comparación con los frutos de agua de pozo ( $P \leq 0.05$ ). Asimismo, hubo diferencias en el factor temperatura, donde los frutos almacenados a 20 °C desarrollaron un color rojo más intenso, seguidos de los almacenados a 10 y 4 °C ( $P \leq 0.05$ ). En todos los muestreos de frutos almacenados a 4 °C, así como en los tres primeros a 10 °C, los FAP tuvieron un color menos rojo. Este comportamiento se pudo deber a daño por frío.

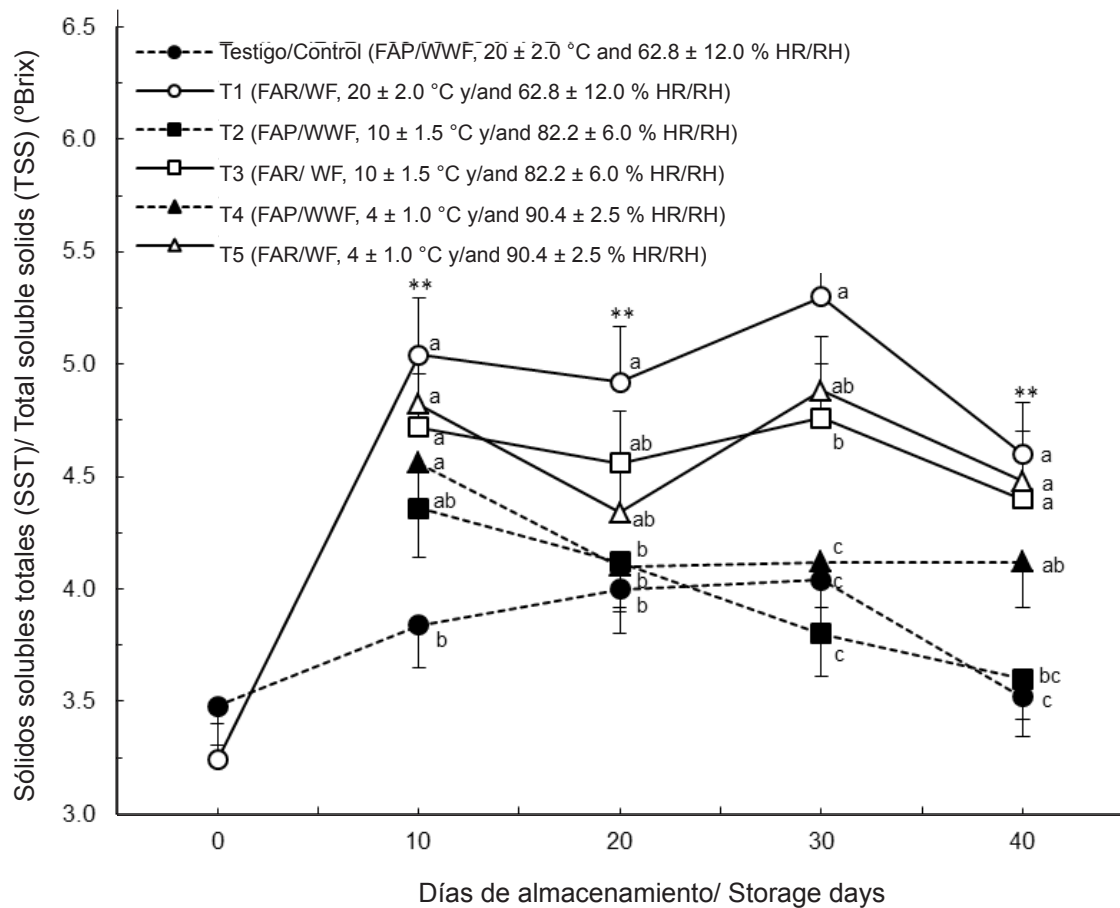
En tomate rojo, el daño por frío es un desorden que se presenta a temperaturas de almacenamiento igual o menores a 13 °C (Lurie y Klein, 1991; Wang, 1994). Los síntomas característicos son maduración anormal (Morris, 1982) o falta de maduración, manchado, decoloración, manchas hundidas y húmedas, ablandamiento interno, pérdida de sabor, aroma y decaimiento (Wang, 1994; Couey, 1982). Aunque fueron observados, estos síntomas no se evaluaron en el presente estudio. Sin embargo, se notó que fueron más marcados en los FAP que en los FAR. Otra posible causa del mayor desarrollo del color rojo de los FAR fue la presencia de una alta conductividad eléctrica en su solución nutritiva (4.83 a 5.41  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) en comparación con la de los FAP (3.38 a 3.39  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), ya que se ha reportado que con una alta conductividad eléctrica en el agua de riego (mayor a 4  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) se aumenta el contenido de pigmentos durante la maduración, aunque también se reduce el tamaño y el peso del fruto (Mizrahi *et al.*, 1986) e incrementa el contenido de  $\beta$ -caroteno y licopeno en tomate (Stamatakis *et al.*, 2003; De-Pascale *et al.*, 2003; Fanasca *et al.*, 2007). La alta conductividad eléctrica se debe a una alta concentración de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  y  $\text{HCO}_3^-$  disueltos en el agua. Para este estudio, los análisis mostraron mayores valores de estos elementos y compuestos en el agua residual que en el agua de pozo.

Bajo un estrés salino (derivado de alta conductividad eléctrica del agua de riego), las plantas de tomate responden con reducción del área foliar, por lo cual los frutos quedan más expuestos a la luz solar, lo que incrementa la biosíntesis de carotenoides (Krauss *et al.*, 2006). El contenido de potasio en la solución nutritiva también puede mejorar la calidad del tomate, favoreciendo la síntesis de carotenoides e incrementando la concentración de licopeno y de  $\beta$ -caroteno (Ramírez *et al.*, 2009). El licopeno puede incrementar entre 34 a 85 % en los tomates, aunque el biomecanismo específico de esta deposición en el fruto no es claro. Sin embargo, evidencias sugieren que el incremento de antioxidantes es una respuesta fisiológica primaria de la planta al estrés salino (Kubota *et al.*, 2006). Por otro lado, se sabe que la concentración de licopeno se puede incrementar genéticamente o por manejo (De-Pascale *et al.*, 2001). De acuerdo con Fanasca *et al.* (2006) el contenido de licopeno puede ser afectado por la composición de la solución nutritiva. Estos autores encontraron que el más alto contenido de licopeno (3272  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  de peso fresco)

cause of greater development of color (red) in WF was the presences of high electrical conductivity in the nutrient solution (4.83 to 5.41  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) in comparison with the WWF (3.38 a 3.39  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ), since it has been reported that high electrical conductivity in irrigation water (mayor a 4  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) increases the pigment content during the maturity stage, but reduces the size and weight of the fruit (Mizrahi *et al.*, 1986) and increases the  $\beta$ -carotene and lycopene content in tomatoes (Stamatakis *et al.*, 2003; De-Pascale *et al.*, 2003; Fanasca *et al.*, 2007). High electrical conductivity is due to a high concentration of  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Cl}^-$  and  $\text{HCO}_3^-$  dissolved in water. In this study, analyses showed greater values of these elements and compounds in wastewater than in well water.

Under salt stress (derived from high electrical conductivity of irrigation water), tomato plants respond with leaf area reduction, so fruits are more exposed to sunlight, which increases carotenoids biosynthesis (Krauss *et al.*, 2006). Potassium content in nutrient solution can also improve the quality of tomato, favoring the synthesis of carotenoids and increasing lycopene and  $\beta$ -carotene concentration (Ramírez *et al.*, 2009). Lycopene can increase between 34 and 85 % in tomatoes, although the specific biomechanism of this deposition in the fruit is not clear. However, evidence suggests that the increment of antioxidants is a primary physiological response of the plant to salt stress (Kubota *et al.*, 2006). On the other hand, it is known that lycopene concentration can be genetically increased or by crop management (De-Pascale *et al.*, 2001). According to Fanasca *et al.* (2006) lycopene content can be affected by the composition of the nutrient solution. These authors found that the highest content of lycopene (3272  $\mu\text{g}\cdot 100\text{ g}^{-1}$  dry weight) was shown in tomato fruits of plant grown with nutrient solutions enriched with K (3.4  $\text{meq}\cdot\text{liter}^{-1}$ ). In this respect, Trudel and Ozbum (1971) reported that the effect of K on lycopene content is related with the role of this nutrient in the synthesis of proteins and as cofactor in the activity of the acid-acetic-kinase enzyme, which is involved in the formation of acetyl CoA, key molecule involved in the biosynthesis of isopentyl-diphosphate, which is the first precursor of carotenoids and the mevalonic acid route. In addition, the same authors indicate that K may be involved in the process of carotenoid biosynthesis due to its action on the enzymes activity that regulate the metabolism of carbohydrates, such as pyruvate kinase (EC 2.7.1.40) and phosphofructokinase (EC 2.7.1.11), and the precursors of isopentyl diphosphate ( pyruvate and glyceraldehyde-3-phosphate).

It is necessary to conduct studies in greater depth to elucidate the factors and mechanisms that favor a greater development of color in WF than in WWF under refrigerated conditions to clarify why the first fruits are more resistant to chilling injury than WWF fruits. After the first period of storage at 20 °C, both WWF and WF showed a reduction in *hue* and no differences between them were observed, indicating that both fruits normally matured and developed their characteristic red color.



**FIGURA 2.** Efecto del tipo de agua de riego (FAP: frutos producidos con agua de pozo; FAR: frutos producidos con agua residual), temperatura y humedad relativa de almacenamiento (20 °C, 62 % H.R.; 10 °C, 82 % H.R.; 4 °C, 90 % H.R.) sobre el contenido de sólidos solubles totales (SST) o °Brix de frutos de tomate rojo. Valores con la misma letra para cada día de almacenamiento son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey, a una  $P \leq 0.01$ .

**FIGURE 2.** Irrigation water effect (WWF: fruits produced with well water; WF: fruits produced with wastewater), temperature and relative humidity of storage (20 °C, 62 % RH, 10 °C, 82 % RH, 4 °C, 90 % RH) on total soluble solids (TSS) or °Brix of tomato fruits. Values with the same letter for each day of storage are equal according to the Tukey test at  $P \leq 0.01$ .

lo presentaron frutos de tomate de plantas cultivadas en soluciones nutritivas enriquecidas con K ( $3.4 \text{ meq} \cdot \text{litro}^{-1}$ ). Al respecto, Trudel y Ozburn (1971) reportaron que el efecto del K sobre el contenido de licopeno está relacionado con el papel de este nutriente en la síntesis de proteínas y como cofactor en la actividad de la enzima ácido-acético-quinasa, encima involucrada en la formación de acetil CoA, molécula clave implicada en la biosíntesis de isopentil-difosfato, que es el primer precursor de carotenoides y de la ruta del ácido mevalónico. Además, los mismos autores indican que el K puede estar involucrado en el proceso de biosíntesis de carotenoides por su acción sobre la actividad de enzimas que regulan el metabolismo de carbohidratos, tales como la piruvato quinasa (EC 2.7.1.40) y la fosfofructokinasa (EC 2.7.1.11), así como en los precursores del difosfato de isopentilo (piruvato y gliceraldehído-3-fosfato).

Como puede verse, es necesario investigar con mayor profundidad para elucidar los factores y mecanismos

### Fruit total soluble solids (TSS) or (°Brix)

WF showed significantly ( $P \leq 0.01$ ) a greater value of °Brix than WWF for all periods of storage at 20 °C. A similar behavior was observed in refrigerated fruits but at 10 °C the difference was significant only for 30 and 40 storage days and at 4 °C only for 30 storage days (Figure 2). In general, WF show higher °Brix value than WWF for the three storage temperatures. The factorial analysis (data not shown) confirmed that irrigation with wastewater produced fruits with higher °Brix values than those fruits produced with well water.

TSS (°Brix) is a fruit quality parameter, which varies with electrical conductivity of the nutrient solution and water stress during fruit development (Mitchell *et al.*, 1991; Nichols *et al.*, 1995; Urrestarazu-Gavilán, 2004). When there is electrical conductivity of  $4.5 \text{ dS} \cdot \text{m}^{-1}$  in nutrient solution, water flow to the plant is reduced, causing salt stress (osmotic) leading to an active accumulation of solutes. In tomato



que favorecen un mayor desarrollo de color en los FAR que en los FAP bajo condiciones de refrigeración, para esclarecer a qué se debe que los primeros son más tolerantes al daño por frío que los segundos. Después del primer periodo de almacenamiento a 20 °C, tanto los FAP como los FAR mostraron una notoria reducción en *hue*, y no hubo diferencias entre ambos, lo que indica que maduraron con normalidad y desarrollaron su color rojo característico.

### Sólidos solubles totales (SST) o (°Brix) del fruto

Para todos los periodos de almacenamiento a 20 °C, los FAR presentaron significativamente ( $P \leq 0.01$ ) un valor mayor de °Brix que los FAP. En los frutos refrigerados se observó un comportamiento similar, pero a 10 °C la diferencia sólo fue significativa para los 30 y 40 dda, y a 4 °C únicamente a los 30 dda (Figura 2). De manera general, se observa que para las tres temperaturas de almacenamiento los FAR presentaron un valor superior de °Brix que los FAP. El análisis factorial (datos no mostrados) confirmó que el riego con agua residual produjo frutos con valores más altos de °Brix que el riego con agua de pozo.

plants under such stress, ions and organic molecules are mainly found (increased concentration of fructose and glucose) (Sakamoto *et al.*, 1999; Munns, 2002; Wu and Kubota, 2008). Moreover, higher electrical conductivities (6.5, 10.0 or 13.5  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) also favor the increase in phenols and vitamin E (Krauss *et al.*, 2007). Therefore, we can say that, in this research, the highest TSS content of fruits produced with wastewater was due to nutrient solution that showed a higher electrical conductivity (4.83-5.41  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) in comparison with that in well water (3.38-3.39  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

The results agree with those reported by Stamatakis *et al.* (2003) and Segura *et al.* (2009), who found that irrigation water with high electrical conductivity (values greater than 2.5  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) increase TSS content (Magán *et al.*, 2008; Yurtseven *et al.*, 2005), vitamin C and organic acids (Krauss *et al.*, 2006). Fanasca *et al.* (2007) reported that electrical conductivity of 8  $\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$  produces an increase in titratable acidity, glucose, fructose and citric acid, components that have a strong impact on taste and health benefits of tomato consumption. TSS can also vary in tomato when there are

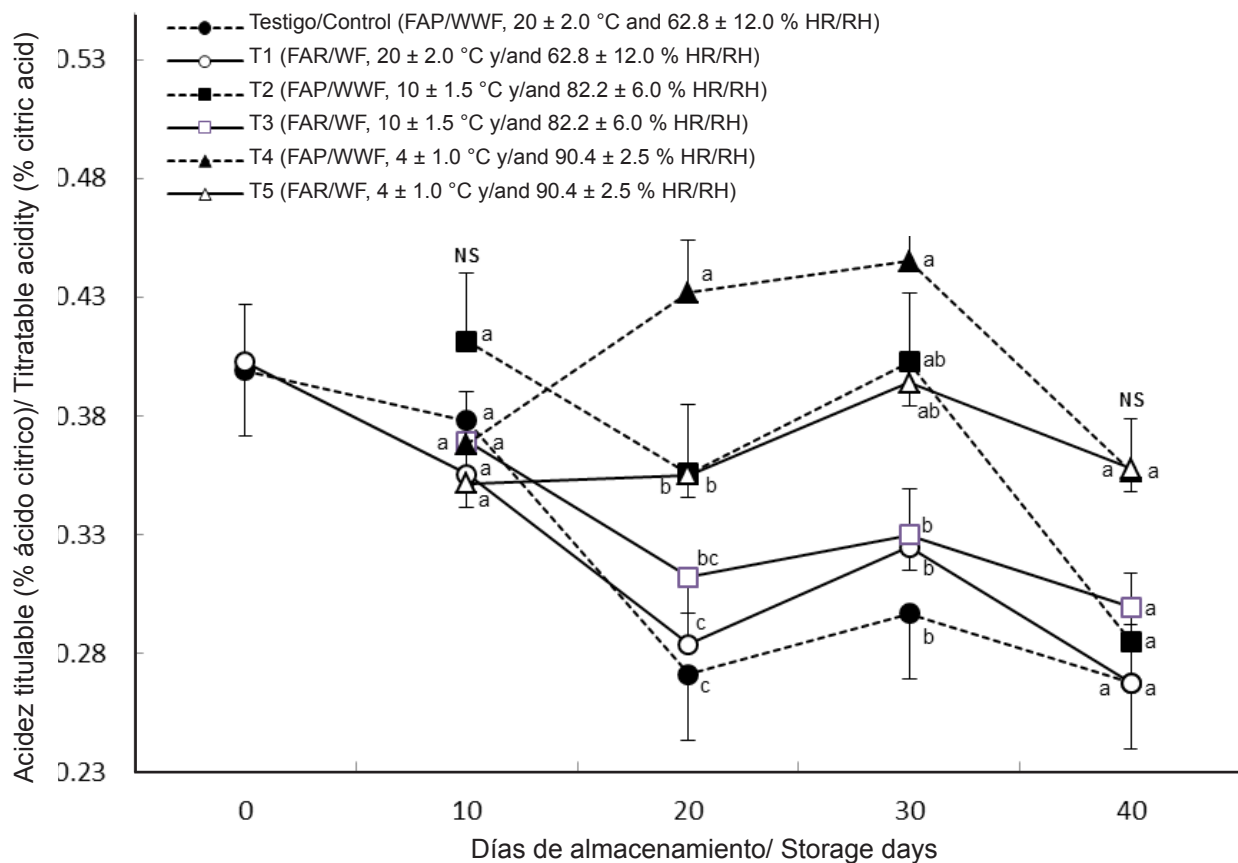


FIGURA 3. Efecto del tipo de agua de riego (FAP: frutos producidos con agua de pozo; FAR: frutos producidos con agua residual), temperatura y humedad relativa de almacenamiento (20 °C, 62 % H.R.; 10 °C, 82 % H.R.; 4 °C, 90 % H.R.) sobre la acidez titulable de frutos de tomate rojo, almacenados durante 40 días. Valores con la misma letra para cada día de almacenamiento son iguales de acuerdo a la prueba de Tukey, a una  $P \leq 0.01$ .

FIGURE 3. Irrigation water effect (WWF: fruits grown with well water; WF: fruits grown with wastewater), temperature and storage relative humidity (20 °C, 62 % R.H.; 10 °C, 82 % R.H.; 4 °C, 90 % R.H.) on titratable acidity of tomato fruits, stored during 40 days. Values with the same letter for each day of storage are equal according to the Tukey test at  $P \leq 0.01$ .

Los SST ( $^{\circ}$ 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 (Mitchell *et al.*, 1991; Nichols *et al.*, 1995; Urrestarazu-Gavilán, 2004). Cuando existe una conductividad eléctrica de  $4.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  en la solución nutritiva, se produce la reducción del flujo de agua hacia el fruto, lo que ocasiona un estrés por sales (osmótico) que producen una acumulación activa de solutos. 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) (Sakamoto *et al.*, 1999; Munns, 2002; Wu y Kubota, 2008). Asimismo, conductividades eléctricas mayores ( $6.5$ ,  $10.0$  ó  $13.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) también favorecen el incremento en fenoles y vitamina E (Krauss *et al.*, 2007). Por lo anterior, se puede afirmar que, en esta investigación, el mayor contenido de SST de los frutos producidos con agua residual se debió en gran parte a que la solución nutritiva presentó una conductividad eléctrica mayor ( $4.83$ - $5.41 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) en comparación con la del agua de pozo ( $3.38$ - $3.39 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ).

Los resultados obtenidos coinciden con lo reportado por Stamatakis *et al.* (2003) y Segura *et al.* (2009), quienes encontraron que el agua para riego con alta conductividad eléctrica (valores superiores a  $2.5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ ) incrementan la cantidad de SST del fruto (Magán *et al.*, 2008; Yurtseven *et al.*, 2005), el contenido de vitamina C y los ácidos orgánicos (Krauss *et al.*, 2006). Fanasca *et al.* (2007) reportan que una conductividad eléctrica de  $8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$  produce un incremento en la acidez titulable, glucosa, fructosa y ácido cítrico, componentes que tienen un impacto fuerte en el sabor y los beneficios para la salud en el consumo de tomate. Los SST también pueden variar en frutos de tomate cuando existe daño por frío durante el almacenamiento (a temperaturas  $\leq 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Wang, 1994; Morris, 1982; Couey, 1982). En esta investigación se presentó daño por frío en ambos tipos de frutos, sin embargo, los FAR tuvieron mayor acumulación de SST y el daño por frío fue menos evidente que en los FAP (información no mostrada).

### Acidez titulable (AT) del fruto

En los frutos almacenados a  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , tanto los FAP como los FAR presentaron valores de AT similares en cada periodo de almacenamiento. En ambos tipos de fruto se observa que bajo estas condiciones de temperatura la acidez va disminuyendo, tal como ocurre de forma natural en poscosecha en la mayoría de los frutos (Figura 3). Al respecto, González-Céspedes *et al.* (2004) mencionan que la AT es un parámetro que disminuye con el estado de maduración del fruto (verde-inmaduro al rojo maduro) y con el tiempo de almacenamiento.

La acidez decrece con la evolución de la madurez del fruto, ya que los ácidos orgánicos son usados como sustrato en el proceso de respiración (Žnidarčič y Požrl, 2006), lo cual concuerda con los resultados obtenidos en la presente investigación, particularmente en los frutos testigo (no refri-

chilling injuries during cold storage (temperatures  $\leq 13 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ) (Wang, 1994; Morris, 1982; Couey, 1982). Chilling injury was present in both types of fruits during this study, however, WF had greater TSS accumulation and chilling injury was less evident than in WWF (data not shown).

### Fruit titratable acidity (TA)

For fruits stored at  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ , both WWF and WF showed similar TA values in each storage period. In both types of fruits it is observed that under these temperature conditions, acidity decreases, as occurs naturally in most post-harvest fruits (Figure 3). González-Céspedes *et al.* (2004) mention that TA is a parameter that decreases with the ripening of the fruit (green-unripe to red-ripe color) and with the storage time.

Acidity decreases with the evolution of the fruit ripening, because organic acids are used as substrate in the respiration process (Žnidarčič y Požrl, 2006), which agrees with the results obtained in this study, particularly in the control fruits (not refrigerated). However, in general refrigerated fruits did not show decrease in acidity. In fact, the factorial analysis (data not shown) confirmed that the factor temperature produced differences at 20, 30 and 40 storage days. Thus, for each period of storage, fruits stored at  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  showed higher TA than those stored at  $10 \text{ }^{\circ}\text{C}$  and these showed higher TA than those stored at  $20 \text{ }^{\circ}\text{C}$ . It was evident that at lower storage temperature, titratable acidity in fruit was higher. According to Wang (1982), high acidity is a manifestation of chilling injury. This behavior is similar to that reported by Thorne and Efiuvwevwe (1988), who reported that titratable acidity increases with storage time at chilling temperatures ( $13 \text{ }^{\circ}\text{C}$  and lower) and TA decreases at warmer temperatures ( $19 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ). On the other hand, we found that with 20 storage days at  $4 \text{ }^{\circ}\text{C}$  WWF showed higher TA than WF.

Regarding the above, TA is very variable in hydroponic fresh tomatoes, since values from 0.19 to 0.45 % (Dobricevic *et al.*, 2007), and in some cases values up to 0.63 have been found (Arias *et al.*, 2000), which agrees with those TA values reported in the present study. However, for industry, tomatoes should not have titratable acidity higher than 0.2 % (Hidalgo-González *et al.*, 1998).

The results of this study indicated that refrigeration caused high acidity (as a manifestation of chilling injury) and that these injuries were more obvious in fruits stored at lower temperatures, and for this reason WWF showed higher TA values than WF. In other words, irrigation with wastewater probably mitigated chilling injury.

### Fruit firmness

For any storage period it was observed that the longest penetration distance was for non-refrigerated fruits, and also observed that at lower temperature, lower penetration distances was recorded (tomatoes were more firm)

gerados). Sin embargo, en general los frutos refrigerados no mostraron disminución de acidez. De hecho, el análisis factorial (datos no mostrados) confirmó que el factor temperatura produjo diferencias a los 20, 30 y 40 dda. Así, para cada periodo de almacenamiento, los frutos almacenados a 4 °C presentaron mayor AT que los almacenados a 10 °C y éstos mayor AT que los almacenados a 20 °C. Fue evidente que a menor temperatura de almacenamiento hubo mayor acidez titulable en el fruto. De acuerdo con Wang (1982), la elevada acidez es una manifestación de daño por frío. Dicho comportamiento es similar a lo reportado por Thorne y Efiuwewwere (1988), quienes mencionan que la acidez titulable se incrementa con el tiempo de almacenamiento a temperaturas de daño por frío (de 13 °C y menores), y se reduce a temperaturas más cálidas (19 °C). Por otro lado, en este trabajo se observó que a 20 dda a 4 °C los FAP presentaron mayor AT que los FAR.

En relación a lo anterior, en tomates frescos hidropónicos la AT es muy variada, ya que se han encontrado valores de 0.19 a 0.45 % (Dobricevic *et al.*, 2007), y en algunos casos hasta de 0.63 % (Arias *et al.*, 2000), lo cual concuerda con los valores de AT reportados en la presente investigación. Sin embargo, para la industria, los tomates no deben tener una acidez titulable mayor al 0.2 % (Hidalgo-González *et al.*, 1998).

Los resultados de este trabajo indican que la refrigeración causó alta acidez (como manifestación de daños por frío) y que estos daños fueron más notorios en frutos almacenados a menor temperatura, lo que indujo a que los FAP presentaran mayores valores de acidez titulable que los FAR. Es decir, que probablemente el riego con agua residual mitigó la manifestación del daño por frío.

### Firmeza del fruto

Para cualquier periodo de almacenamiento se observó que la mayor distancia de penetración en pulpa fue en los frutos no refrigerados, y que a menor temperatura se registró menor distancia de penetración (los tomates fueron más firmes), sin observarse diferencias entre los FAP y los FAR (Cuadro 1). Con respecto a los efectos de la salinidad en la firmeza del fruto, se han reportado resultados contradictorios. Algunos autores han observado que la firmeza del fruto de tomate se mejora con el aumento de los niveles de sal en la zona raíz, mientras que otros autores reportan que la firmeza del fruto se redujo por efecto de la salinidad (Krauss *et al.*, 2006; Passam *et al.*, 2007). Según Cuartero y Fernández-Muñoz (1999), la firmeza del fruto de tomate disminuye sólo cuando existen niveles altos de salinidad en la zona raíz (más de 10 dS·m<sup>-1</sup>). De acuerdo con Ehret y Ho (1986), cuando las plantas de tomate son expuestas a una alta salinidad hay una reducción en la translocación de Ca a los frutos y éstos presentan niveles deficitarios de este nutrimento. Esto explica en parte que los frutos producidos bajo estas condiciones pierdan su firmeza rápidamente al madurar, probablemente debido

with no differences between WWF and WF (Table 1). With regard to the salinity effects in fruit firmness, contradictory results have been reported. Some authors have observed that fruit firmness is improved by increasing salt levels in the root zone, while other authors report that fruit firmness decreased by the effect of salinity (Krauss *et al.*, 2006; Passam *et al.*, 2007). According to Cuartero and Fernández-Muñoz (1999), tomato fruit firmness decreases only when there are high levels of salinity in the root zone (more than 10 dS·m<sup>-1</sup>). According to Ehret and Ho (1986), when tomato plants are exposed to high salinity, a reduction in the translocation of Ca to fruits is produced and these fruits show deficient levels of this nutrient. This partly explains that fruits grown under these conditions lose rapidly their firmness at the ripening stage, probably because they exhibit lower levels of pectates of Ca at the middle lamina level.

In general, it was also observed that the penetration distances increased with the storage period, indicating that fruit firmness decreased by the ripening effect. González-Céspedes *et al.* (2004) mentioned that fruit firmness decreases as the fruit ripens. The activity of the polygalacturonase enzyme on pectins of the cell wall increases during ripening, resulting in tissue changes that cause fruit softening. It is well known that the activity of most enzymes decreases when the temperature drops.

Fruit quality depends on the fruits to retain their firmness (Cantwell, 2006), indicating an acceptable maturity, freshness, and that these fruits are free of bruising or internal damage (Edan *et al.*, 1997). Fruit firmness is also affected by transpiration, which provokes that fruit loses water, and without a supply source (mother plant), it loses turgor and firmness (Arias *et al.*, 2000; Villarreal-Romero *et al.*, 2002). The results obtained in this study agree with those found by Frascina *et al.* (1998), who report that tomato fruit stored at 10 °C showed a smaller reduction in firmness than those stored at 20 °C. According to principles of psychrometry, under the same conditions of relative humidity, at lower temperature there is lower vapor pressure deficit between the vapor pressure of air of the intercellular spaces of the fruit and of the surrounding air, which produces a lower level of transpiration.

### Fruit weight loss (%)

In any storage period, it was observed that the highest weight loss occurred in non-refrigerated fruits, and that at lower storage temperature lower weight loss was recorded, no differences between WWF and WF were observed (Table 2). Given that weight losses are cumulative, it was also observed that as the storage period increases, higher weight loss was recorded and that weight loss was greater when the storage temperature increased. The factorial analysis (data not shown) confirmed that there was an effect provoked by temperature, where weight loss was significantly greater at 20 °C than at 10 °C, and this was significantly lower at 4 °C than at 10 °C. Results obtained are

**CUADRO 1. Efecto del tipo de agua de riego (FAP: frutos producidos con agua de pozo; FAR: frutos producidos con agua residual), temperatura y humedad relativa de almacenamiento (20 °C, 62 % H.R.; 10 °C, 82 % H.R.; 4 °C, 90 % H.R.) sobre la firmeza o distancia de penetración en pulpa (mm) de frutos de tomate rojo, almacenados durante diferentes periodos.**

**TABLE 1. Irrigation water effect (WWF: fruits grown with well water; WF; fruits grown with wastewater), temperature and storage relative humidity (20 °C, 62 % R.H.; 10 °C, 82 % R.H.; 4°C, 90 % R.H.) on firmness or penetration distance (mm) of tomato fruits, stored during different periods.**

| Tratamiento/<br>Treatment | Condiciones/<br>Conditions          | Distancia de penetración en pulpa (mm)/ Penetration distance in pulp (mm) |                    |        |        |        |
|---------------------------|-------------------------------------|---|--------------------|--------|--------|--------|
|                           |                                     | Días de almacenamiento/ Storage days                                      |                    |        |        |        |
|                           |                                     | 0   | 10                 | 20     | 30     | 40     |
| Testigo/ Control          | FAP/WWF a 20 °C y/and 62 % H.R./RH  | 4.21  | 6.2 ab             | 7.7 ab | 9.0 a  | 9.4 ab |
| 1                         | FAR/WF a 20 °C y/and 62 % H.R./RH.  | 4.52  | 6.9 a <sup>z</sup> | 8.4 a  | 9.2 a  | 10.8 a |
| 2                         | FAP/WWF a 10 °C y/and 82 % H.R./RH. | --  | 4.7 cd             | 5.8 cd | 6.5 bc | 8.4 bc |
| 3                         | FAR/WF a 10 °C y/and 82 % H.R./RH.  | --  | 5.5 bc             | 6.5 bc | 8.1 ab | 8.7 ab |
| 4                         | FAP/WWF a 4 °C y/and 90 % H.R./RH   | --  | 4.4 d              | 5.0 d  | 5.5 c  | 6.0 d  |
| 5                         | FAR/WF a 4 °C y/and 90 % H.R./RH    | --  | 4.4 d              | 4.7 d  | 5.2 c  | 6.3 cd |
|                           | DMS/LSD                             |   | 0.8                | 1.4    | 1.7    | 2.1    |

<sup>a</sup>Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.01$ . DMS: diferencia mínima significativa; H.R.: humedad relativa.

<sup>a</sup>Values with the same letter in each column are equal according to the Tukey test at  $P \leq 0.01$ . LSD: least significant difference, RH: relative humidity.

a que presentan menores niveles de pectatos de Ca a nivel en su lámina media.

En general, también se observó que la distancia de penetración en pulpa de los frutos aumentó con el periodo de almacenamiento, lo cual indica que la firmeza del fruto disminuyó por efecto de la maduración. González-Céspedes *et al.* (2004) mencionan que la firmeza de la pulpa del tomate disminuye desde el estado de verde-maduro al rojo maduro, y que esta disminución en la firmeza de los tejidos es una consecuencia de la maduración del fruto. Durante el desarrollo de la maduración se incrementa la actividad de la enzima poligalacturonasa sobre las pectinas de la pared celular, lo que ocasiona cambios en los tejidos que provocan el ablandamiento del fruto. Al respecto, es bien sabido que la actividad de la mayoría de las enzimas disminuye al bajar la temperatura.

En términos generales, la calidad de los frutos depende de que éstos mantengan su firmeza (Cantwell, 2006), la cual indica una madurez aceptable, fresca, y que están libres de magulladuras o daño interno (Edan *et al.*, 1997). La firmeza del fruto también se ve afectada por la transpiración, la cual ocasiona que éste pierda agua y, al no tener una fuente de suministro (planta madre), pierde turgencia y firmeza (Arias *et al.*, 2000; Villarreal-Romero *et al.*, 2002). Los resultados obtenidos en este trabajo concuerdan con los encontrados por Frascina *et al.* (1998), quienes reportan que frutos de tomate almacenados a 10 °C mostraron una menor reducción de la firmeza que los almacenados a 20 °C. De acuerdo con principios de psicrometría, bajo las

similar to those reported by De-Castro *et al.* (2006), who indicated that the weight loss percentage was higher (4.16 %) in tomato fruits stored at 24 °C with 60 % RH compared to those stored at 13 °C with 91 % RH (with 1.14 % weight loss), and 7 °C with 77 % RH (with 1.56 % weight loss). This behavior is because at lower temperature or higher RH, lower vapor pressure deficit is observed between the air of the fruit intercellular spaces and the ambient air, reducing transpiration and weight loss of the fruit. Weight loss is linearly proportional both to time and storage temperature (De-Castro *et al.*, 2006). Javanmardi and Kubota (2006) also reported, in tomato, that low temperature (5 °C) decreased weight loss in comparison with 12 °C, during 16 days of storage.

The limit in tomato fruit weight loss for marketing should not exceed 7 % of its original weight (Riquelme-Ballesteros, 1999). Results of this study show that storage at 20 °C had a negative effect on the quality of the fruit related with a weight loss greater than 7 % after 20 storage days in both types of fruits. Weight loss over 7 % was observed in WF with 30 storage days and in WWF with 40 storage days at 10 °C; fruits stored at 4 °C did not have this behavior even after 40 storage days in any of the two fruit types.

### Fruit pH

In any storage period, pH of WWF was statistically equal to that in WF (Table 3). The factorial analysis also indicated that irrigation with wastewater or well water did not affect the pH of the fruit. In other studies that research the

mismas condiciones de humedad relativa, a menor temperatura existe un menor déficit de presión de vapor, entre la presión de vapor del aire de los espacios intercelulares del fruto y la del aire del entorno, lo cual produce un nivel más bajo de transpiración.

### Pérdida de peso del fruto (%)

Para cualquier periodo de almacenamiento se observó que la mayor pérdida de peso fue en los frutos no refrigerados, y que a menor temperatura de almacenamiento se registró menor pérdida de peso, sin observarse diferencias entre los FAP y los FAR (Cuadro 2). Dado que las pérdidas de peso son acumulativas, también se pudo observar que a medida que aumentó el periodo de almacenamiento hubo mayor pérdida de peso y que éste fue mayor al aumentar la temperatura de almacenamiento. El análisis factorial (datos no mostrados) confirmó que hubo efecto del factor temperatura, donde la pérdida de peso fue significativamente mayor a 20 °C que 10 °C, y ésta fue significativamente menor a 4 °C que a 10 °C. Los resultados obtenidos son similares a los reportados por De-Castro *et al.* (2006), quienes indican que el porcentaje de pérdida de peso fue mayor (4.16 %) en frutos de tomate almacenados a 24 °C con 60 % HR en comparación con los almacenados a 13 °C con 91 % HR (con 1.14 % de pérdida de peso), y a 7 °C con 77 % HR (con 1.56 % de pérdida de peso). Este comportamiento se debe principalmente a que, en general, a menor temperatura o con mayor HR se presenta menor déficit de presión de vapor entre la del aire de los espacios intercelulares del fruto y la del aire del entorno, lo que reduce la transpiración y la pérdida de peso del fruto. La pérdida de peso es linealmente proporcional tanto al tiempo como a la temperatura de almacenamiento (De-Castro *et al.*, 2006). Javanmardi y Kubota (2006) también reportan, en tomate, que durante 16 días de almace-

effect of wastewater in tomato production, report that this type of water does not affect the pH of the fruit (Riquelme-Ballesteros, 1999). Also, the increment in electrical conductivity levels of the nutrient solution does not produce significant differences in pH of the tomato pulp (Riquelme-Ballesteros, 1999), these agrees with the results obtained in this study.

In general, fruit pH increased with the storage time. Results agree with those obtained by González-Céspedes *et al.* (2004), who mentioned that tomato fruit pH is a parameter that increases with ripening and storage time.

Industry reports that tomato fruits should have a 4.4 pH (Hidalgo-González *et al.*, 1998), while for fresh tomato this can vary between 4.17 and 4.59 (Cantwell, 2006). These values are similar to those in this research.

### CONCLUSIONS

The use of wastewater in the production of tomato under hydroponic conditions produced favorable effects on fruits, because the level of chilling injury after 10, 20, 30 or 40 storage days was reduced, both at 10 and 4 °C. Wastewater improved the development of the red color, total soluble solids, and reduced titratable acidity, compared to those fruits grown with well water. However, the type of irrigation water (well or wastewater), did not significantly affected weight loss, firmness and pH of the fruit.

*End of English Version*

**CUADRO 2.** Efecto del tipo de agua de riego (FAP: frutos producidos con agua de pozo; FAR: frutos producidos con agua residual), temperatura y humedad relativa de almacenamiento (20 °C, 62 % H.R.; 10 °C, 82 % H.R.; 4 °C, 90 % H.R.) sobre el porcentaje de pérdida de peso de frutos de tomate rojo, almacenados durante diferentes periodos.

**TABLE 2.** Irrigation water effect (WWF: fruits grown with well water; WF; fruits grown with wastewater), temperature and storage relative humidity (20 °C, 62 % R.H.; 10 °C, 82 % R.H.; 4°C, 90 % R.H.) on tomato fruit weight loss percentage, stored for different periods.

| Tratamiento/<br>Treatment | Condiciones/<br>Conditions         | Pérdida de peso (%) / Weight loss (%) |         |         |         |
|---------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|---------|---------|---------|
|                           |                                    | Días de almacenamiento / Storage days |         |         |         |
|                           |                                    | 10                                    | 20      | 30      | 40      |
| Testigo/Control           | FAP/WWF a 20 °C y/and 62 % H.R./RH | 5.75 a <sup>z</sup>                   | 11.44 a | 16.90 a | 23.59 a |
| 1                         | FAR/WFa 20 °C y/and 62 % H.R./RH   | 6.37 a                                | 12.82 a | 18.83 a | 24.12 a |
| 2                         | FAP/WWF a 10 °C y/and 82 % H.R./RH | 2.27 b                                | 3.89 bc | 5.88 bc | 7.73 bc |
| 3                         | FAR/WF a 10 °C y/and 82 % H.R./RH  | 2.91 b                                | 4.81 b  | 7.40 b  | 10.77 b |
| 4                         | FAP/WWF a 4 °C y/and 90 % H.R./RH  | 1.38 c                                | 2.96 c  | 4.74 c  | 6.67 c  |
| 5                         | FAR/WF a 4 °C y/and 90 % H.R./RH   | 1.27 c                                | 2.50 c  | 3.90 c  | 5.32 c  |
|                           | DMS/ LSD                           | 0.85                                  | 1.48    | 2.14    | 3.63    |

<sup>z</sup>Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.01$ . DMS: diferencia mínima significativa; H.R.: humedad relativa.

<sup>v</sup>Values with the same letter in each column are equal according to the Tukey test at  $P \leq 0.01$ . LSD: least significant difference, RH: relative humidity.

namiento, una baja temperatura (5 °C) redujo la pérdida de peso comparada con 12 °C.

El límite en la pérdida de peso del fruto de tomate para su comercialización, no debe exceder del 7 % de su peso original (Riquelme-Ballesteros, 1999). Los resultados de este trabajo muestran que en el almacenamiento a 20 °C hubo un efecto negativo sobre la calidad relacionada con una pérdida de peso mayor al 7 % después de 20 dda en ambos tipos de frutos. A 10 °C se presentaron pérdidas de peso superiores a 7 % en los FAR a 30 dda y en los FAP hasta los 40 dda; y para los frutos almacenados a 4 °C, este comportamiento no se presentó aún después de 40 dda en ninguno de los dos tipos de fruto.

### pH del fruto

En cualquier periodo de almacenamiento, el pH de los FAP fue estadísticamente igual al de los FAR (Cuadro 3). El análisis factorial también indicó que el riego con agua residual o agua de pozo no afectó al pH del fruto. En otras investigaciones que estudiaron el efecto del agua residual en la producción de tomate, reportan que este tipo de agua no afecta el pH del fruto (Traka-Mavrona *et al.*, 1998; Al-Lahham *et al.*, 2003). Asimismo, el incremento en los niveles de conductividad eléctrica de la solución nutritiva no produce diferencias significativas en el pH de la pulpa de tomate (Kaplan *et al.*, 1999) y esto coincide con los resultados obtenidos en el presente estudio.

En general, el pH del fruto se incrementó con el tiempo de almacenamiento. Resultados que concuerdan con los de González-Céspedes *et al.* (2004), quienes mencionan que el pH del fruto de tomate es un parámetro que aumenta con la maduración y con el tiempo de almacenamiento.

Para la industria se reporta que los frutos de tomate deben tener un pH de 4.4 (Hidalgo-González *et al.*, 1998), mientras que para tomate en fresco éste puede variar entre

4.17 a 4.59 (Cantwell, 2006). Estos valores son similares a los registrados en esta investigación.

## CONCLUSIONES

El uso de agua residual en la producción de tomate rojo en hidroponía produjo efectos favorables en los frutos, pues redujo el nivel de manifestación de daños por frío después de 10, 20, 30 o 40 dda, tanto a 10 como a 4 °C. Particularmente mejoró el desarrollo de color rojo y de sólidos solubles totales, y se redujo la acidez titulable, en comparación con los frutos producidos con agua de pozo. Sin embargo, el tipo de agua de riego (pozo o residual), no afectó significativamente las variables de pérdida de peso, firmeza y pH del fruto.

## LITERATURA CITADA

- AL-LAHHAM, O.; EL-ASSI, N. M.; FAYYAD, M. 2003. Impact of treated wastewater irrigation on quality attributes and contamination of tomato fruit. *Agricultural Water Management* 61(1): 51-62.
- ANÓNIMO. 1990a. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. J. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. (AOAC). Chapter 37 (method 942.15 A). 15th Edition. Arlington, Virginia, USA.
- ANÓNIMO. 1990b. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. J. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. (AOAC). Chapter 42 (method 981.12 E) 15th Edition. Arlington, Virginia, USA.
- ANÓNIMO. 1991. United States. Standards for Grades of Fresh Tomatoes. USDA, Agr. Mktg. Serv., Washington, DC. 13 p.
- ANÓNIMO. 2000. Statistical Analysis System. User's guide. Versión 8.1. SAS Institute Inc. Cary, NC. USA. 1290 p.
- ANÓNIMO. 2002. Estudio Complementario del Caso Mezquitil,

**CUADRO 3. Efecto del tipo de agua de riego (FAP: frutos producidos con agua de pozo; FAR: frutos producidos con agua residual), temperatura y humedad relativa de almacenamiento (20 °C, 62 % H.R.; 10 °C, 82 % H.R.; 4 °C, 90 % H.R.) sobre el pH de frutos de tomate rojo, almacenados durante 40 días.**

**TABLE 3. Irrigation water effect (WWF: fruits grown with well water; WF; fruits grown with wastewater), temperature and storage relative humidity (20 °C, 62 % R.H.; 10 °C, 82 % R.H.; 4 °C, 90 % R.H.) on tomato fruit pH, stored during 40 days.**

| Tratamiento/<br>Treatment | Condiciones/<br>Conditions         | pH del fruto/ fruit pH             |                     |        |        |        |
|---------------------------|------------------------------------|------------------------------------|---------------------|--------|--------|--------|
|                           |                                    | Días de evaluación/ Assessing days |                     |        |        |        |
|                           |                                    | 0                                  | 10                  | 20     | 30     | 40     |
| Testigo/Control           | FAP/WWF a 20 °C y/and 62 % H.R./RH | 3.73                               | 4.12 b <sup>z</sup> | 4.26 b | 4.43 a | 4.71 a |
| 1                         | FAR/WF a 20 °C y/and 62 % H.R./RH  | 4.22                               | 4.21 ab             | 4.24 b | 4.61 a | 4.65 a |
| 2                         | FAP/WWF a 10 °C y/and 82 % H.R./RH | --                                 | 4.32 ab             | 4.25 b | 4.56 a | 4.53 a |
| 3                         | FAR/WF a 10 °C y/and 82 % H.R./RH  | --                                 | 4.34 a              | 4.14 b | 4.37 a | 4.48 a |
| 4                         | FAP/WWF a 4 °C y/and 90 % H.R. /RH | --                                 | 4.21 ab             | 4.43 a | 4.46 a | 4.66 a |
| 5                         | FAR/WF a 4 °C y/and 90 % H.R./RH   | --                                 | 4.24 ab             | 4.43 a | 4.53 a | 4.59 a |
|                           | DMS/LSD                            |                                    | 0.22                | 0.14   | 0.35   | 0.24   |

<sup>z</sup>Valores con la misma letra en cada columna son iguales de acuerdo con la prueba de Tukey a una  $P \leq 0.05$ . DMS: diferencia mínima significativa; H.R.: humedad relativa.

<sup>z</sup>Values with the same letter in each column are equal according to the Tukey test at  $P \leq 0.01$ . LSD: least significant difference, RH: relative humidity.

- Estado de Hidalgo, Proyecto Regional. Sistemas Integrados de Tratamiento y Uso de Aguas Residuales en América Latina: Realidad y Potencial. Convenio IDRC – OPS/HEP/CEPIS. México. 52 p.
- ARIAS, R.; LEE, T. C.; SPECCA, D.; JANES, H. 2000. Quality comparison of hydroponic tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) ripened on and off vine. *Journal of Science* 65(3): 545-548.
- CANTWELL, M. 2006. Report to the California tomato commission tomato variety trials: Postharvest evaluation for 2005. UCCE Fresh market tomato statewide report. California, USA. pp. 3, 9-13.
- COUEY, H. M. 1982. Chilling injury of crops of tropical and subtropical origin. *HortScience* 17: 162-165.
- CUADRA, M. J. 1981. Agricultural Land Irrigation with Wastewater in the Mezquital Valley, pp. 217-248. *In: Municipal Wastewater in Agriculture*. D'ITRI, F. M. (ed.). Academic Press. New York, USA.
- CUARTERO, J.; FERNÁNDEZ-MUÑOZ, R. 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 83-125.
- CUENCA-ADAME, E.; Riestra-Díaz, D.; Pérez-Mangas, J. M.; ECHegaray-Alemán, A. 2001. Uso de aguas residuales y control de organismos patógenos en la producción de cebolla. *Agrociencia* 35: 255-265.
- DE-CASTRO, L. R.; CORTEZ, L. A. B.; VIGNEAULT, C. 2006. Effect of sorting, refrigeration and packaging on tomato shelf life. *Journal of Food, Agriculture & Environment* 4(1): 70-74.
- DE-PASCALÉ, S.; MAGGIO A.; FOGLIANO V.; AMBROSINO P.; RITIENI A. 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *J. Hort. Sci. Biotechnol* 76: 447-453.
- DE-PASCALÉ, S.; MAGGIO, A.; ANGELINO, G.; GRAZIANI, G. 2003. Effect of salt stress on water relations and antioxidant activity in tomato. *Acta Hort.* 613: 39-46.
- DOBRIČEVIĆ, N.; VOCA, S.; BENKO, B.; PLIESTIĆ, S. 2007. The quality of fresh tomato fruit produced by hydroponic. *Agriculturae Conspectus Scientificus* 72(4): 351-355.
- EDAN, Y.; PASTERNAK, H.; SHMULEVICH, I.; RACHMANI, D.; GUEDALIA, D.; GRINBERG, S.; FALLIK, E. 1997. Color and firmness classification of fresh market tomatoes. *Journal of Food Science* 32(4): 793-796.
- EHRET D. L.; HO L. C. 1986. Translocation of calcium in relation to tomato fruit growth. *Annals of Botany* 58: 679-688.
- FANASCA, S.; G. COLLA; G. MAIANI; E. VENNERIA; Y. ROUPHAEL; E. ASSINI; F. SACCARDO. 2006. Changes in antioxidant content of tomato fruits in response to cultivar and nutrient solution composition. *J. Agr. Food Chem.* 54:4319-4325.
- FANASCA, S.; MARTINO, A.; HEUVELINK, E.; STANGHELLINI, C. 2007. Effect of electrical conductivity, fruit pruning, and truss position on quality in greenhouse tomato fruit. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 82(3): 488-494.
- FRASCHINA, A.; VARTORELLI, F.; MOCCIA, S.; MÓNACO, E.; CHIESA, A. 1998. Effect of maturity stage and temperature during tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) storage. *Acta Hort.* 464: 486-486.
- GONZÁLEZ-CÉSPEDES, A.; SALAS-SANJUÁN, M. del C.; URRESTARAZU-GAVILÁN, M. 2004. Producción y calidad en el cultivo de tomate cherry, pp. 703-747. *In: Tratado de Cultivos sin Suelo*. URRESTARAZU-GAVILÁN, M. (ed.). Ed. Mundi-Prensa. Madrid, España.
- HIDALGO-GONZÁLEZ, J. C.; ALCÁNTARA-GONZÁLEZ, G.; BACA-CASTILLO, G. A.; SÁNCHEZ-GARCÍA, P.; ESCALANTE-ESTRADA, J. A. 1998. Efecto de la condición nutricional de las plantas y de la composición, concentración y pH del fertilizante foliar, sobre el rendimiento y calidad del tomate. *Terra Latinoamericana* 16(2): 143-148.
- JAVANMARDI, J.; KUBOTA, CH. 2006. Variation of lycopene, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. *Postharvest biology and technology* 41(2): 151-155.
- JIMÉNEZ, B.; CHÁVEZ, A. 2004. Quality assessment of an aquifer recharged with wastewater for its potential use as drinking source: "El Mezquital Valley" case. *Water Science and Technology* 50(2): 269-276.
- JIMÉNEZ, C. B.; SIEBE, G. CH.; CIFUENTE, G. E. 2005. El Reúso Intencional y no Intencional del Agua en el Valle de Tula, pp. 33-55. *In: El Agua en México Vista desde la Academia*. JIMÉNEZ, B.; MARÍN, L. (eds.). Academia Mexicana de Ciencias. México D.F., México.
- KAPLAN, M.; KADIROGLU, A.; DURCEYLAN, M. E.; SENER, H. R. 1999. Effects of salinity and fertilization on tomato. *Acta Hort.* 491: 277-282.
- KRAUSS, S.; SCHNITZLER, W. H.; GRASSMANN, J.; WOITKE, 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(2): 441-448.
- KRAUSS, S.; SCHNITZLER, W. H.; GRASSMANN, J.; WOITKE, M. 2007. Fruit quality characteristics of tomatoes at different EC values in a simplified recirculating soilless system. *Acta Hort.* 747: 457-463.
- KUBOTA, C.; THOMSON, C. A.; WU, M.; JAVANMARDI, J. 2006. Controlled environments for production of value-added food crops with high phytochemical concentrations: Lycopene in tomato as an example. *HortScience* 41(3): 522-525.
- LÓPEZ-CAMELO, A. F.; GÓMEZ, P. A. 2004. Comparison of color indexes for tomato ripening. *Horticultura Brasileira* 22(3): 534-537.
- LURIE, S.; KLEIN, J. D. 1991. Acquisition of low-temperature tolerance in tomatoes by exposure to high-temperature stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 1007-1012.
- MAGÁN, J. J.; GALLARDO, M.; THOMPSON, R. B.; LORENZO, P. 2008. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management* 95(9): 1041-1055.
- McGUIRE, R. G. 1992. Reporting of objective color measurement. *HortScience* 27: 1254-1255.
- MITCHELL, J. P.; SHENNAN, C.; GRATTAN, S. R.; MAY, D. M.

1991. Tomato fruit yield and quality under water deficit and salinity. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 116: 215-221.
- MIZRAHI, Y.; ARAD, S.; MIZRAHI, Y.; ZOHAR, R. 1986. Salinity as a possible means of improving fruit quality in slow-ripening tomato hybrids. *Acta Hort.* 190: 223-224.
- MORRIS, L. L. 1982. Chilling injury of horticultural crops: an overview. *HortScience* 17: 161-162.
- MUNNS, R. 2002. Comparative physiology of salt and water stress. *Plant, Cell and Environment* 25: 239-250.
- NICHOLS, M. A.; FADALIA, E. F.; FISHER, K. J.; MORGAN, L. M. 1995. The effect of osmotic stress on the yield and quality of tomatoes. *Acta Horticulturae* 379: 105-111.
- PASSAM, H. C.; KARAPANOS, I. C.; BEBELI, P. J.; SAVVAS, D. 2007. A Review of recent research on tomato Nutrition, Breeding and Post-Harvest Technology with Reference to Fruit Quality. *The European Journal of Plant Science and Biotechnology* 1(1): 1-21.
- PIÑA, G.; LABOREM ESCALONA, G.; SURGA, J.; MARTÍN, C.; RANGEL, L.; ESPINOZA, M.; DELGADO, A. 2006. Atributos de calidad en frutos de híbridos FHIA (Musa) para tres ciclos de cosecha. *Rev. Fac. Agron.* 23(4): 429-447.
- RAMÍREZ, S. L. F.; MURO, E. J.; SÁNCHEZ, G. P. 2009. Potassium affects the lycopene and  $\beta$ -carotene concentration in greenhouse tomato. *Acta Hort.* 821: 223-228.
- RIQUELME-BALLESTEROS, F. 1999. Poscosecha del tomate para consumo en fresco. pp. 589-623. *In: El Cultivo del Tomate*. NUEZ, F. (ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- SAKAMOTO, Y.; WATANABE, S.; NAKASHIMA, T.; OKANO, K. 1999. Effects of salinity at two ripening stages on the fruit quality of single-truss tomato grown in hydroponics. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 74: 690-693.
- SEGURA, M. L.; CONTRERAS, J. I.; SALINAS, R.; LAO, M. T. 2009. Influence of salinity and fertilization level on greenhouse tomato yield and quality. *Soil Science and Plant Analysis* 40(1-6): 485-497.
- STAMATAKIS, A.; PAPADANTONAKIS, N.; SAVVAS, D.; LYDAKIS-SIMANTIRIS, N.; KEFALAS, P. 2003. Effects of silicon and salinity on fruit yield and quality of tomato grown hydroponically. *Acta Hort.* 609: 141-147.
- THORNE, S. N.; EFIUVWEVWERE, B. J. O. 1988. Changes in organic acids in chilled tomato fruit (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Journal of the Science of Food and Agriculture* 44(4): 309-319.
- TRAKA-MAVRONA, E. K.; MALOUPA, E.; PAPADOPOULOS, F.; PAPADOPOULOS, A. 1998. Response of greenhouse tomatoes to wastewater fertigation in soilless cultivation. *Acta Hort.* 458:411-416.
- TRUDEL, M. J.; OZBUN, J. L. 1971. Influence of potassium on carotenoid content of tomato fruit. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 96: 763-765.
- TZORTZAKIS, N. G.; ECONOMAKIS, C. D. 2008. Impacts of the substrate medium on tomato yield and fruit quality in soilless cultivation. *Hort. Sci.* 35 (2): 83-89.
- URRESTARAZU-GAVILÁN, M. 2004. *Tratado de Cultivos sin Suelo*. Edit. Mundi-Prensa. 3ª edición. Madrid, España. 914 p.
- VILLARREAL-ROMERO, M.; GARCÍA ESTRADA, R. S.; OSUNA ENCISO, T.; ARMENTA BOJORQUEZ, A. D. 2002. Efecto de dosis y fuente de nitrógeno en rendimiento y calidad poscosecha de tomate en fertirriego. *Terra* 20(3): 311-320.
- WANG, C. Y. 1982. Physiological and biochemical responses of plants to chilling stress. *HortScience* 17(2): 173-186.
- WANG, C. Y. 1994. Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience* 29: 986-988.
- WU, M.; KUBOTA, CH. 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(2): 122-129.
- YURTSEVEN, E.; KESMEZ, G. D.; ÜNLÜKARA, A. 2005. The effects of water salinity and potassium levels on yield, fruit quality and water consumption of a native central Anatolian tomato species (*Lycopersicon esculentum*). *Agricultural Water Management* 78(1-2): 128-135.
- ŽNIDARČIČ, D.; POŽRL, T. 2006. Comparative study of quality changes in tomato cv. 'Malike' (*Lycopersicon esculentum* Mill.) whilst stored at different temperatures. *Acta agriculturae Slovenica* 87(2): 235-243.